



Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.

Siège social et station expérimentale
142, Rang Lainesse
Saint-Norbert d'Arthabaska
Québec G0P 1B0
Téléphone : (819) 369-4000
Télécopieur : (819) 369-9589

PROTOCOLE

**QUALIFICATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UN SYSTÈME
D'ÉVAPORATION DE CONCENTRÉ DE SÈVE FONCTIONNANT AUX
GRANULES À L'AIDE DE PROGICIEL EE2012- ACER**

Par : Fadi Ali, ing, Ph. D.

Jessica Houde, ing.

Collaborateurs : Alfa Arzate. ing, Ph. D.

Aline Batungwanayo, ing. jr.

Guy Boudreault, tech. for.

Julien Lavoie, tech

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	i
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
INTRODUCTION	1
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES COMPOSANTES	3
I. DONNÉES TECHNIQUES DU FOYER :	3
II. DONNÉES TECHNIQUES DE CASSEROLES :	4
III. DONNÉES TECHNIQUES DU PRÉCHAUFFEUR.....	6
IV. DONNÉES TECHNIQUES DES BRÛLEURS, CONVOYEUR, LA CHAMBRE DE COMBUSTION ET DE L'INJECTEUR D'AIR	7
V. IDENTIFICATION DE L'INSTRUMENTATION.....	11
TAUX D'ÉVAPORATION À L'EAU PURE	13
TAUX D'ÉVAPORATION AVEC LA SÈVE D'ÉRABLE	24
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE INSTANTANÉE	24
SYSTÈME DE PRÉCHAUFFAGE	28
DIAGNOSTIC	29
RÉFÉRENCES	31



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Fiche descriptive des données techniques du foyer de l'évaporateur.....	3
Tableau 2 :	Fiche descriptive des données techniques de casseroles à fond plat.....	4
Tableau 3 :	Fiche descriptive des données techniques de casseroles à fond plis.....	5
Tableau 4 :	Fiche descriptive de l'alimentation et de la productivité de l'évaporateur.	5
Tableau 5 :	Fiche descriptive des données techniques du préchauffeur.....	6
Tableau 6 :	Fiche descriptive des données techniques des brûleurs, des convoyeurs, de chambre de combustion et d'injecteur d'air.....	7
Tableau 7 :	Tableau de caractérisation des vis du convoyeur.....	10
Tableau 8 :	Différence entre la valeur prédite et mesurée pour l'alimentation en granules.....	10
Tableau 9 :	Instruments utilisés pour chaque paramètre d'évaporation.....	12
Tableau 10 :	Estimation du volume d'eau minimum requis pour le test d'évaporation.....	15
Tableau 11 :	Calcul du volume total de liquide dans les casseroles.....	16
Tableau 12 :	Calcul du volume de liquide dans chaque type de casseroles (plis et plat).....	16
Tableau 13 :	Données à inscrire pour les caractéristiques du liquide à l'entrée (Utilisation d'un compteur totalisateur d'eau).....	17
Tableau 14 :	Données à inscrire pour les caractéristiques du liquide à l'entrée (Utilisation d'une règle).....	17
Tableau 15 :	Données à inscrire pour les caractéristiques des granules et du convoyeur d'alimentation.....	17
Tableau 16 :	Compilation des données d'alimentation en liquide au cours du temps pour le test d'évaporation à l'eau pure. (Utilisation d'un compteur totalisateur d'eau).....	19
Tableau 17 :	Compilation des données d'alimentation en liquide au cours du temps pour le test d'évaporation à l'eau pure. (Utilisation d'une règle).....	20
Tableau 18 :	Compilation des données du test de combustion.....	21

Tableau 19 :	Résultats moyens obtenus pour le taux d'évaporation.....	23
Tableau 20 :	Diagnostic du système d'évaporation.....	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Profil de la chambre de combustion et du foyer	4
Figure 2 :	Écran d'accueil du logiciel EE2012-ACER (pro-logiciel).....	9
Figure 3 :	Diagramme permettant de définir le patron d'ébullition et d'effectuer le repérage d'éventuels points chauds.....	18
Figure 4 :	Schéma de l'évaporateur et des éléments pour les mesures de combustion.....	20
Figure 5 :	Emplacement du résultat d'efficacité énergétique instantanée calculé à l'aide du logiciel	25
Figure 6 :	Visualisation de la feuille de calcul d'efficacité énergétique du logiciel (Utilisation d'un compteur totaliseur).....	26
Figure 7 :	Visualisation de la feuille de calcul d'efficacité énergétique du logiciel (Utilisation d'une règle).....	27

Toute information contenue dans ce document est la propriété du Centre ACER.

