



Siège social

3600, boul Casavant Ouest
Saint-Hyacinthe, Qc, J2S 8E3
Tel : (450) 773-1105
Fax : (450) 773-8461

Bureau de Québec

1665, boul Hamel edifice 2
Local 1.06 Québec, Qc, G1N 3Y7
Tel : (418) 643-8903
Fax : (418) 643-8350

**Conférence prononcée lors du 3e Colloque de Génie Rural
tenu à l'Université Laval**

Évaporation de la sève d'érable.

Par: Gaston B. Allard, ing. & agr.



Il s'agit d'un texte faisant la synthèse des techniques utilisées ou utilisables pour la concentration de l'eau d'érable. Quelques-unes des principales réactions chimiques et des transformations physiques de la solution pendant l'évaporation sont également passées en revue en plus de discuter brièvement des principes de combustion et de transfert thermique au niveau des casseroles d'évaporation.

Note au document :

Le présent document est une réimpression d'un document publié il y a maintenant plusieurs années. Le lecteur devra donc porter une attention particulière aux conclusions et aux recommandations qui pourraient accompagner ce texte et les replacer dans leur contexte. Il est évident que les recommandations faites aujourd'hui (répondants acéricoles du MAPAQ, guide de pratique, etc...) gardent toutes leurs pertinences et, en cas de divergence, ce sont ces dernières qui doivent prévaloir. Nous croyons cependant que certains éléments de ce document demeurent pertinents et justifient sa publication.



Introduction	1
Partie 1: Procédé traditionnel de concentration de la sève	1
Composition de la sève	1
Processus de transformation.....	2
Variation de la viscosité:	2
Variation du point d'ébullition.....	3
Faction enzymatique et variation de pH.....	4
Formation de la saveur et de la couleur:.....	5
Circulation de la sève dans l'évaporateur:	6
Précautions à prendre quant aux métaux utilisés.....	7
La collecte	8
Entreposage	8
L'évaporateur.....	8
Les soudures:.....	9
Les tuyaux:	9
Marque d'évaporateur et qualité de sirop:	9
Prix des unités d'évaporation au Québec.....	11
Partie II: Méthodes expérimentale de concentration de la sève	12
Procédé de concentration par osmose inverse.....	12
L'évaporation de la sève d'érable "en tubes"	14
Transport de la sève d'érable vers une centrale d'évaporation.....	16
Partie III - Les combustibles	16
Partie IV - Les accessoires	19
Couvercle pour évaporateur	19
Préchauffage de la sève:	20
Préchauffeur à gaz:.....	20
Préchauffeur à vapeur:	22
Conclusion:	23
Bibliographie.....	23



Introduction

Bien avisé celui qui serait capable de déterminer l'époque où furent introduites les techniques permettant la concentration de la sève d'érable. L'histoire rapporte que des peuplades indigènes, notamment celles situées dans la vallée du Saint-Laurent en connaissaient les rudiments et produisaient du sucre d'érable qu'elles utilisaient comme monnaie de troc pour leur commerce avec les autres tribus et ce, bien avant l'avènement du premier Européen en sol d'Amérique. Depuis, les techniques se sont modernisées et la production de sirop et de sucreries à partir de la sève d'érable a longtemps permis à bon nombre de cultivateurs de générer un revenu complémentaire intéressant tout en permettant une utilisation maximum de la main d'œuvre familiale puisque le "temps des sucres" se situe à une période où l'activité sur la ferme est à son niveau le plus bas.

Cependant, la ferme n'échappe pas aux bouleversements sociaux économiques que traverse notre société, et l'augmentation rapide des coûts d'opération ainsi que la rareté de la main d'œuvre suffisent à expliquer les tendances que révèlent les statistiques des dix dernières années, à savoir, une baisse sensible dans la production de sirop d'érable, et un nombre sans cesse croissant d'érablières vendues pour la coupe ou simplement non-exploitées. Les recherches effectuées conjointement par le Ministère de l'Agriculture et l'Université Laval depuis quelques années, ont permis des améliorations sensibles, notamment au chapitre de la réduction de main-d'œuvre affectée à la collecte de la sève d'érable grâce à l'introduction des techniques permettant la collecte sous-vide. Une autre dimension du problème reste cependant peu inventoriée; c'est celle de l'évaporation.

Nous avons voulu en faire l'objet premier de ce travail puisque cette opération nécessite une partie importante de la capitalisation consentie pour l'exploitation d'une érablière en plus de représenter les déboursés les plus importants en terme de coût par gallon de sirop produit. De plus, il faut se rappeler que l'évaporation influe largement sur la qualité, donc sur le prix obtenu pour le produit fini.

A l'instar de plusieurs autres opérations agricoles, c'est un domaine où il est très difficile de faire un partage net entre les données d'ordre scientifique et celles qui relèvent plutôt de la pratique artisanale. Il serait alors vain ou présomptueux de vouloir traiter en détail de tous les aspects de cette opération, Nous avons néanmoins tenté de faire la somme des données recueillies par l'expérience pratique, et de celles consécutives à des travaux à caractère plus scientifiques concernant certains aspects de cette opération. Pour plusieurs, les détails colligés dans ce travail ne représenteront aucun caractère de nouveauté, mais nous espérons qu'ils seront de nature à éclairer ou à lever certaines controverses originant de la différence des méthodes ou des procédés utilisés.



Partie 1: Procédé traditionnel de concentration de la sève

Composition de la sève

On peut définir la sève d'érable comme étant une solution diluée - 2 à 5 mg. de solide par 100 ml de solution - dont le soluté se compose principalement de sucres, d'acides organiques et de minéraux dissous dans l'eau.

Le sucrose, sucre comparable à celui obtenu par le raffinage des produits de la canne ou de la betterave sucrière, compte pour la presque totalité des solides de la solution, soit 96 %; il représente à lui seul 99.95 % des sucres contenus dans la sève d'érable fraîche les autres étant la raffinose et trois oligosaccharides non encore positivement identifiés.

Parmi les acides organiques non volatiles, on retrouve principalement l'acide malique dont la concentration est de dix fois supérieure aux autres types qui ont été identifiés comme étant les acides succinique, fumarique, dihydroxybutyrique (ou glycolique) ainsi que des traces d'autres acides dont la très faible concentration rend difficile l'identification.

Les minéraux pour leur part ne représentent qu'un très faible pourcentage des solides totaux: les principaux sont dans l'ordre: le potassium (K), le calcium (Ca), les oxydes de silice, le manganèse (Mn), le sodium (Na), et, en très faible concentration, le magnésium (Mg). C'est le calcium qui est sans doute le mieux connu des producteurs: pendant l'ébullition de la sève, il réagit avec des radicaux formés à partir de l'acide malique pour donner un précipité de couleur brunâtre (le malate de calcium) qui forme des dépôts dans le fond et sur les parois des casseroles d'évaporation.

Le tableau 1 nous montre des valeurs typiques de concentration provenant de l'analyse d'échantillons de sève prélevés de façon aseptique et desséchés à froid, analyse réalisée par Willits et al.(1971) (1).

Processus de transformation

Outre la concentration d'une solution initialement à 3 °Brix environ en un sirop à 65.5°Brix, concentration qui est réalisée dans les systèmes traditionnels de casseroles ouvertes (open-pan evaporators) par l'addition d'énergie thermique pour assurer l'évaporation de l'excédant d'eau, il s'opère une foule d'autres transformations; elles sont soit la conséquence directe de la première, comme la variation de la viscosité de la solution et de la température d'ébullition de la sève, ou bien elles lui sont intimement liées. En effet, la variation du pH ainsi que l'apparition de la saveur et de la couleur typique du sirop d'érable sont proportionnels au taux de chaleur fourni au système pour assurer l'évaporation tel que l'ont démontré plusieurs travaux de recherche (2), (3).

Variation de la viscosité:

La viscosité de la sève varie en fonction de la concentration en sucre et de la température de la solution. Cette variation est très lente au début de l'évaporation mais elle augmente très rapidement pour des concentrations supérieures à 30 °Brix tel que nous l'indique le tableau 2.

On a longtemps utilisé cette propriété pour déterminer le degré de finition du sirop; qui ne se souvient pas avoir vu un aïeul puiser au moyen d'une écuelle une petite quantité de sirop qu'il regardait "filer". Cette méthode avait comme inconvénient majeur d'être largement tributaire du jugement de l'opérateur et ne permettait pas un contrôle très rigoureux de la qualité; elle n'est heureusement plus utilisée de nos jours.

Tableau 1: Composition chimique de la sève "fraîche" *

Constituants	Types	% en poids dans la sève	% de la matière sèche dans la sève	% de la matière sèche dans le sirop
Les sucres	Sucrose	1.44	96	88 à 88
	Raffinose	0.0021	0.014	
	Oligosaccharide I	0.00018	0.013	
	Oligosaccharide II	0.00020	0.014	
	Oligosaccharide III	0.00042	0.028	
Les acides organiques (non volatiles)	Malique	0.021	1.10	0.141
	Citrique	0.002	0.13	0.015
	Succinique	0.0003	0.02	0.012
	Fumarique	0.0003	0.02	0.006
	Dihydroxylutyrrique	0.000	0.00	0.006
	I,II,II,IV	Trace	Trace	Trace
	V,VI,VII	0	0	
Les minéraux	Potassium (K)	0.26	.040	
	Calcium (Ca)	0.07	0.11	
	Oxyde de silice	0.02	0.03	
	Manganèse (Mn)	0.005	0.008	
	Sodium (Na)	0.003	0.005	
	Magnésium (Mg)	Trace	Trace	

* Les valeurs de concentration sont des valeurs typiques et non des moyennes; elles sont généralement fonction du type de sol où est située l'érablière et par conséquent peuvent varier entre de très larges limites.

Tableau 2: Variation de la viscosité d'une solution de sucrose en fonction de la température et de la concentration (1)

Concentration °Brix	Température ambiante 68°C (Cp)	Température d'ébullition 212°C (Cp)
20	2.3	1.0
30	3.2	1.0
50	15.3	1.6
60	44.0	3.6
62	69.2	4.1
64	120.1	5.1
65.5	164.3	6.2
66	182.0	6.6
67	227.8	---

* Extrait de la circulaire C440 publiée par "National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, 31 juillet 1958.

