

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 présentée dans le cadre d'une journée d'information tenue à
Victoriaville**

**Amélioration de l'efficacité globale d'un évaporateur de sève
d'érable attribuable à l'addition d'une soufflerie.**

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

Collaborateurs : René Desruisseaux
Garneau Cormier



La bonne efficacité d'un système d'évaporation suppose un bon contrôle du tirage naturel et un apport adéquat d'air pour assurer la combustion complète du combustible.

L'ajout d'une soufflerie peut permettre de corriger des défauts chroniques de tirage naturel mais ne devrait pas être installée sur un évaporateur dont la combustion est adéquate. L'ajout de ce type d'équipement peut provoquer des points chauds, un gonflement excessif de la structure et une accélération du taux d'utilisation du combustible. Il est douteux d'obtenir une quelconque économie d'énergie associée à ce type d'équipement.



Table des matières

Introduction	1
But de l'expérience.....	2
Protocole expérimentale	3
Description des essais.....	3
Description de l'évaporateur.....	3
Procédures générales.....	5
Taux d'évaporation	5
Taux d'alimentation en combustible.....	5
Conditions générales	5
Tirage	5
Température des gaz de cheminée.....	5
O ₂ dans les gaz de cheminée	6
Résultats	6
Calcul de l'efficacité globale	6
Rythme d'ébullition	7
Discussion	8
Conclusion.....	10

Amélioration de l'efficacité globale d'un évaporateur de sève d'érable attribuable à l'addition d'une soufflerie.



Introduction

Les avantages comparatifs du bois comme combustible utilisé dans les évaporateurs de sève d'érable ont été confirmés au cours des dernières années par l'augmentation rapide du prix des produits pétroliers ainsi que par les difficultés, voir même l'impossibilité technique ou économique, d'adapter des technologies alternatives à l'évaporation pour concentrer partiellement l'eau d'érable (thermoc compression, osmose inversée ...).

On a donc cherché à améliorer les conditions dans lesquelles se déroulent les réactions de combustion du bois dans un foyer d'évaporateur de sève d'érable et, de façon plus générale, d'améliorer l'efficacité globale du système d'évaporation.

Il convient ici de distinguer trois mesures d'efficacité que l'on utilise souvent sans distinction :

- L'efficacité de combustion : Il s'agit de la mesure du rapport entre l'énergie effectivement libérée au cours d'une réaction de combustion et l'énergie totale disponible dans un combustible.
- L'efficacité du transfert thermique : Il s'agit de la mesure du rapport entre l'énergie transférée à la solution pour la transférer en vapeur et l'énergie disponible au terme de la réaction de combustion.
- L'efficacité globale : Comme il est excessivement difficile de mesurer précisément les deux premiers niveaux d'énergie, l'efficacité globale d'un système sert en quelque sorte à les intégrer à l'intérieur d'une même définition; il s'agit de la mesure du rapport de la quantité d'énergie transformée en vapeur par le système et l'énergie potentielle totale du combustible.

La figure 1 illustre ces différents concepts au moyen d'un bilan thermique réalisé sur un évaporateur de sève d'érable.