Cette information ne peut pas être utilisée, reproduite ou transmise sans l'autorisation écrite du Centre ACER, à moins que ce ne soit pour usage personnel et non commercial. Lorsque de l'information issue de ce document est utilisée, reproduite ou transmise à une tierce personne, pour toute fin autorisée, il doit être clairement indiqué sur les documents utilisés, reproduits ou transmis que cette information est la propriété du Centre ACER.

INTRODUCTION

Compte tenu de son importance en termes d'investissement et de coûts d'opération, le système d'évaporation est l'une des composantes majeures de l'appareil de production acéricole. La mesure de son efficacité énergétique demeure probablement l'un des meilleurs outils pour poser un diagnostic objectif quant au fonctionnement général de tout le système d'évaporation et à ses performances. En effet, même si une bonne efficacité ne peut garantir à elle seule la production d'un produit conforme à toutes les exigences relatives à la qualité commerciale du sirop d'érable, elle en est cependant une condition essentielle. De plus, une bonne analyse de l'efficacité du système d'évaporation permet de minimiser le coût de l'énergie nécessaire à la production du sirop d'érable qui reste l'une des composantes importantes du coût de production.

L'efficacité énergétique établit la relation entre la quantité d'énergie effectivement utilisée par le système d'évaporation pour produire le sirop d'érable et la quantité totale d'énergie fournie au système. Cette énergie est essentiellement générée par la combustion des granules de bois. Ce rapport d'énergie est obligatoirement inférieur à 1 (100 %) puisque le meilleur des systèmes d'évaporation présente toujours quelques pertes. La plus importante de ces pertes est celle causée par la chaleur transportée hors du système d'évaporation par les gaz de cheminée. À cette perte s'ajoutent la chaleur perdue par conduction à travers les parois de la chambre à combustion et du foyer et, finalement, la chaleur perdue en raison d'une combustion incomplète qui se traduit notamment par la présence de suie dans les gaz de cheminée.

La principale motivation qui devrait inciter chaque acériculteur à assurer un suivi périodique et rigoureux de l'efficacité énergétique de son système d'évaporation et à prendre tous les moyens possibles pour l'optimiser demeure le contrôle, sinon la réduction des coûts de production du sirop. De façon générale, un accroissement de 10 % sur l'efficacité énergétique des systèmes d'évaporation devrait permettre d'atteindre au moins un gain d'environ 13 % sur le coût d'une unité massique de sirop d'érable (\$/livre de sirop d'érable). Lorsqu'une augmentation du prix de combustible survient, cet accroissement de l'efficacité énergétique devrait permettre de réduire d'environ 5 % le coût d'une unité massique de sirop d'érable par chaque 10 cents d'augmentation du coût du combustible.

Dans ce contexte, le but de ce document est donc de fournir les outils nécessaires pour qualifier l'efficacité énergétique des systèmes d'évaporation aux granules utilisés dans les sucreries. Ce protocole comprend les sections ci-dessous :

- Caractéristiques techniques des composantes du système d'évaporation : cette section comprend les tableaux nécessaires pour compléter une fiche descriptive potentiellement utile du système d'évaporation.

- Taux d'évaporation : cette section présente la démarche à suivre pour déterminer la performance à l'eau pure et avec la sève d'érable (taux d'évaporation).
- Efficacité énergétique instantanée : cette section décrit les calculs à effectuer pour évaluer l'efficacité énergétique instantanée du système d'évaporation à l'aide de progiciel EE2012-ACER.
- Système de préchauffage : cette section présente la démarche à suivre afin d'évaluer l'effet du préchauffage sur l'efficacité énergétique instantanée du système d'évaporation à l'aide de progiciel EE2012-ACER.
- Diagnostic : cette section est destinée à l'analyse des résultats de tests, tels que le taux d'évaporation à l'eau pure, la température des gaz de cheminée, la pression dans la chambre de combustion, et quelques recommandations principales pour corriger et améliorer la performance de l'évaporateur.