Variation du point d'ébullition

L'expérience a démontré qu'à un sirop de 65 °Brix correspondait une température de 7° supérieure à la température d'ébullition de l'eau. Cette méthode permet donc un contrôle beaucoup plus rigoureux du degré de finition d'un sirop, pour peu qu'on prenne soin de vérifier périodiquement la variation du point d'ébullition d'un récipient d'eau soumis aux mêmes conditions de pression barométrique

Comme nous le montre le tableau 3, le sucrier dispose d'une marge très faible; l'augmentation de la température doit donc faire l'objet d'une attention constante puisqu'un sirop prélevé à 0.5 °F. trop chaud, c'est à dire correspondant à une élévation du point d'ébullition de 7.5 °F, aura une concentration en sucre

telle que lors du refroidissement, il risque de se produire un début de cristallisation qui résulte en une perte sérieuse en terme de qualité du sirop.

Il existe sur le marché une foule de bons appareils susceptibles d'aider le producteur à réussir un "sirop à point". La complexité de ces instruments varie à partir du simple thermomètre jusqu'aux contrôles électroniques permettant l'ouverture automatique de la valve de vidange; cependant, aucun ne saurait être le substitut parfait à l'attention et au contrôle que se doit d'exercer le producteur. La marge de profit est relativement mince, et elle peut être compromise par la perte consécutive à la production de sirop trop cuit ou de densité trop faible.

Tableau 3: Augmentation du point d'ébullition d'une solution de sucrose en fonction de sa concentration. (Exprimé en °F. au-dessus du point d'ébullition de l'eau) (1)

Concentration °Brix	Élévation du point d'ébullition °F	Concentration °Brix	Élévation du point d'ébullition °F
23.4	0.8	60.4	5.2
30.0	1.2	61.5	5.5
40	2.0	62.5	5.8
46	2.6	64.4	6.4
49	3.0	65.6	6.9
55.9	4.2	67	7.5

Faction enzymatique et variation de pH

Immédiatement après que la sève soit prélevée de l'arbre, il se produit une fermentation inévitable à moins que la collecte se fasse de façon totalement aseptique ce qui est impossible dans les conditions d'opérations normales d'une érablière. On doit cependant viser à réduire cette fermentation au maximum en assurant la propreté des accessoires servant à la collecte et à l'entreposage de la sève et en réduisant au maximum la période d'entreposage puisque pendant la fermentation le sucrose subit une hydrolyse enzymatique qui le décompose en deux sucres réducteurs hautement réactifs qu'on classe sous la dénomination d'hexose.

Lorsque la sève commence à bouillir, la formation de certains sels (notamment le malate de calcium) tend à rendre la solution alcaline et son pH peut atteindre 8 ou 9; c'est alors que se produit la dégradation alcaline des hexoses en trioses I et trioses II dont la formation doit être limitée si on veut un sirop répondant aux standards établis.

Il va sans dire que la mécanique des réactions chimiques se produisant lors de la transformation de la sève est infiniment plus complexe que celle illustrée par les figures 1a et 1b. Ainsi, dans une sève fraîche, c'est-à-dire, qui n'aurait pour ainsi dire pas fermenté, la formation des sucres réducteurs (invert sugar) par hydrolyse enzymatique serait réduite au maximum et limiterait par le fait même la formation des trioses. C'est ainsi qu'on peut expliquer partiellement l'augmentation de la qualité du sirop observée chez des producteurs utilisant la tubulure de plastique comme moyen de collecte; la sève ainsi prélevée, n'entre pratiquement pas en contact avec l'atmosphère et séjourne moins longtemps dans les appareils de collecte; de plus, il semble que les rayons ultra-violets provenant de la radiation solaire et que laisse passer la matière plastique qui compose le tube, ait un effet de pasteurisation.

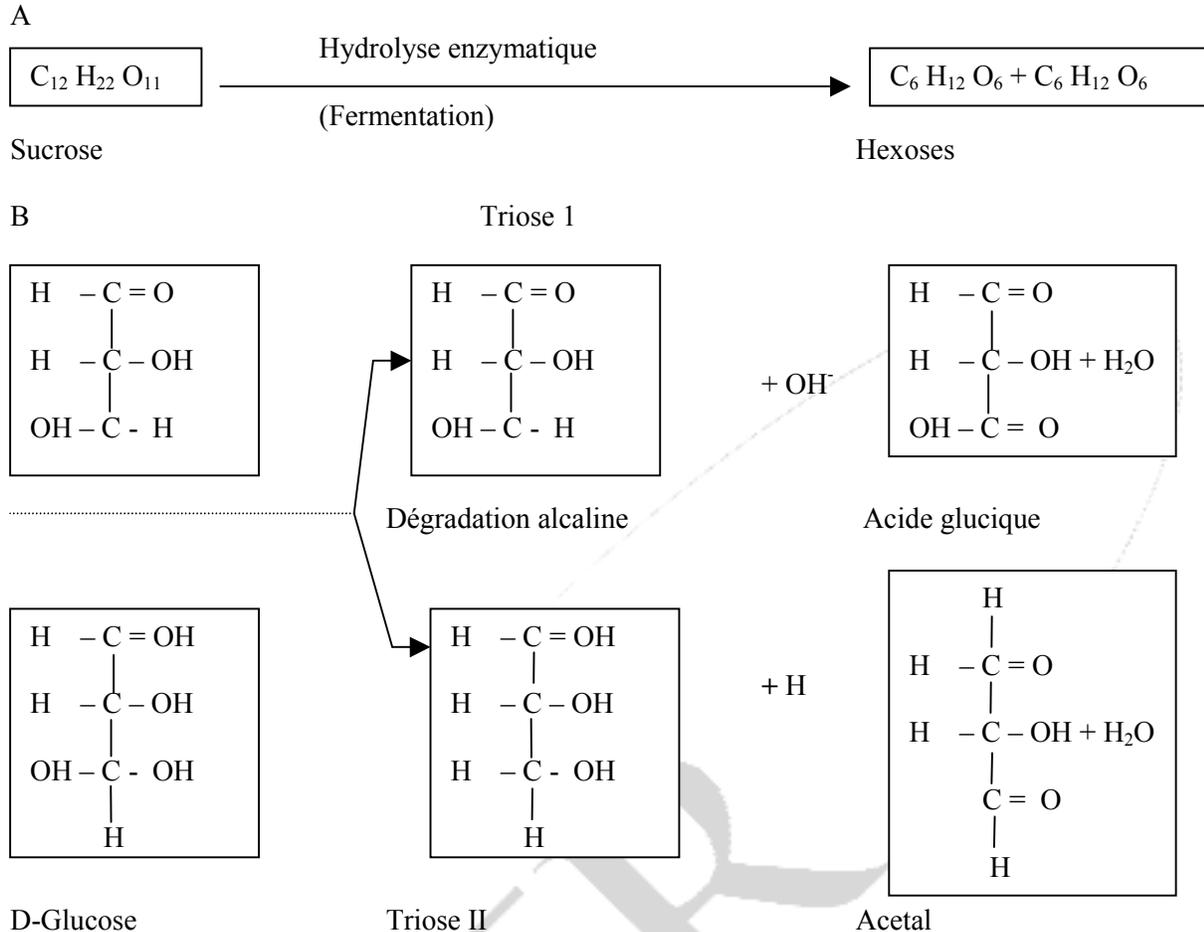


Figure 1: A) Réaction enzymatique B) Dégradation alcaline des Hexoses (1).

Formation de la saveur et de la couleur:

La formation de la couleur et de la saveur est en grande partie consécutive à l'avènement dans la solution des trioses 1 et II tel que l'ont démontré plusieurs expériences (4). Ce sont des radicaux, donc des corps chimiquement peu stables qui peuvent réagir entre eux pour former des composés responsables de la coloration de la solution ou encore, réagir avec d'autres substances (acides organiques ou autres) pour créer des agents responsables de la formation de la saveur particulière aux produits de l'érable.

Il existe donc une relation étroite entre l'intensité de la coloration et la finesse de la saveur. C'est pourquoi, on a établi des standards basés sur la couleur pour fixer la qualité du sirop. Cette relation cesse cependant d'exister lorsque par un chauffage excessif, on favorise l'apparition de la saveur de caramel qui masque l'augmentation de la saveur typique d'érable.

Si ce phénomène pouvait être évité, il semble que le syringaldéhyde, produit qui de par sa composition chimique serait typique à l'érable et que des chercheurs (5) ont identifié comme étant l'un des principaux "précurseur" de la saveur d'érable, soit en concentration suffisante dans la sève pour qu'il soit possible de produire un sirop dix fois plus aromatique que le sirop conventionnel, Les méthodes d'extraction de ce produit existent et font d'ailleurs l'objet d'un brevet américain.

Les facteurs qui contrôlent la formation de la couleur et de la saveur sont donc; a) le pH de la solution, b) la fermentation de la sève, c) la concentration en sucre de la sève, d) la température d'ébullition de la sève, e) le temps d'ébullition. Seuls le temps d'ébullition et la fermentation de la sève peuvent faire l'objet d'un certain contrôle de la part du producteur. On a déjà parlé brièvement des précautions à prendre pour réduire la fermentation. En ce qui concerne le temps d'ébullition qu'on pourrait définir comme le temps qu'une quantité donnée de sève passe dans l'évaporateur pour être transformée en sirop, le producteur dispose de deux moyens de contrôle; a) la quantité de chaleur appliquée en fonction du temps ou le taux de chaleur appliquée, b) l'épaisseur de sève dans ses casseroles. Il est à noter qu'un niveau de liquide trop élevé tend à ralentir la circulation de la sève et prolonge par conséquent le temps de séjour ou d'évaporation alors qu'une trop faible épaisseur doublée d'un apport de chaleur considérable peut provoquer la destruction des casseroles et la caramélisation des sucres. Ces deux modes de contrôle sont très étroitement liés et il appartient au producteur selon le type de combustible qu'il utilise de régler la hauteur d'eau nécessaire afin de produire un sirop aussi uniforme que possible tout en évitant de "brûler" ses casseroles.