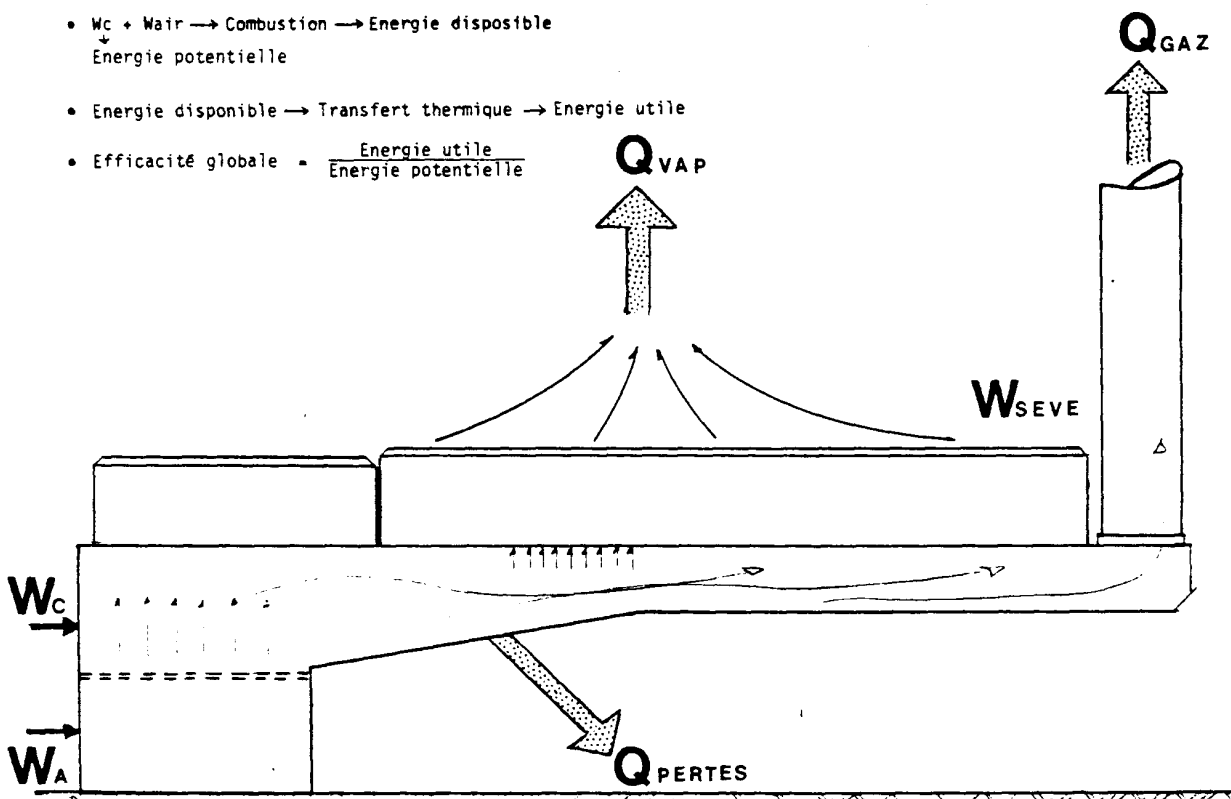


Figure 1: Illustration d'un bilan thermique et définition des différents niveaux d'efficacité.

Un des appareils suggérés par l'industrie pour améliorer ce qu'on suppose être l'efficacité globale d'un évaporateur utilisant le bois comme combustible, consiste en une soufflerie que force un certain volume d'air directement dans la chambre de combustion à travers des grilles spécialement conçues. Ces appareils sont généralement désignés par les appellations qui suggèrent une économie de combustible.



But de l'expérience

Cette expérience avait pour but de mesurer l'augmentation d'efficacité globale d'un évaporateur attribuable à l'addition d'une soufflerie. Les tests ont été réalisés à l'érablière de MM. Nicolas et Claude Nappert de St-Sylvestre, les 23, 24 et 30 novembre ainsi que les 2 et 4 décembre 1983. L'expérience a été menée par le personnel de la Division de l'apiculture et de l'acériculture du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec en collaboration avec M. François Gagnon, ingénieur, Bureau régional de St-Joseph de Beauce.



Protocole expérimentale

Description des essais

Chaque test consistait à opérer l'évaporateur pendant 4 heures pour en mesurer l'efficacité, ainsi que pour observer le rythme d'ébullition dans les casseroles en fonction de chaque type de modification qui était apporté.

Le premier test a été réalisé avec l'évaporateur tel qu'utilisé par les producteurs au cours des dernières années. Lors du second essai, une soufflerie avait été installée conformément aux spécifications du manufacturier. On a ensuite modifié le profilé des cendres dans le foyer et procédé au troisième essai en conservant la soufflerie. Finalement, la soufflerie a été enlevée et le quatrième essai a été fait en ne conservant que les modifications qui avaient été apportées au foyer. Les sigles utilisés pour décrire chaque essai sont les suivants :

- SM : Évaporateur sans modifications;
- AS : Évaporateur avec soufflerie;
- ASFM : Évaporateur avec soufflerie et foyer modifié;
- SSFM : Évaporateur sans soufflerie et foyer modifié.

Sauf pour le premier essai (SM), chaque test est sans répétition et seules les mesures effectuées au cours des trois dernières heures d'opération ont été retenues pour fin de calcul.

Description de l'évaporateur

Le foyer d'évaporation ainsi que les casseroles sont de marque "Small Brothers" et sont utilisés depuis plus d'une dizaine d'années. La casserole à plis mesure 1,5 m X 3,05m avec 20 plis de 150 mm de profondeur. La casserole à fond plat mesure 1,5 m X 1,2 m, ce qui nous donne une surface totale exposée de 25 m².

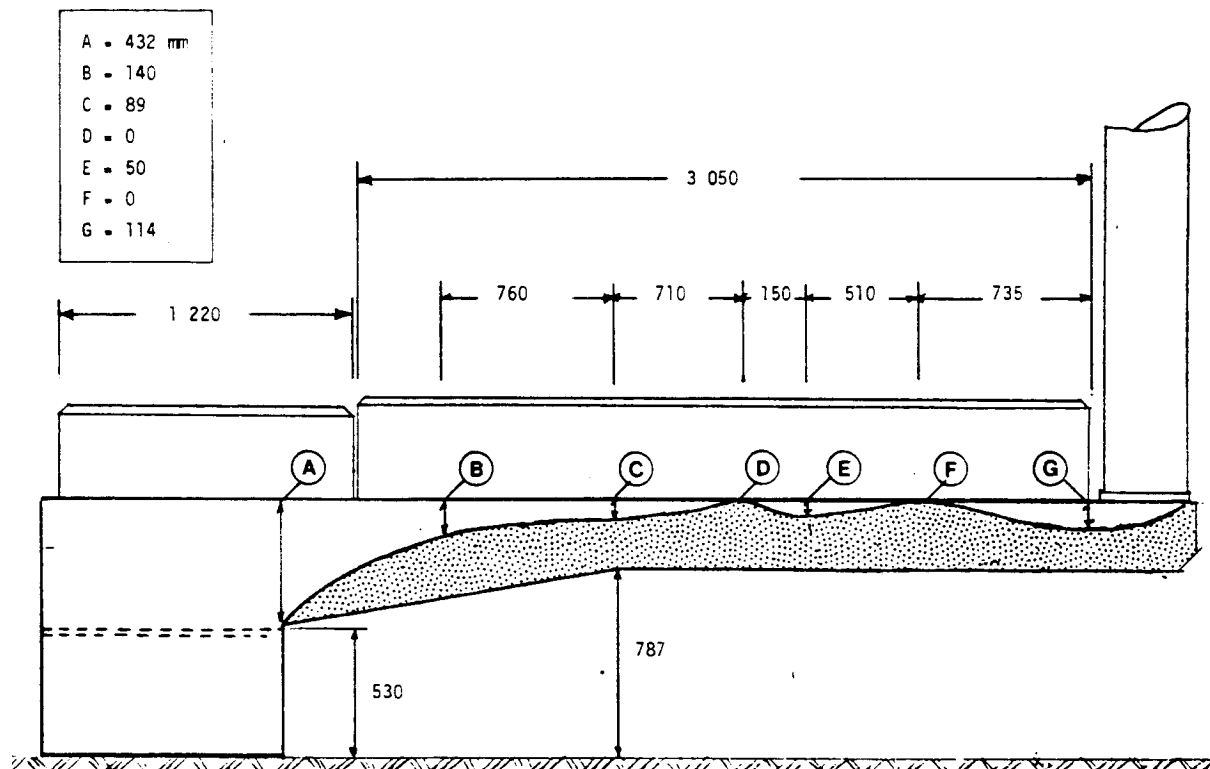


Figure 2: Caractéristiques de l'évaporateur avant modifications.