Circulation de la sève dans l'évaporateur:

Pour un non initié, le trajet parfois très sinueux que parcourt la sève depuis son entrée dans l'évaporateur jusqu'à son point de prélèvement peut susciter quelques interrogations. Il s'agit cependant d'un mouvement très simple qui obéit aux lois universelles de la gravité.

Considérons une section d'évaporateur et supposons que le taux de chaleur appliqué soit constant et uniforme sur la section. Si on fait un bilan de matière autour de cet élément on s'aperçoit que la quantité de solution qui sort de la section est égale à celle qui entre, moins la quantité d'eau prélevée sous forme de vapeur. Il se forme donc entre les deux points un gradient de hauteur qui occasionne le mouvement de la solution vers le point le plus bas. C'est ce principe qu'illustre la figure 2.

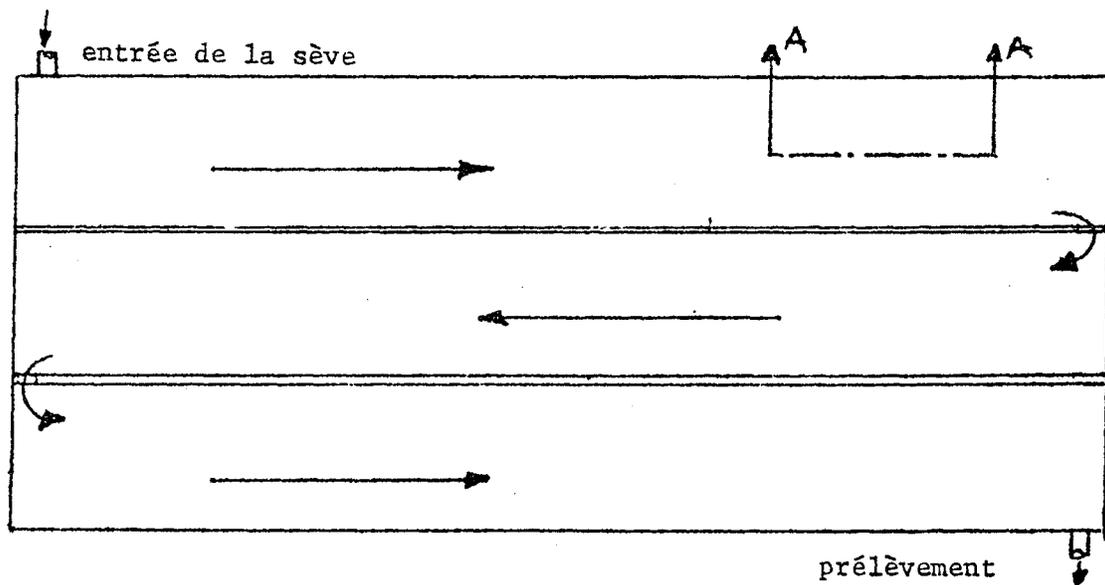


Figure 2a: Vue en plan d'une casserole d'évaporation. (Les flèches indiquent le mouvement de la sève.)

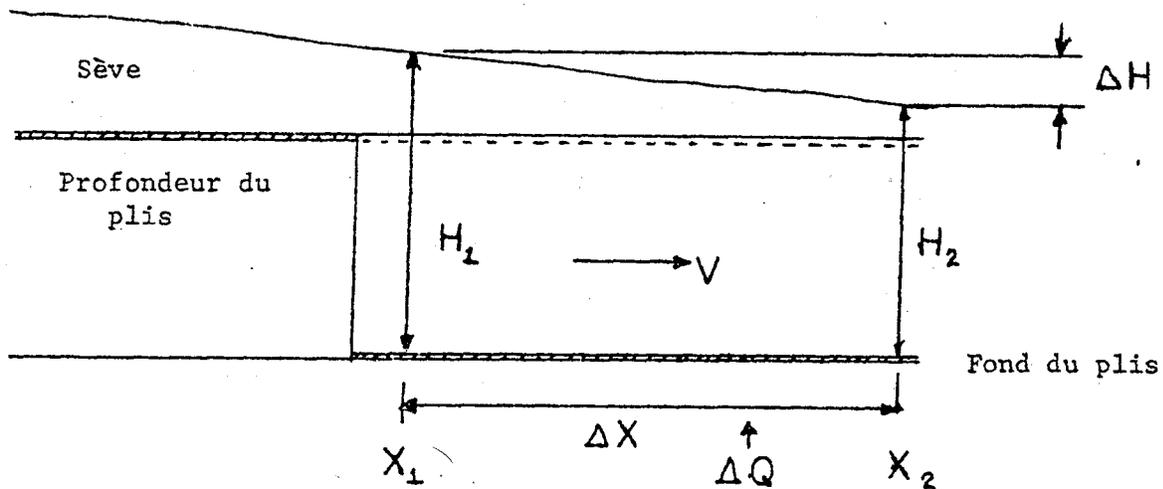


Figure 2b: Section "A-A" Coupe partielle d'une casserole d'évaporation.

Supposons une largeur unitaire ($dZ=1$); il devient évident que la chaleur récupérée par la section sera égale à:

Où :

A = La surface exposée; ici, puisque $dZ=1$., $A=dX$

U = Coefficient global de transfert de chaleur

dT = Gradient de température entre la solution et les gaz de combustion.

Soit dW , la quantité d'eau évaporée par la section qu'on peut exprimer comme étant:

$$dW = dQ / H_{fg} \times \rho$$

Où : ρ = Le poids spécifique de l'eau, 62.4 lbs/pi³

H_{fg} = L'enthalpie d'évaporation de l'eau, 970 BTU/lb

$$DW = \frac{dX \times U \times dT}{970 \times 62.4} = C \times dX$$

Note: la constante C tient compte de tous les paramètres qui sont constants par hypothèse. Un bilan de matière fait autour de l'élément dX nous donne:

Un bilan de matière fait autour de l'élément dX nous donne :

$$V \times H_1 = V \times H_2 + C \int_{X_1}^{X_2} dX$$

d'où:

$$\Delta H = C/V \times (X_2 - X_1)$$

où ΔH indique la charge qui force l'écoulement dans la direction de V

Précautions à prendre quant aux métaux utilisés

On aurait tort de croire que le coût et la durabilité sont les seuls critères susceptibles d'orienter le choix des métaux qui entrent dans la fabrication des évaporateurs ou des accessoires servant à la collecte et à

l'entreposage de la sève; ses propriétés chimiques et son action sur les métaux doivent également faire l'objet d'une analyse sérieuse.

Les acides organiques et les sucres réducteurs qu'elle contient font de la sève d'érable un agent dissolvant pour des métaux tels que le plomb, le zinc, le cadmium et l'antimoine. Les sels qui en résultent peuvent être toxiques s'ils sont en concentration suffisante ou tout au moins donner un arrière goût fort désagréable, susceptible d'altérer la qualité des sirops produits. Aux Etats-Unis, des normes strictes ont été édictées concernant la présence de ces composés; ainsi, la concentration en plomb ne doit pas excéder 1.43 ppm.

En nous servant de ces données comme base, il est intéressant de passer en revue les différentes composantes de l'équipement qu'on retrouve couramment dans les érablières du Québec et d'analyser les différentes options possibles.

La collecte

La collecte de la sève d'érable s'oriente de plus en plus vers des techniques utilisant la tubulure faite de matières plastiques; ces matériaux ne présentent aucun danger puisqu'ils peuvent être considérés au point de vue chimique comme des matériaux inertes. Les méthodes dites "traditionnelles", soit l'utilisation d'une chaudière suspendue à un chalumeau, présentent à ce chapitre que peu de risques; dans la grande majorité des entreprises acéricoles, l'équipement de collecte est en aluminium qui lui aussi, peut être considéré comme inerte par rapport aux éléments contenus dans la sève.

Pour ce qui est du "ramassage", le fait qu'on utilise un réservoir en fer galvanisé constitue un risque de contamination très léger étant donné que la période pendant laquelle la sève y séjourne est relativement courte.

Entreposage

Les réservoirs d'entreposage faits d'un assemblage de tôles galvanisées seraient à déconseiller. Le revêtement de ces tôles est fait d'un alliage de zinc, de plomb et parfois de cadmium; or, comme on l'a vu, la sève possède pour ces métaux, et notamment pour le zinc, un puissant pouvoir dissolvant. Si on considère que la période d'entreposage n'excède pas deux jours, il est évident que la quantité de sels produits est relativement faible mais il n'en demeure pas moins qu'un réservoir d'aluminium ou encore de fibre de verre serait préférable.

L'évaporateur

Les remarques que nous venons de faire concernant les réservoirs d'entreposage s'appliquent à plus forte raison pour les unités d'évaporation puisque nous nous trouvons dans ce cas en présence de hautes températures. On sait que la température d'ébullition de la sève se situe entre 212 et 219 °F (aux conditions de pression barométrique standard) dépendamment de sa concentration en solides; or, à ces températures et à cause de la formation de composés très réactifs dont nous avons déjà parlé, l'oxydation ou la réduction des métaux est encore plus active.

Si certaines *parties* de l'évaporateur étaient faites de cuivre, de plomb ou d'alliage contenant du zinc, à cause notamment de l'oxyde malique, on assisterait à la formation de sels solubles tels les malates de cuivre, de plomb et de zinc qui sont tous toxiques.

Les évaporateurs conventionnels sont en général faits d'un assemblage de pièces de tôle étamée: pour peu que le revêtement d'étain soit suffisant, cette technique est très sûre et ne présente pas de risques de contamination. L'acier inoxydable serait cependant une option possible. Il faut toutefois être prudent quant au type d'acier et à l'épaisseur car l'expérience a démontré que la sève possède une action corrosive sur certains métaux constituant l'alliage. Après quelques années d'utilisation, les casseroles étaient rendues inutilisables à cause d'une multitude de petites perforations. L'inconvénient majeur, en admettant un choix judicieux du type d'acier inoxydable, pourrait être le coût élevé de ce matériau. L'aluminium pour sa part, à cause de ses propriétés thermiques et notamment sa forte conductivité, son prix relativement bas, et aussi à cause du caractère inerte qu'il représente quant aux substances contenues dans la sève, pourrait bien être le métal de remplacement idéal. Cependant, sa faiblesse mécanique, obligerait peut être à repenser la forme des évaporateurs et sa basse température de fusion (1200°F) présente un risque appréciable une surchauffe momentanée, même locale, ou un niveau d'eau trop bas provoquerait la ruine immédiate et irrévocable de l'évaporateur.