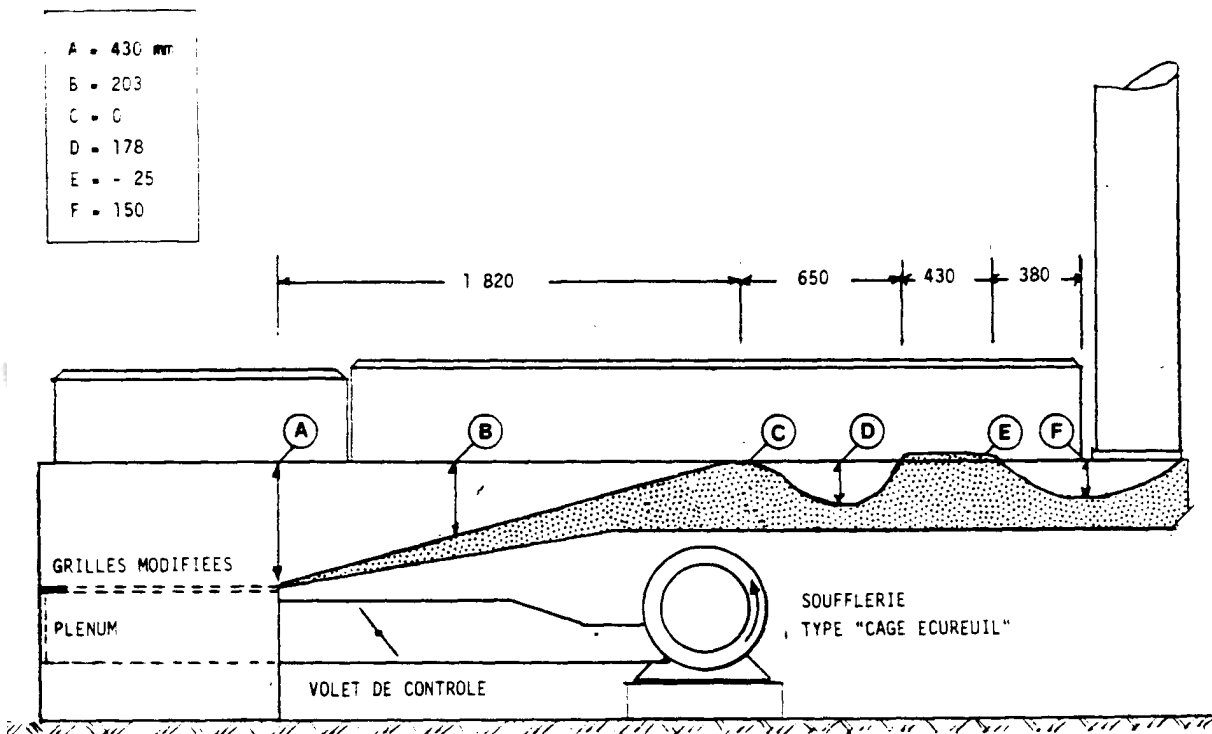


Figure 3: Caractéristiques de l'évaporateur tel que modifié pour l'installation de la soufflerie.

La figure 2 donne les caractéristiques de l'évaporateur avant modifications alors que la figure 3 montre le même évaporateur tel que modifié par les techniciens de la compagnie pour installer la soufflerie.

Procédures générales

- Avant d'allumer le foyer, le niveau d'eau dans les casseroles est corrigé pour obtenir au départ de chaque expérience un volume initial de $0,5 \text{ m}^3$ d'eau.
- Les essais débutent avec l'allumage du foyer (t_0). Le matériel utilisé pour allumer le foyer (papier, bois sec, ...) n'est pas pris en compte pour le bilan d'énergie.
- Au cours des expériences, le volume d'eau dans les casseroles est réglé par le contrôleur de niveau. Son ajustement n'a pas été modifié au cours des essais.
- L'alimentation en combustible est assurée par le propriétaire de façon à simuler le plus parfaitement possible une opération normale.
- La solution évaporée est de l'eau potable provenant d'une source située à proximité de la sucrerie.

Taux d'évaporation

Comme le niveau d'eau dans les casseroles est maintenu constant, le taux d'évaporation est assimilé au taux d'alimentation en eau de la casserole, lequel est mesuré à l'aide d'un compteur de type "Neptune" préalablement calibré.

Taux d'alimentation en combustible

On s'est d'abord assuré de disposer d'un volume suffisant et homogène de bois composé essentiellement d'érable, fendu grossièrement, et empilé sous abri depuis près de deux ans. Le pouvoir calorifique du combustible est établi à $13,4 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$ ($5\,780 \text{ BTU/lb}$).

Au début de chaque expérience, un volume d'environ un demi corde de bois est pesé et le taux d'alimentation est établi par différence de poids.

Conditions générales

Diverses mesures sont effectuées pour permettre de qualifier les conditions dans lesquelles se déroulent les réactions de combustion. Ces mesures ne sont cependant pas utilisées dans les calculs de bilan d'énergie.

Tirage

Le tirage dans le foyer ainsi que dans la cheminée est mesuré en pouces d'eau à l'aide d'un manomètre incliné de type "Dwyer". On mesure également la pression statique qu'exerce l'air dans le plénum situé sous les grilles de la chambre à combustion.

Température des gaz de cheminée

On utilise un thermomètre bi-métallique gradué de 200°F à 1000°F . La profondeur d'immersion de la tige dans les gaz chauds est maintenue constante à 25 cm .

O₂ dans les gaz de cheminée

Une combustion incomplète est caractérisée par un faible pourcentage d'oxygène dans les produits de combustion. Un pourcentage de plus de 10% d'O₂ indique que la réaction se fait en présence d'un volume d'air égal au double du volume stoechiométrique. Cette analyse est réalisée avec un appareil de type "Bacharach Ryritye Gaz Alaryzers".



Résultats

Les résultats obtenus lors des différentes périodes d'évaporation seront comparés sur la base de deux critères : l'efficacité globale de l'évaporateur et le rythme d'ébullition des différentes parties des casseroles.

Calcul de l'efficacité globale

$$\text{EFF (\%)} = \frac{W_{\text{eau}} \times \{ (c_{p_{\text{eau}}} \times (100 - T_{\text{eau}})) \} \text{ (es. 1)}}{(W_{\text{bois}} \times P.C_{\text{bois}}) + E} \times 100 \text{ (eq. 1)}$$

où :

W_{eau}	Taux d'évaporation (kg/h)
CP_{eau}	chaleur spécifique de l'eau (4.216 kJ/kg - °C)
T	Température de l'eau à son entrée dans l'évaporateur (°C)
$h f g$	Chaleur latente de vaporisation pour une pression atmosphérique normale (2250 kJ/kg)
W_{bois}	Taux d'alimentation en combustible (kg/h)
$P.C$	Pouvoir calorifique du bois (13,4 X 103kJ/kg)
E	Énergie électrique fournie au moteur de la soufflerie

Etant donné que l'énergie utilisée par les deux moteurs de 1/3 H.P. qui équipent la soufflerie n'est que d'environ 1.5 kJ/hre, on peut négliger le terme E. Si on substitue les termes de l'équation 1 par leur valeur numérique, on obtient :

$$\text{EFF (\%)} = \frac{W_{\text{eau}} (2250 + 4.216 \times (100 - T))}{W_{\text{bois}} \times 13.4 \times 10^3} \times 100 \text{ (eq. 2)}$$

De façon générale, la température de l'eau mesurée à son entrée dans l'évaporateur est de 3°C. En substituant cette valeur dans l'équation 2, on obtient :

$$\text{EFF (\%)} = \frac{W_{\text{eau}}}{W_{\text{bois}}} \times 19.84 \text{ (eq. 3)}$$

Toutes les mesures effectuées au cours des essais apparaissent aux tableaux de l'annexe A. Sur la base de la définition de l'efficacité globale donnée par l'équation 3, on retrouve au tableau 1 un sommaire des résultats obtenus au cours des quatre essais.

Tableau 1: Sommaire des résultats

Description foyer	W_{eau} (L/hre)	W_{bois} (Kg/hre)	Efficacité (%)	T_{gax} (°C)
SM	675	234	57.2	275
AS	708	245	57.3	313
ASFM	733	230	61.5	309
SSFM	700	212	65.5	305

Rythme d'ébullition

Par expérience, on sait que l'application localisée d'un taux de transfert de chaleur excédant les possibilités des surfaces d'évaporation peut amener un gonflement excessif en plus de provoquer une caramélisation des sucres présents dans la solution (hot spot).

Par observation du rythme d'ébullition, on voulait apprécier la facilité relative avec laquelle on pouvait fabriquer un sirop d'érable de qualité pour chaque modification apportée à l'évaporateur. On a donc divisé les surfaces d'évaporation en trois sections, soient :

- Section A: Casseroles à fond plat;
- Section B: demi avant de la casserole à plis;
- Section C: demi arrière de la casserole à plis.