Les soudures:

L'assemblage d'un évaporateur ne peut être réalisé sans avoir recours à de nombreuses soudures: l'idéal serait l'utilisation de la soudure à l'arc qui assure la liaison par la fusion locale des deux pièces à assembler. Malheureusement, il n'est pas toujours possible d'utiliser ce type de soudure. L'autre technique disponible consiste à porter un autre métal à son point de fusion; celui-ci en se refroidissant lie ensemble les pièces à monter. Dans le *cas* de l'utilisation de l'acier inoxydable, la soudure à l'argent devient à peu près le seul chose possible, mais son coût devient rapidement prohibitif. La soudure à l'étain demeure l'option la plus valable et d'ailleurs la plus couramment employée. Pour les mêmes raisons que mentionnées plus haut, il faut prendre soin d'utiliser un étain contenant le moins de plomb possible.

Les tuyaux:

Partout où le transport de la sève ou du sirop nécessite l'utilisation de tuyaux, et où la température le permet, on aurait avantage à utiliser les tuyaux de matière plastique. En plus des qualités déjà mentionnées, le producteur pourrait tirer avantage de la flexibilité de ce matériau notamment lors du démontage des pièces pour le nettoyage. Dans les cas où l'utilisation de plastique serait impossible, on pourrait utiliser des tuyaux d'aluminium. Si l'on veut utiliser les tuyaux de cuivre, la meilleure précaution à prendre serait d'appliquer sur la face intérieure un revêtement d'étain. C'est une pratique industrielle courante et relativement peu dispendieuse.

En résumé, il convient de se rappeler que tout appareil ou parties d'appareils fait de plomb, ou de zinc ou d'un alliage contenant une proportion importante de ces deux métaux, ne devrait jamais venir en contact direct avec la sève.

Marque d'évaporateur et qualité de sirop:

Si on se fie à la promotion que fait chaque manufacturier, nous sommes au Québec en présence d'au moins six marques différentes d'évaporateurs tous plus rapides les uns que les autres et tous plus capables de donner un sirop de meilleure qualité. Pour tenter d'établir s'il existe une véritable relation entre la marque de l'évaporateur et la qualité de sirop produit, nous avons compilé la production vendue en vrac de 49 sucriers de deux comtés soit: Brome et Dorchester.

Les tableaux 4 et 5 donnent les résultats de la compilation pour Brome et Dorchester alors que le tableau 6 présente le résultat cumulatif des deux comtés.

Un examen sommaire de ces résultats nous amène à conclure qu'il n'existe à priori aucune relation directe à établir entre le type d'évaporateur utilisé et la qualité du *sirop* produit. Ce résultat *n'a rien de rigoureux* au point de vue scientifique car en plus de ne couvrir qu'une partie de la production, la compilation ne tient pas compte d'une assez grande quantité de sirop produit et devrait s'étendre sur une période de plusieurs années.

Si nous pouvons nous permettre une extrapolation, il semble que même si un échantillonnage vraiment représentatif nous permettait de placer une marque en particulier comme étant celle susceptible de produire un sirop de meilleure qualité, cette avance serait très mince et somme toute, cette qualité serait tributaire, surtout de l'habileté du sucrier et du soin qu'il apporte à l'entretien de son matériel. Cette pré-enquête offre tout de même des perspectives intéressantes; si elle était complétée, elle nous permettrait d'émettre de véritables conclusions et d'orienter d'éventuelles recherches concernant le "design" d'une casserole d'évaporation efficace et sûre.

Tableau 4: Compilation partielle de la production de 33 sucriers du comté de Dorchester. (307 barils)

Marques		AA	A	B	C	D	NC	Total
C		0	21	16	18	9	5	69
	%	0	30.4	23.2	26.1	13	7.2	
B		1	31	36	17	9	0	94
	%	1	32.9	38.3	18	9.6	0	
A		0	22	28	27	12	5	94
	%	0	23.4	29.8	28.7	17.7	5.3	
F		2	14	13	7	12	2	50
	%	4	28	26	14	24	4	

Tableau 5: Compilation partielle de la production de 16 sucriers du comté de Brome. (97 barils)

Marques		AA	A	B	C	D	NC	Total
A		6	4	20	3	0	0	33
	%	18	12.8	60	9.1	0	0	
B		0	1	4	9	3	1	18
	%	0	5.5	22.2	50	13.6	5.5	
C		0	6	11	13	9	2	46
	%	0	13	24	23.8	19.5	4.3	

Tableau 6: Compilation partielle de la production de 49 sucriers des comtés de Brome et Dorchester. (404 barils)

Marques		AA	A	B	C	D	NC	Total
A		0	22	28	27	12	5	94
	%	0	23.4	29.8	28.7	17.7	5.3	
B		1	31	36	17	9	0	94
	%	1	32.9	38.3	18	9.6	0	
C		0	22	20	27	12	6	87
	%	0	25	23	31	13.7	6.8	
D		0	6	11	13	9	2	46
	%	0	16	24	28.3	19.5	4.3	
E		6	4	20	3	0	0	33
	%	18	12.8	60	9.1	0	0	
F		2	14	13	7	12	2	50
	%	4	28	26	14	24	4	

Prix des unités d'évaporation au Québec.

Avant de clore la chapitre traitant de l'évaporation selon la méthode traditionnelle, nous avons pensé qu'il serait utile de dresser une liste partielle des prix des unités d'évaporation distribuées au Québec par six compagnies différentes. Les prix cités au tableau 7 sont valables pour 1974, et représentent le coût d'achat des casseroles, du foyer ainsi que des principaux accessoires.

Il est à noter que la fabrication de ces appareils traverse présentement une crise qui, de l'avis unanime des manufacturiers, est attribuable à la hausse des prix des matières premières telles que le fer blanc, l'étain et le cuivre, et c'est ce qui explique la majoration importante des prix payés par les producteurs depuis quelques années.

Tableau 7: Liste partielle des prix d'évaporateurs manufacturés au Québec.

Manufacturier	Dimension		Capacité d'évaporation gal/hre	Prix
	Longueur	Largeur		
Compagnie A	11	X 3 ³ / ₄	100 à 115	1 580 \$
	11	X 4 ¹ / ₃	120 à 135	1 839 \$
	13	X 4 ¹ / ₃	140 à 160	2 150 \$
	15	X 4 ¹ / ₃	160 à 175	2 431 \$
	14	X 62 po	175 à 195	2 562 \$
	16	X 62 po	210 à 250	2 898 \$
Compagnie B	11	X 3	100	600 \$
	15	X 2 ¹ / ₂	120	665 \$
	15	X 3	130	860 \$
	14	X 4	150	940 \$
	21	X 3	180	1 180 \$
	21	X 3 ¹ / ₂	200	1 355 \$
	20	X 4	250	1 450 \$
Compagnie C	12	X 3	100	1 100 \$
	13	X 3 ¹ / ₂	125 à 130	1 350 \$
	16	X 4	200	1 800 \$
	16	X 5	300	2 195 \$
Compagnie D	12	X 4	150	1 315 \$
	14	X 5	200	1 662 \$
	14	X 6	250	2 230 \$
Compagnie E	12	X 3 ¹ / ₂	150	1 125 \$
	14	X 4	200	1 550 \$
	14	X 5	250 à 300	1 925 \$
	14	X 6	300 à 350	2 450 \$
Compagnie F	12	X 4	160	1 556 \$
	14	X 4	200	1 760 \$
	14	X 4 ¹ / ₂	250	2 059 \$
	14	X 5	300	2 500 \$



Partie II: Méthodes expérimentales de concentration de la sève

Procédé de concentration par osmose inverse

Bien qu'on soit habitué à concevoir la concentration de la sève d'érable par évaporation, ce serait une erreur de croire qu'il s'agit là du seul moyen dont on dispose pour réaliser cette opération. Un groupe de chercheurs sous la direction des docteurs Willits et Underwood a réalisé une expérience visant à utiliser les principes de l'osmose inverse pour réaliser la concentration de la sève.

Le phénomène d'osmose se produit lorsque deux solutions de concentration différente d'un même soluté dans un même solvant sont séparées par une membrane semi-perméable (i.e. imperméable au soluté mais perméable au solvant). Ce dernier tend à passer à travers la membrane vers la solution la plus concentrée et ce mouvement est causé par une différence d'énergie entre les deux solutions qu'on définit comme étant la "pression osmotique apparente", ce transfert s'opère jusqu'à ce que la pression appliquée sur la membrane par la charge d'eau (dans un système ouvert) soit égale à ce gradient de pression osmotique (figure 3).

L'osmose inverse se définit pour sa part comme le mouvement en sens contraire du solvant à travers la membrane qui est causée par l'application d'une pression sur la solution la plus concentrée (figure 4).

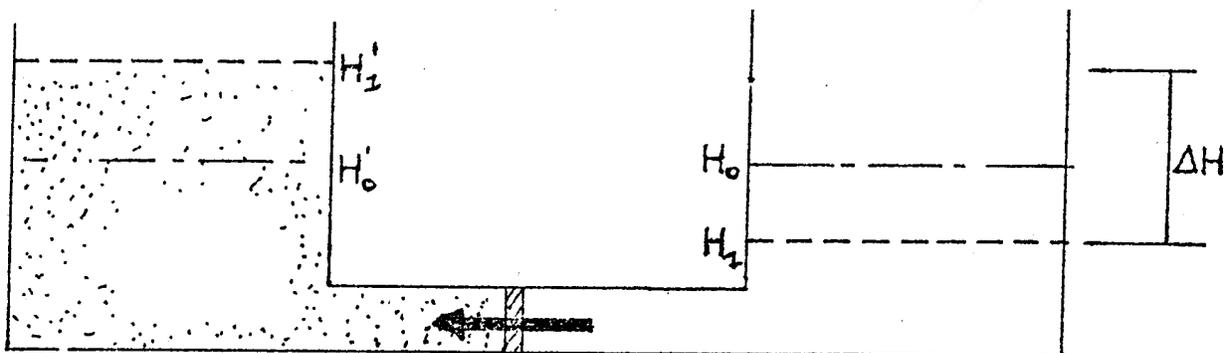


Figure 3 : Phénomène d'osmose ou $\hat{E}h$ indique la charge équivalente à la de pression osmotique à l'équilibre.