À chaque essai, lorsque l'évaporation était pleinement développée, les personnes présentes ont tenté de qualifier le rythme d'ébullition suivant quatre classes, à savoir :

- Lent (L): La casserole peut transférer plus d'énergie sans provoquer de gonflement excessif;
- Normal (N): Le rythme d'ébullition correspond à la capacité maximale de la casserole;
- Violent (V): Le rythme d'ébullition provoquerait probablement un gonflement difficile à contrôler si on évaporait de l'eau d'érable;
- Excessif (E): Le gonflement qu'on obtiendrait avec de l'eau d'érable ne permettrait pas le maintien du même taux d'alimentation en combustible sans l'utilisation d'une quantité considérable d'agents anti-moussants.

Le tableau 2 résume pour chacune des expériences les observations notées en regard du rythme d'ébullition.

Tableau 2: Rythme d'ébullition

Description foyer	Section		
	A	B	C
SM	N	N	L
AS	E	E	N
ASFM	V	E	N
SSFM	N	V	N



Discussion

L'analyse des résultats compilés aux tableaux 1 et 2 tend à démontrer l'addition d'un système de soufflerie, même s'il permet d'augmenter le rythme d'ébullition dans toutes les sections de l'évaporateur, ne semble pas augmenter significativement le taux d'évaporation et, par conséquent, l'efficacité globale du système (figures 4 et 5).

Ce constat devrait s'appliquer dans la majorité des évaporateurs ayant un rapport longueur/largeur égal ou supérieur à 3, et pour lequel le tirage naturel permet l'arrivée d'un volume d'air suffisant pour que la réaction de combustion se déroule avec un excès d'air satisfaisant.

L'évaporateur qui a servi aux essais était manifestement dans cette catégorie puisque le tirage naturel dans la cheminée était de l'ordre de -0,18 pouces d'eau et le pourcentage d'oxygène mesuré dans les gaz de cheminée (14%) indique que même sans soufflerie, la combustion s'effectuait avec un excès d'air supérieur à 100%.

Le fait de forcer l'air à travers les grilles de la chambre à combustion provoque naturellement une augmentation de la température de la flamme et accélère le taux de transfert de chaleur par radiations au niveau des surfaces d'évaporation directement exposées. Pour contrôler les problèmes de gonflement qui en résultent, on doit obstruer la sortie de la soufflerie pour diminuer le débit d'air, ce qui nous ramène essentiellement aux conditions d'alimentation en comburant qu'on avait naturellement. Ceci permet d'expliquer que nous n'ayons pu mesurer une diminution significative de la consommation de combustible par unités de volume d'eau évaporées. D'autre part, si on doit arrêter la soufflerie pour permettre le chargement du foyer, la réaction de combustion cesse puisqu'elle n'est plus alimentée en oxygène. On observe alors un arrêt presque immédiat de l'ébullition dans les casseroles avec les conséquences que l'on devine quant à la possibilité d'extraire le sirop le plus rapidement possible lorsqu'il a atteint sa concentration maximale.

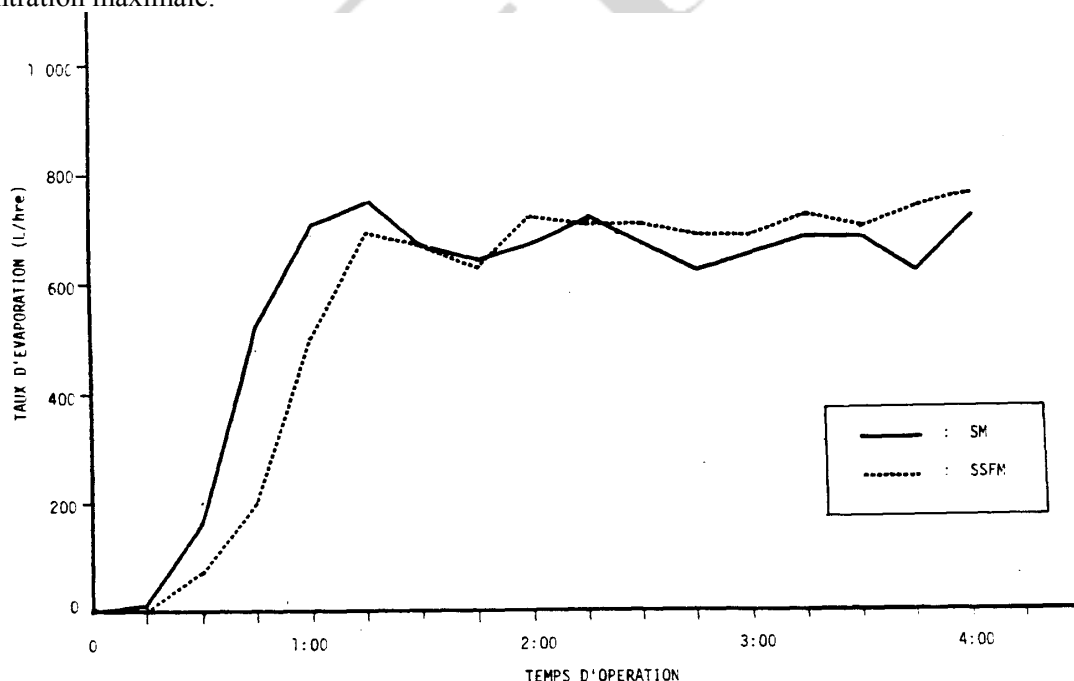


Figure 4 : Taux d'évaporation en fonction des modifications apportées au foyer (SM + SSFM)

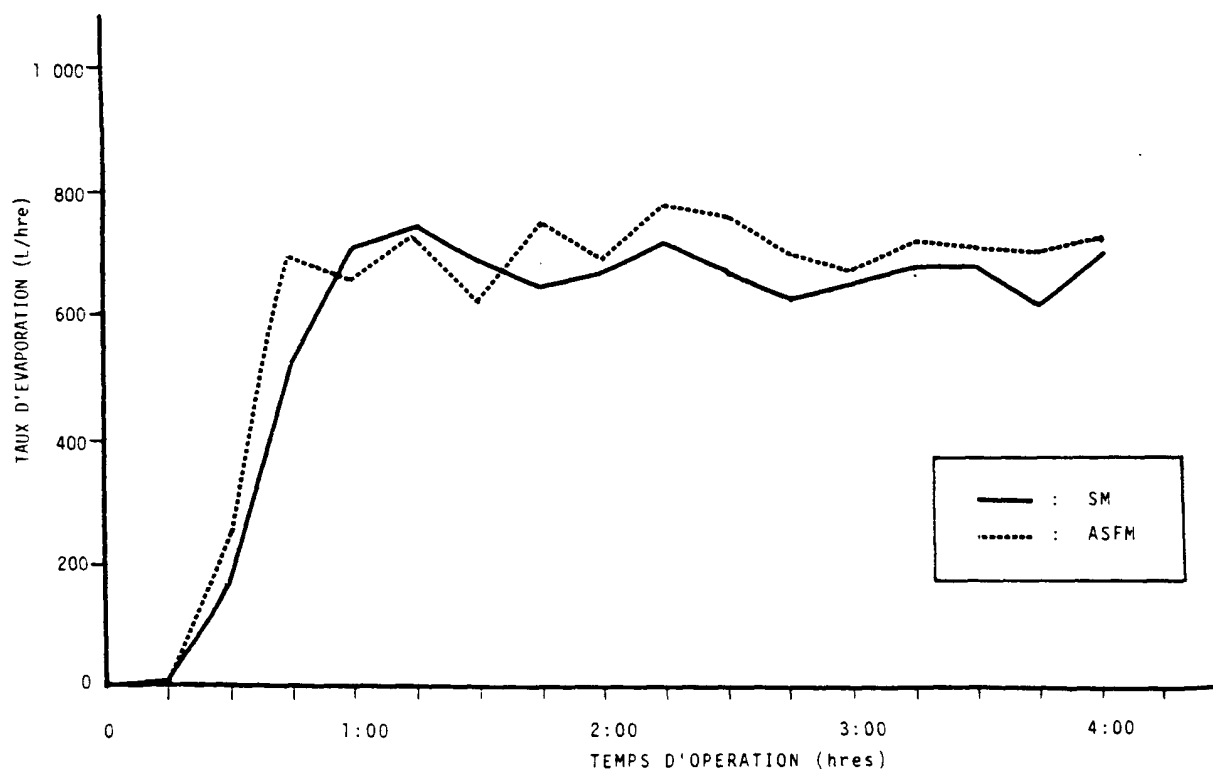


Figure 5 : Taux d'évaporation en fonction des modifications apportées au foyer (SM + ASFM)