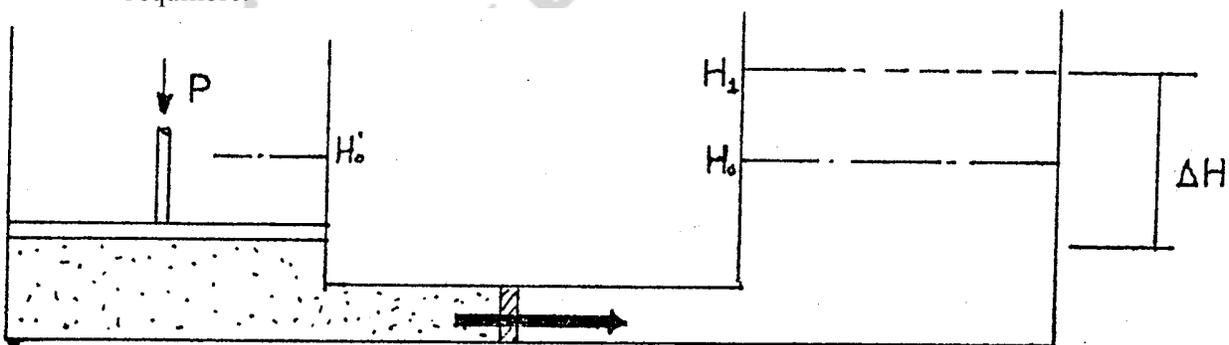


Figure 4: Principe d'osmose inverse ou la pression appliquée $P \gg \hat{E}h$

Ce principe trouva sa première application industrielle dans la désalinisation de l'eau de mer et il est maintenant utilisé comme méthode de traitement des eaux usées.

Avant d'appliquer cette technique pour concentrer l'eau d'érable, il fallait connaître son effet sur la saveur et la couleur du produit fini, ainsi que la perte de matière sèche qui risque de se produire lors de son passage à travers la membrane. On savait déjà que la sève ne contient pas la saveur d'érable "in se" mais seulement les agents chimiques qui assurent son développement au cours du traitement thermique qu'elle subit dans l'évaporateur. On a donc traité un échantillon de sève qu'on a concentré en utilisant le principe de l'osmose de 20 °Brix, inverse jusqu'à ce que la solution ait atteint une concentration c'est à dire en lui enlevant près de 70% d'eau. La concentration finale a été réalisée par évaporation au cours de laquelle se sont développées normalement la couleur et la saveur d'un sirop de haute qualité (6), (7).

La membrane utilisée (figure 5) était faite d'acétate de cellulose dont les pores avaient une ouverture de 5 à 20 x 10⁻⁸ cm, diamètre qui ne permettait pas le passage de molécules ayant un poids supérieur à 200 g. Les pertes de matières sèches à travers cette membrane ont été presque nulles.

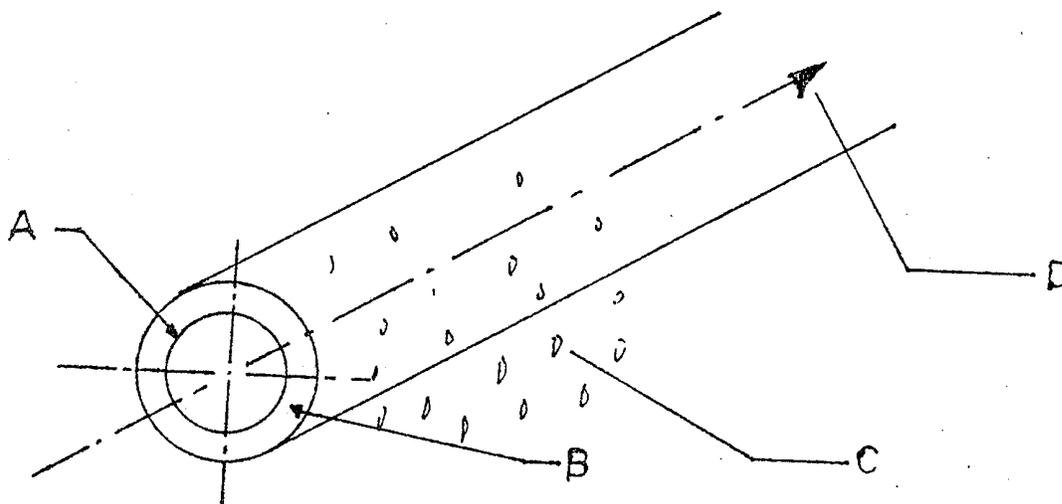


Figure 5 Module tubulaire d'osmose inverse

A- Membrane d'acétate de cellulose

B- Tube poreux capable de résister à des pressions de 400 à 600 psig

C - Filtrat

D- Solution concentrée

Les principaux avantages qui militent en faveur de ce procédé sont sa dimension réduite et son coût d'opération; en effet, à capacité égale, on réduit de 10 fois l'espace nécessaire. De plus, on *estime* le coût d'opération de cet appareil à environ 20% du coût encouru par l'utilisation des unités d'évaporation traditionnelle puisque la seule dépense d'énergie est occasionnée par la pompe à haute pression.

Si le système n'est pas plus répandu aujourd'hui, la raison principale vient du faible volume de sève traitée quotidiennement et calculée sur une base annuelle de la courte période d'utilisation qu'on en ferait, qui ne justifie pas l'investissement considérable que ces appareils représentent.* Il convient de rappeler ici qu'un tel système doit nécessairement être doublé d'appareils d'évaporation conventionnels pour la finition du sirop ce qui vient encore majorer le *coût* global du système.

La sève présente une difficulté supplémentaire; , étant donné qu'il se produit presque inévitablement un début de fermentation, les spores ainsi formés viendraient obstruer les membranes et réduiraient probablement de beaucoup leur efficacité. 1) il faudrait doter le système d'un préfiltrage ce qui ne manquerait pas d'augmenter l'investissement nécessaire, qui est déjà suffisamment élevé.

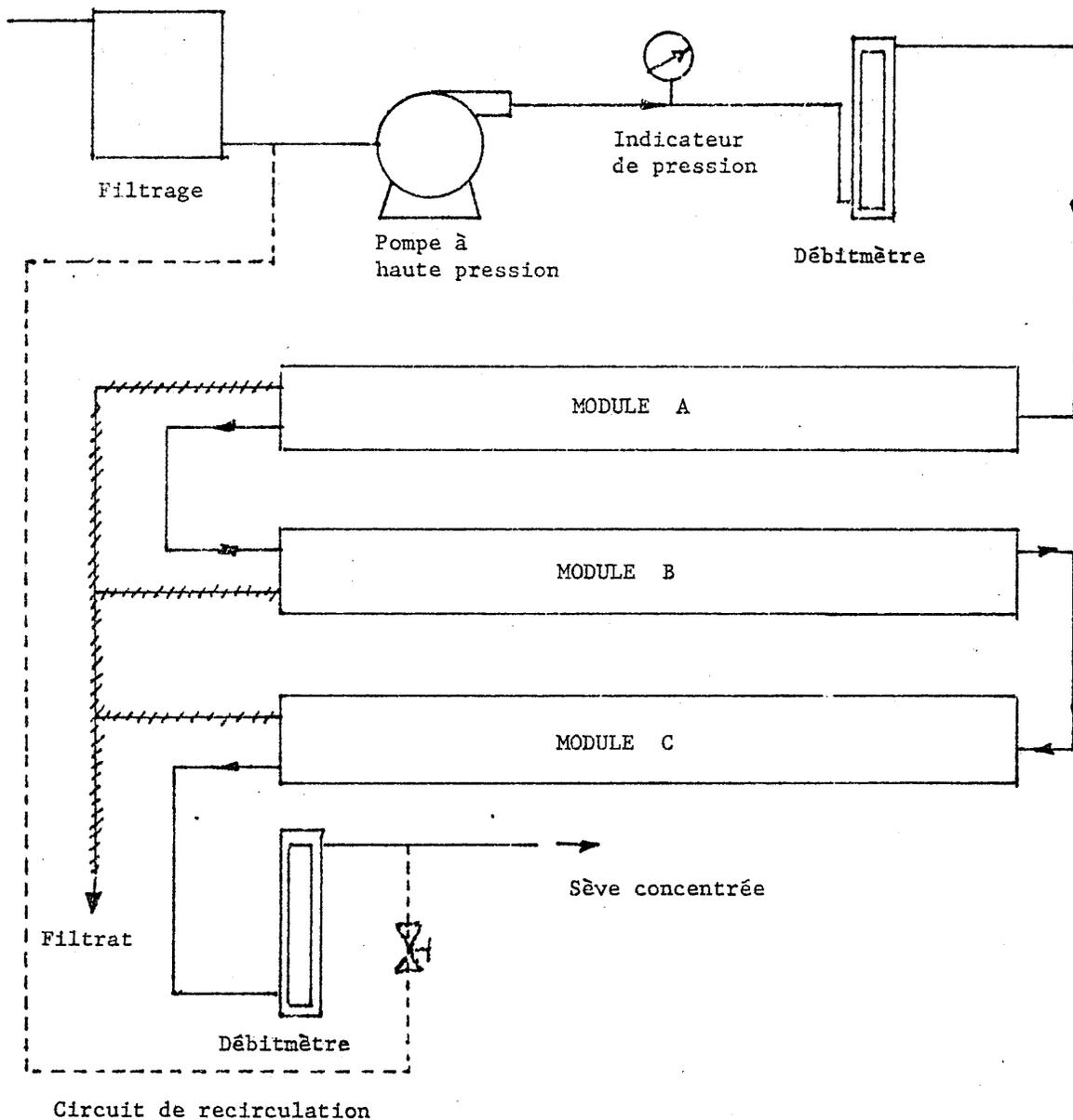


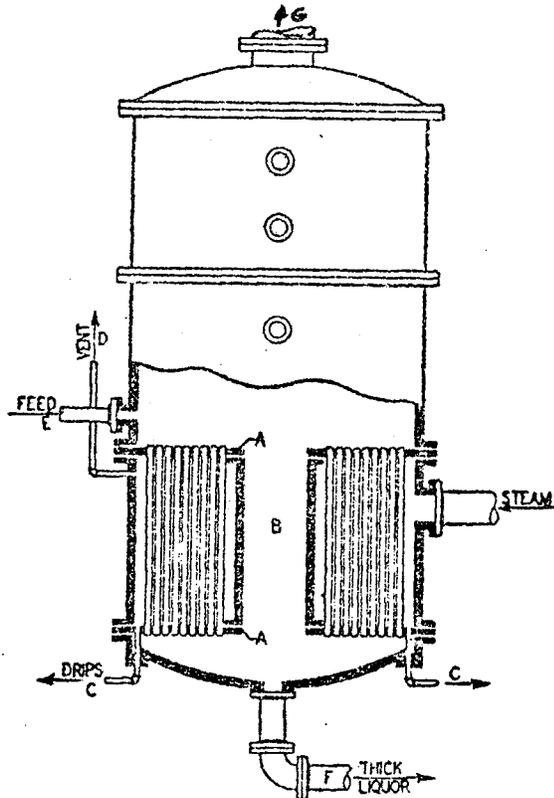
Figure 6 Schéma typique d'un système utilisant le procédé de l'osmose inverse pour la concentration de la sève d'érable.

Il faudrait pour qu'un tel système (figure 6) soit rentable, qu'il soit installé dans un centre commun d'évaporation, c'est-à-dire une station vers laquelle serait acheminée l'eau d'érable produite par plusieurs érabières et qu'il puisse être utilisé à longueur d'année pour d'autres types d'applications.

L'évaporation de la sève d'érable "en tubes"

Contrairement au procédé de concentration par osmose inverse, ce type d'évaporateur utiliserait les concepts traditionnels de l'évaporation réalisée par l'addition d'énergie thermique au système. Il ne s'agit donc pas de la conception d'un type totalement nouveau d'évaporateur mais bien de faire l'étude d'une

nouvelle application d'un évaporateur déjà couramment utilisé dans d'autres secteurs de l'industrie alimentaire et ce depuis 1850.



- a) Niveau du liquide dans l'évaporateur
- b) Aire de retour de la solution après son passage dans les tuyaux 75 à 150% de l'aire occupée par les tuyaux.
- c) Condensat de la vapeur utilisée comme fluide chauffant
- e) Entrée de la solution diluée
- f) Prélèvement de la solution concentrée
- g) Cheminée d'évacuation de la vapeur

Figure 7 Évaporateur à tuyaux verticaux de type "Robert".

Il suffit de faire un bilan thermique autour des évaporateurs actuellement en opération dans les érablières du Québec pour réaliser leur faiblesse au point de vue efficacité thermique. Il convient donc de chercher à réaliser une unité qui, en plus d'offrir une efficacité thermique améliorée, présenterait des dimensions plus compactes; ceci permettrait de diminuer le coût immédiat de production en faisant une meilleure utilisation du combustible et réduirait les dépenses d'immobilisation, d'évaporation. tout au moins en ce qui concerne la construction du poste d'évaporation.

Les principes de fonctionnement de cet évaporateur pourraient s'énoncer comme suit: la solution circule dans des tubes verticaux (de bas vers le haut) et c'est à ce niveau que s'effectue l'échange de chaleur. Elle est pompée vers le haut à cause de la formation de bulles de vapeur. Contrairement à l'évaporateur "Robert" illustré par la figure 7, le fluide chauffant ne serait pas la vapeur mais bien les gaz chauds produits par la combustion de l'huile ou du bois et circulant à haute vitesse à travers les tubes. Cette technique permet de multiplier pour un espace donné la surface effective de transfert de chaleur et elle permet un meilleur contrôle quant à la température des gaz de combustion qui sont, en raison de la quantité importante d'énergie qu'ils contiennent à leur sortie du foyer, en grande partie responsable de l'inefficacité thermique des évaporateurs conventionnels (open-pan evaporators).

Il reste naturellement une quantité appréciable de paramètres à déterminer; ce sujet fait d'ailleurs l'objet d'un projet de recherche qui sera réalisé sous la direction de Monsieur Denis Désilets, ingénieur et professeur au département de Génie Rural à l'Université Laval.

Transport de la sève d'érable vers une centrale d'évaporation

Il s'agit ici d'un tout nouveau concept de l'entreprise acéricole; plutôt qu'être propriétaire d'une érablière et de l'exploiter de façon plus ou moins artisanale; un individu ou un groupe quelconque fait la location pour la période des sucres d'un certain nombre d'érablières présentant des caractéristiques favorables et localisées dans un territoire donné. Il fournit l'équipement et le matériel nécessaire pour entailler et récolter (la récolte se fait par tube) et verse au propriétaire un montant déterminé pour chaque gallon de sève récoltée. La sève est ensuite dirigée par "pipe-line" vers des réservoirs d'entreposage situés en bordure des routes carrossables et un camion citerne en fait quotidiennement la collecte. Elle est acheminée vers un poste central d'évaporation qui possède peu de caractéristiques communes avec la folklorique "cabane à sucre" puisqu'il s'agit plutôt d'une véritable usine de transformation où se fait la concentration de la sève, l'empaquetage et la mise en marché des produits finis.

Un travail de recherche visant à établir la rentabilité d'une telle entreprise a été réalisé sous l'égide du "Northeast Kingdom Area Rural Development Committee" et dirigé par Norris Belliott (8). L'étude portait sur une région située dans le comté de Caledonia (Vermont) et il a démontré, chiffres à l'appui, qu'il était possible de tirer un revenu substantiel d'une telle entreprise.

Même si les résultats de l'enquête sont très optimistes, il ne faut peut être pas se hâter de considérer cette formule comme étant la vision futuriste de l'entreprise acéricole.

Certains résultats pratiques, la lecture du rapport et une analyse même superficielle de la question nous amène à formuler quelques interrogations; la distance moyenne entre les érablières et les routes carrossables le printemps ne représente-elle pas un facteur limitatif? La concentration d'érablières qui présentent des caractéristiques favorables à ce genre d'exploitation est-elle suffisante? La sève brute étant une solution tellement diluée, le *coût* de transport de toute cette eau inutile ne devient-il pas prohibitif? Est-il possible de convertir pour d'autres fins les locaux affectés à la transformation de la sève de façon à en faire une utilisation échelonnée sur les 12 mois de l'année?

Toutes ces interrogations sans réponse nous amène à penser que cette formule d'exploitation constitue plus un champ de recherche nouveau et intéressant qu'une méthode d'exploitation vraiment au point. Ainsi, une analyse similaire à celle déjà citée pourrait couvrir une région acéricole du Québec et un projet pilote pourrait être mis sur pied pour essayer de quantifier certains paramètres importants qui ne peuvent être déterminés de façon rigoureuse si ce n'est par l'expérience.



Partie III - Les combustibles

Le bois est le type de combustible traditionnellement utilisé pour l'évaporation de la sève d'érable. Ce mode de chauffage présente l'avantage d'être produit sur la ferme pendant des périodes de plus faibles activités agricoles et il permet un certain aménagement de l'érablière en trouvant une utilisation aux arbres tombés ou malades ainsi qu'aux essences étrangères à l'érablière. Cependant, à cause de la difficulté à mécaniser ce mode de chauffage et aussi à cause de l'augmentation du coût de la main d'œuvre agricole, des techniques utilisant l'huile comme combustible ont été développées et jusqu'à récemment, elles représentaient une façon comparable sinon économique d'évaporer l'eau d'érable.

Le contexte actuel nous oblige cependant à réviser ces théories puisqu'en moins de six mois, le prix des produits pétroliers et notamment celui de l'huile à chauffage a presque doublé.

Pour réaliser une analyse susceptible de déterminer avec un minimum de précision les coûts imputables aux différentes méthodes de chauffage, il faudrait être capable d'évaluer d'une part, les coûts d'opération, les investissements requis ainsi que la dépréciation du matériel utilisé, et d'autre part, la plus-value donnée à l'érablière par l'aménagement qui résulte d'une coupe sélective de bois utilisé pour le chauffage, etc... Or, ces données font cruellement défaut, et pour les établir de façon rigoureuse, il faudrait une recherche qui dépasse largement les cadres du présent exposé; nous nous bornerons donc à faire l'étude théorique des coûts les plus immédiats, sachant parfaitement que les résultats sont tributaires dans une large part des hypothèses préalablement émises et que chacun doit les pondérer suivant les caractéristiques de l'entreprise à laquelle il voudrait les appliquer.

Ces hypothèses sont les suivantes:

- Production:
 - 500 gallons de sirop par an à partir de sève d'une concentration initiale de 3 °Brix.
- Evaporation:
 - La température de la sève à son entrée dans l'évaporateur est fixée à 40°F
 - La chaleur latente de vaporisation est de 970 BTU/lb
 - L'efficacité de l'unité d'évaporation est de 65%
- Le prix de l'huile
 - Le prix de l'huile est actuellement de 37.4¢/gal (prix de la Coop. Fédérée, pour la région de la Beauce)
 - Pouvoir calorifique de l'huile = 169,000 BTU/gal (9)
- Le prix du bois
 - On utilisera comme prix de revient du bois seulement ce qu'il en coûte pour le couper et l'entreposer dans la cabane ou point de vue temps et machinerie utilisée soit:

Temps 4h/corde @ \$2,50/hre	=	\$10.00
Scier		
(Scie mécanique) @ \$1.25/hre	=	\$ 3.75
Transport		
(Tracteur agricole) @ \$4.00/hre	=	\$ 2.00
		\$15.75 2 env. \$16.00/corde

- Pouvoir calorifique du bois:

Le pouvoir calorifique du bois, i.e. la quantité de chaleur libérée par la combustion complète d'une livre de bois, est très difficile à obtenir avec précision puisqu'elle varie sensiblement selon l'essence et le pourcentage d'humidité. À 8% d'humidité, soit après un séchage au four, les valeurs citées varient entre 6000 et 9000 CTU/lb. Après un an d'entreposage à l'extérieur, l'humidité se situe aux environs de 50%; par conséquent, un pouvoir calorifique de 5000 BTU/lb semble être une valeur moyenne représentative (10).