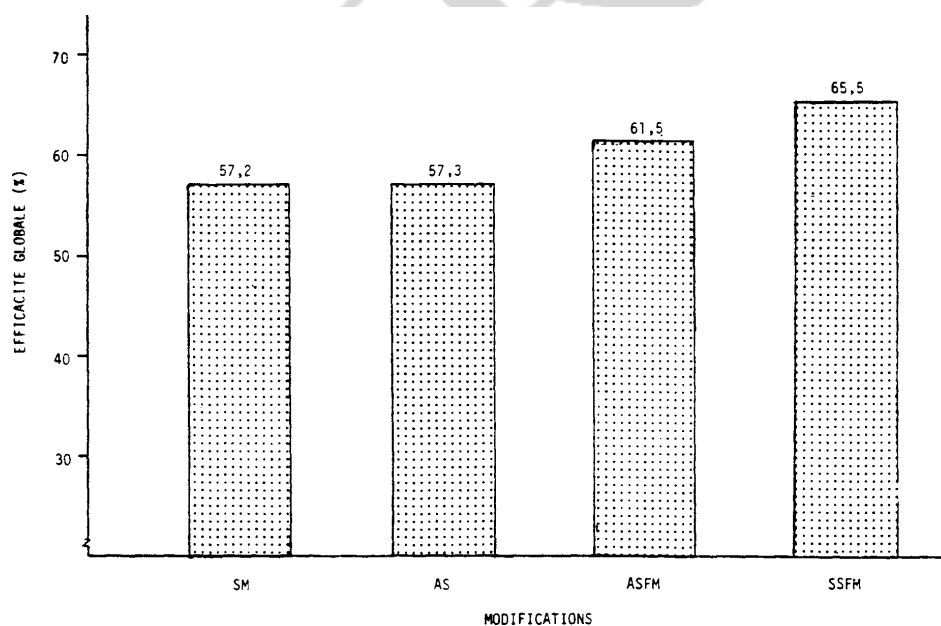


Figure 6: Efficacité globale du système d'évaporation en fonction des modifications apportées au foyer.



Conclusion

L'addition d'un système de soufflerie ne permet pas d'augmenter "a priori" les performances ni l'efficacité globale d'un évaporateur utilisant le bois comme combustible (figure 6).

Au départ, on doit considérer les conditions de tirage naturel et essayer de les améliorer par des moyens peu coûteux tels que le dégagement du cendrier, l'augmentation du volume de la chambre à combustion ou encore la modification du profil des cendres dans le foyer.

Si ces modifications ne permettent pas de maintenir un rythme d'ébullition normal dans chacune des sections de l'évaporateur, l'addition d'une soufflerie peut être alors envisagée. Il faut comprendre qu'il s'agit d'un correctif à apporter à un système inefficace et non un moyen sûr d'économiser du combustible.

À ce chapitre, il semble peu probable qu'on puisse atteindre des économies de l'ordre de celles suggérées dans la publicité utilisée pour vendre ce type d'appareil. Cependant, il est possible que l'économie de bois et/ou l'amélioration des performances de l'évaporateur permettent de rentabiliser l'investissement que représente cette pièce d'équipement si :

- La longueur de l'évaporateur est plus de trois fois sa largeur;
- La qualité du bois, sa composition, son degré de séchage laissent à désirer;
- L'évaporateur présente des mauvaises conditions de tirage naturel qu'il est impossible d'améliorer par d'autres moyens.

La Division de l'Apiculture et de l'Acériculture se propose de compléter cette étude par d'autres expériences portant cette fois sur les évaporateurs de plus grande taille ou encore des évaporateurs ayant de faibles performances au niveau de la combustion.