La densité du bois est une autre propriété physique qui varie selon les mêmes critères et qu'on peut situer aux environs de 37 lb/pi³. Lorsqu'il s'agit de bois en corde, il faut cependant réduire cette valeur d'à peu près 30% pour tenir compte des vides. On utilisera pour fins de calcul une valeur de 25 lbs/pi³.

Calcul

- a) Quantité d'eau à évaporer:
- 500 gal @ 65 °B —————> 16,500 gal à 2 °Brix
- donc 16,000 gallons d'eau devront être évaporés.

b) Quantité de chaleur à ajouter au système:

b-1) Chaleur sensible: (Température initiale de la sève = 40°F)
$$16,000 \text{ gal} \times \frac{10 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (212 - 40) ^\circ\text{F} = 27,520,000 \text{ BTU}$$

b-2) Chaleur latente

$$16,000 \text{ gal} \times \frac{10 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{970 \text{ BTU}}{\text{lb}} = 155,200,000 \text{ BTU}$$

b-3) Efficacité du système = 65%

$$(155,200,000 + 27,520,000) \div 0.65 = 246,672,000 \text{ BTU}$$

c) Coût du chauffage à l'huile:

Nombre de gallons requis par an	$\frac{246,672,000 \text{ BTU}}{169,000 \frac{\text{BTU}}{\text{gal}}} = 1460 \text{ gal/an}$
Dépenses occasionnées par année	$1460 \text{ gal} \times 34.7\text{¢} = \546.00 gal

$$\text{Coût de chauffage par gallon de sirop produit} = 546 / 500 = \$1.10/\text{gal}$$

d) Coût de chauffage au bois:

Nombre de cordes par an	$\frac{246,672,000 \text{ BTU}}{5000 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 25 \frac{\text{lb}}{\text{p}^3} \times 128 \frac{\text{p}^3}{\text{cordes}}} = 16 \text{ cordes}$
-------------------------	--

Dépenses occasionnées par an	$16 \text{ cordes} \times \$16.00/\text{corde} = \$256.00$
------------------------------	--

Coût de chauffage par gallon de sirop produit	$256.00 / 500 = .51/\text{gal}$
---	---------------------------------

Il est à noter que ces coûts ne tiennent pas compte de la dépense de combustible pour la mise en marche du système (au moins 1 heure au début pendant laquelle l'efficacité du système est inférieure à 65%), de la quantité de bois non brûlé contenu dans les cendres, ni du temps pris par l'opérateur pour assurer l'approvisionnement de l'unité d'évaporation.

Avant l'augmentation du prix de l'huile, on voit que les deux modes de chauffage représentaient des coûts immédiats presque égaux et cela peut expliquer la politique qui existait quant au choix d'une des deux méthodes. Aujourd'hui, il ne fait plus de doute que, considéré uniquement sous cet angle, le chauffage au bois est la méthode la plus économique et connaîtra pour plusieurs années encore une très grande popularité.

Il existe d'autres modes de chauffage qui connaissent cependant peu d'applications dans l'industrie du sucre; il s'agit ici de la vapeur et de l'électricité. Pour ce qui a trait à l'évaporation par la vapeur, il ne semble pas utile de démontrer qu'en raison du faible volume de sève traitée l'installation d'une bouilloire

susceptible de générer de la vapeur sous pression représente un coût prohibitif et rend improbable la rentabilité d'une entreprise utilisant ce type de chauffage. Quant à l'électricité, on peut, à partir des données établies pour comptabiliser le coût de chauffage au bois et à l'huile, déterminer approximativement ce qu'il en coûterait. Prenons l'hypothèse d'un évaporateur d'une capacité de 250 gal/hre avec une efficacité thermique de 95%; on devrait fournir 3 millions de BTU par heure, soit quelque 880 KW (3,412.2 BTU/hre par KW).

Selon les normes d'Hydro-Québec, l'installation de lignes (qui seraient d'ailleurs à la charge du producteur) pour une telle utilisation nécessiterait la signature de contrats dits "saisonniers" par lesquels on garantirait l'utilisation du courant pour une période minimale de 4 mois à raison de \$5.00 le KW par mois. Ceci représente une dépense minimale de \$16,000.00 par saison sans compter la charge financière que représente l'amortissement et l'entretien de la ligne, des terminaux d'entrée et de l'unité d'évaporation. Le moins qu'on puisse dire, c'est qu'il s'agit d'une utilisation irrationnelle de l'électricité et il semble improbable que ce mode de chauffage puisse un jour être considéré comme un concurrent sérieux au bois ou à l'huile du moins en ce qui regarde ce type d'application.



Partie IV - Les accessoires

Il existe dans la panoplie du sucrier une foule d'accessoires ou d'aide dont l'existence est connue et dont il serait inutile de vanter les mérites. Il en est cependant dont l'utilité, voire même l'utilisation est contestée et d'autres encore dont l'existence est inconnue pour bon nombre de producteurs; c'est le cas par exemple des couvercles collecteurs de vapeur et des techniques visant à assurer le préchauffage de la sève.

Couvercle pour évaporateur

La controverse à ce sujet ne date pas d'hier! Selon l'opinion de certains producteurs, le fait de mettre un couvercle sur l'évaporateur 'Hood' serait de nature à diminuer la capacité d'évaporation d'une unité donnée; c'est faux!

Le docteur C.O. Willits, alors au New-York State Experiment Station publia en 1936 un rapport d'expérience démontrant qu'il était impossible qu'une telle addition augmente la température d'ébullition de la sève puisqu'il ne cause aucune augmentation sensible de la pression au-dessus des casseroles.

Les avantages qui militent en faveur de cet accessoire sont par ailleurs fort nombreux:

- Il augmente de façon appréciable le confort et la salubrité de l'atmosphère dans lequel doit travailler le sucrier, en éliminant les courants d'air inévitables dans une "cabane" ventilée par le toit.
- Il élimine le suintement des murs provoqué par la condensation de la vapeur sur les surfaces froides et qui est de nature à accélérer la dépréciation de la bâtisse.
- Il élimine le dégouttement de la vapeur condensée au niveau de la sortie et qui retombe dans les casseroles, chargées d'impuretés.
- Il tend à diminuer l'humidité relative de l'air admis à la combustion.

Il en existe sur le marché qui sont réalisés à partir de tiges d'aluminium et dont le prix se situe entre \$300.00 et \$400.00. Il est cependant facile de réaliser un montage sur place à moindre frais et qui réponde exactement aux spécifications de l'évaporateur utilisé. Un cadre de bois (épinette ou bois franc) recouvert sur la face intérieure d'un revêtement de tôles d'aluminium ou de plastique polythène résistant convient parfaitement. Il faut noter que l'utilisation de bois de pin est à déconseiller et les clous servant à fixer le

revêtement intérieur doivent être en métal non corrosif (ex. aluminium). Aucune pièce de tôle galvanisée ne doit être utilisée.

La cheminée servant à évacuer la vapeur doit être située au-dessus de la casserole d'évaporation. C'est à ce niveau qu'est produite la plus grande partie de la vapeur. La cheminée doit avoir des dimensions minimales telles que décrites au tableau. 8

Le mélange air-vapeur lors de son ascension dans le tuyau se refroidit et par conséquent crée un effet de pompage naturel qui assure l'évacuation de la vapeur produite sans qu'il soit nécessaire de prévoir un système de ventilation mécanique d'aucune sorte. Ce tuyau est en général de 1 pied plus long que le toit de la cabane et il faut prévoir un diamètre de 1 pouce plus grand que le diamètre du tuyau pour l'ouverture du toit de façon à assurer un libre mouvement du tuyau quand le couvercle doit être déplacé.

Tableau 8- Diamètre de la cheminée d'évacuation de vapeur

Dimension des casseroles ouvertes		Diamètre du tuyau	
Largeur (pi)	Longueur (pi)	Casserole d'évaporation	Casserole de finition
3	3	8	4
4	4	10	6
4	5		
3	7	12	8
5	6		
3	10		
4	8	14	10
6	6		
5	8	16	12
4	12		
5	10		
5	12	18	14
6	10		
5	14		
5	20	20	---

Il est préférable de munir le couvercle de fenêtres d'observation et de prévoir un système de poulies pour le déplacer facilement lors du nettoyage des casseroles,

Préchauffage de la sève:

Les modes de préchauffage de la sève se partagent en deux grandes catégories qu'on peut définir comme étant; a) celui qui consiste à introduire un échangeur à la base de la cheminée pour tenter de récupérer une partie de l'énergie thermique transportée par les gaz produits par la combustion lorsqu'ils quittent l'évaporateur et qu'on désignera sous le nom de "préchauffeur à gaz" et, b) celui qui utilise l'énergie libérée par la condensation de la vapeur produite pendant l'évaporation et qu'on appellera désormais "préchauffeur à vapeur".

Préchauffeur à gaz:

On a déjà mentionné que les évaporateurs conventionnels avaient une faible efficacité thermique; une enquête menée récemment aux Etats-Unis et confirmée par des expériences faites à l'érablière expérimentale du ministère de l'Agriculture, à St-Norbert, la situe aux environs de 65%. Ce faible pourcentage est en grande partie attribuable à la somme considérable d'énergie perdue par l'éjection des

gaz de combustion alors qu'ils ont encore une température qui varie entre 600 et 1200 °F. Il suffit donc de placer perpendiculairement à l'écoulement des gaz, et suivant une distribution géométrique prédéterminée, une série de tuyaux dans lesquels circule la sève jusqu'à ce qu'elle atteigne une température voisine de son point d'ébullition. Elle est ensuite introduite dans l'évaporateur proprement dit où débute immédiatement l'ébullition. Un exemple de calcul nous permettra de visualiser l'impact que peut avoir une telle addition sur l'efficacité globale du système.

- Description de l'installation:

Évaporateur à l'huile alimenté au taux de 108 lb d'huile/heure (huile # 2 @ 19567 BTU/lb)

Taux d'évaporation 110 gal/hre

Température initiale de la sève – 35 °F

Température des gaz de cheminée à leur sortie du foyer 900 °F

Nous supposons le total des autres pertes (conduction, radiation, etc) comme étant 10% de la chaleur totale ajoutée.

- Calcul:

La chaleur ajoutée sera de

$$Q_c = \frac{108 \text{ lb}}{\text{Hre}} \times \frac{19567 \text{ BTU}}{\text{lb}} = 2,113,240 \text{ BTU/hre}$$

alors que la chaleur utilisée pour réchauffer l'eau jusqu'à son point d'ébullition (212°F) sera:

$$Q_s = \frac{110 \text{ gal}}{\text{Hre}} \times \frac{10 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (212 - 35)^\circ\text{F} = 194,700 \text{ BTU/hre}$$

Tandis que celle nécessaire pour assurer son évaporation (970 BTU/lb) sera égale à:

$$Q_L = \frac{110 \text{ gal}}{\text{Hre}} \times \frac{10 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{970 \text{ BTU}}{\text{lb}} = 1,067,000 \text{ BTU/hre}$$

La chaleur utilisée par le système sera la somme de Q_s et Q_L soit 1,261,700 BTU/hre ce qui chiffre la perte par les gaz de cheminée à 640200 BTU/hre soit 30% de la chaleur totale. Si on ajoute au système un échangeur capable de porter avant son entrée dans l'évaporateur, la sève à 212°F avant son entrée dans l'évaporateur, celui-ci aura une capacité accrue de:

$$\frac{194,700 \text{ BTU}}{\text{hre}} \times \frac{\text{lb}}{970 \text{ BTU}} \times \frac{\text{gal}}{10 \text{ lb}} = 20.3 \text{ gal/hre}$$

et la perte imputable à la chaleur transportée par les produits de combustion sera réduite à:

$$640,200 - \left(\frac{130 \text{ gal}}{\text{hre}} \times \frac{10 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (212 - 35)^\circ\text{F} \right) = 410,120 \text{ BTU}$$

soit 19% de la chaleur totale.

Par l'addition d'un préchauffeur à gaz, nous avons amélioré l'efficacité de l'évaporateur de 11% et sa capacité d'évaporation passe de 110 gal à 130 gal/hre ce qui représente une économie de temps et de combustible fort appréciable si on en fait le calcul sur une base saisonnière.

Préchauffeur à vapeur:

Le même effet sur l'efficacité du système peut être obtenu en utilisant cette fois la vapeur produite par l'ébullition de la sève comme fluide de préchauffage, qu'il suffise de rappeler que théoriquement s'il faut fournir 970 BTU pour vaporiser une livre d'eau, une somme d'énergie équivalente peut être récupérée en condensant cette vapeur et utilisée pour augmenter la température de 97 livres d'eau de 10 degrés F. Il y a donc suffisamment de vapeur produite dans l'exemple cité plus haut pour produire le préchauffage désiré. Une étude réalisée par un groupe de chercheurs de l'Université de Waterloo en Ontario (1973)(11) confirme ces hypothèses. Le montage qu'ils ont utilisé (décrit par la figure 8) est constitué d'un échangeur tubulaire de cuivre de 1 pouce de diamètre intérieur. Un couvercle placé sur l'évaporateur permet de canaliser la vapeur sur les tuyaux de l'échangeur tandis qu'un dispositif muni d'un drain assurait la collecte et l'évacuation du condensat. L'échangeur utilisé avait une longueur de 46 pieds et élevait la température de la sève de 35 °F alors qu'elle était initialement à des températures de l'ordre de 185 à 190°F avant son entrée dans l'évaporateur. Les résultats des essais effectués sur le même évaporateur avec et sans préchauffeur sont compilés au tableau 9

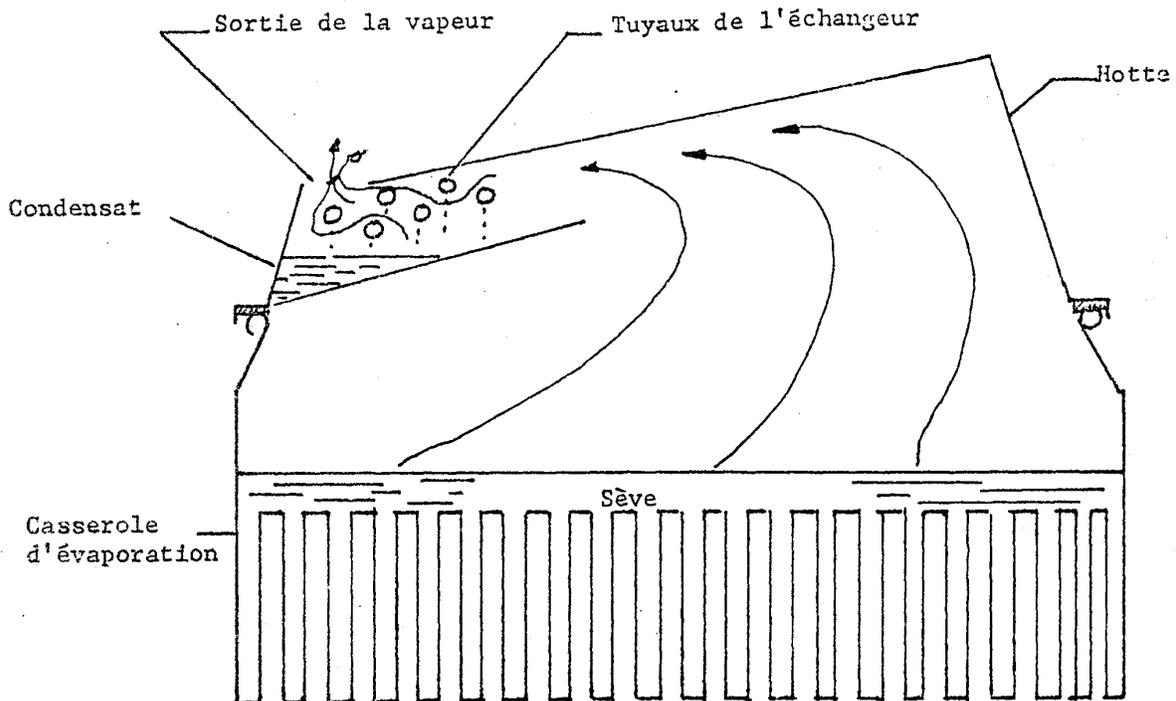


Figure 8: Vue en coupe du montage utilisé lors de l'essai du préchauffeur.

Tableau 9 : Résultats de test fait sur un évaporateur avec et sans préchauffeur

Date des essais	Débit (lb/hre)		Augmentation du taux d'évaporation (%)	Débit condensat (lbs/hre)	Température de la sève T ₀	À sa sortie du préchauffeur T' ₀
	Sans	Avec				
26 mars	1950	2260	15.9	301	50	186
27 mars	1860	2080*	11.8	291	50	184
28 mars	1875	Nettoyage du couvercle de l'évaporateur				
6 avril	1820	2230	17	320	52	199
9 avril	1870	2210	18	342	38	191
14 avril	1890	2210	17	321	50	192
16 avril	1940	2260	16.5	295	55	186
18 avril	1760	2160	17	351	37	192

* Cette mesure inclue 1 heure de mise en marche.



Conclusion:

Par le passé, alors que la main d'œuvre agricole était abondante et bon marché et l'énergie peu dispendieuse, on a considéré la transformation de la sève d'érable comme un sujet ne présentant que peu d'intérêt au point de vue recherche: . Ces conditions ne prévalent cependant plus aujourd'hui et le contexte évolue rapidement. Nous avons parfaitement conscience de n'avoir apporté aucune solution aux différents problèmes que pose l'évaporation de la sève d'érable. Il serait toutefois heureux de voir dans les idées émises au cours de cet exposé autant de portes ouvertes sur une recherche visant à mettre à la disposition des producteurs, et il est urgent de le faire, des moyens leur permettant une exploitation efficace et qui soit de nature à réduire leurs coûts si on veut que cette industrie prospère et perpétue la tradition qui fait du Québec un des plus grand producteur de produit de l'érable au monde.

Il reste beaucoup à faire et c'est un défi que devra relever cette génération si on veut éviter de voir disparaître du marché des produits étiquetés "Produits d'érable 100% pur, fait au Québec par...".



Bibliographie

- (1) Willit, C.O. Maple Syrup Producers Manuel, Agricultural Handbook, U.S.D.A. Agricultural Research Service 10: 134, 1971, 112 p.
- (2) willit, C.O., Underwood, J.C. Browning Sugar Solution 1. Effect of pH and Type of Amino Acid in Dilute Sugar Solution, Food Research 23: 61 - 67, 1958.
- (3) Willit, C.O., Porter, W.L. Maple Syrup II. A New High-Flamed Maple Syrup, U.S. Bureau of Agriculture and Industry, AIC - 219, 1950.
- (4) Lentos, H.G., Dir. , Underwood, J.C., Willit, C.O. Solution IV. Browning of Sugar The Effect of pH on Volatile Product of Reducing Sugars, Food Research 25: 63 - 66, 1960.
- (5) Underwood, J.C., Filipic, V.J. Gaz Chromatographic Identification of Components in Maple Flavor Extract. Assoc. Offic. Agr. Chem. Jour. 46: 334 - 337 (19Ç3).
- (6) Underwood, J.C. et al. Concentration by Reverse Osmosis of Maple Sap. Food Technology, 21: 24 - 26 (1967).

- (7) Underwood, J.C., Willit, C.O. Operation of a Reverse Osmosis Plant for Partial Concentration of Maple Sap Food Technology 23: 737 –790 (1969) m
- (8) Efliot, N. et al, Increasing Maple Syrup Production in Caledonia Country, Vermont; A Feasibility Study. Northeast Kingdom Rural Area Development Committee (1971).
- (9) Fryling, G.R., Combustion Engineering 2. New York, Combustion Engineering Isic., 1966, 920 p.
- (10) Anonyme, Handbook of Chemistry and Physics, 35. Chemical Rubber Publishing CO. 1953 - 54, 3163 p.
- (11) Raithby, G.D., et al. A Prehcater Improving the efficiency of Open-Pan Evaporator, University of Waterloo Research Instifute, Report No 1, 1973.