Bien qu'une amélioration de l'efficacité énergétique du système d'évaporation permette généralement d'établir des conditions d'opération facilitant le contrôle de certains paramètres de procédé, son effet sur la conformité générale des sirops d'érable demeure indirect et difficile à quantifier. Suite à l'optimisation énergétique du système d'évaporation, il est nécessaire d'harmoniser les composantes faisant partie de ce système (chambre de combustion, brûleur des granules, vis d'acheminement des granules, foyer, cheminée d'évacuation des gaz, casseroles, hotte à vapeur, préchauffeur, instrumentation ...) et de s'assurer de leur bon fonctionnement. En effet, si l'harmonisation des composantes pour chaque système d'évaporation permet un bon transfert de chaleur vers la sève d'érable en évaporation, elle peut contribuer efficacement au développement d'arômes et de couleur qui définit la valeur commerciale du sirop d'érable.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES COMPOSANTES

I. DONNÉES TECHNIQUES DU FOYER :

Tableau 1 Fiche descriptive des données techniques du foyer de l'évaporateur

FOYER							
Manufacturier							
Technicien qui a installé l'évaporateur							
Type d'évaporateur					Modèle		
Dimensions extérieures nominales					Finition		
Date d'achat			Ajusté le			OK	
	Mois	Année		Mois	Année	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non
CHEMINÉE (GAZ COMBUSTION)							
Matériau							
Dimension de la souche		Largeur			po	Épaisseur	Po
Diamètre de la cheminée					po		
Longueur de la cheminée					po		
Thermomètre (gaz de cheminée)		<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non, précisez				
Clé de régulation de tirage		<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non, précisez				
Contrôle automatique de tirage (<i>Draft-control</i>)		<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non, précisez				
HOTTE (VAPEUR)							
Matériau							
Dimension		Longueur			po	Largeur	Po
Cheminée de vapeur		Diamètre			po	Longueur	Po
Clé de régulation de pression		<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non, précisez				

SCHÉMA DU FOYER

Tracer le schéma (vue de profil) de la chambre de combustion et du profil du foyer à l'aide de la grille ci-dessous.

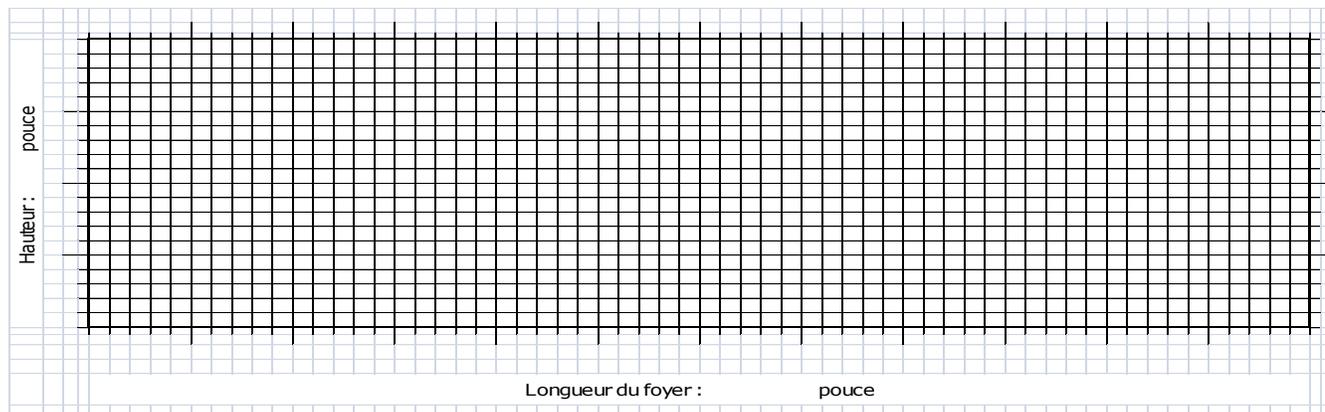


Figure 1 Profil de la chambre de combustion et du foyer

II. DONNÉES TECHNIQUES DE CASSEROLES :

Tableau 2 Fiche descriptive des données techniques de casseroles à fond plat

CASSEROLES À FOND PLAT			
	Casserole 1	Casserole 2	Casserole 3
Tôle SS (nuance)			
Matériau des raccords			
Type de soudure			
Longueur	po	po	Po
Largeur	po	po	Po
Hauteur des côtés	po	po	Po
Nombre de sections par casserole			
Largeur des sections	po	po	Po
Hauteur de liquide au-dessus du fond	po	po	Po
Volume de liquide (si connu)	gal.imp.	gal. imp.	gal.imp.

S'il y a des casseroles intermédiaires ou de finition, veuillez, s'il vous plaît, remplir une autre feuille.

Tableau 3 Fiche descriptive des données techniques de casseroles à fond plis

CASSEROLES À PLIS			
Description	Casserole 1	Casserole 2	Schéma des plis
Tôle SS (nuance)			Plis plat
Matériau des raccords			
Type de soudure			
Longueur	po	po	
Largeur	po	po	
Hauteur des côtés	po	po	
Nombre de plis (compter le nombre de trous)			Plis ouvert
Profondeur des plis	po	po	
Ouverture des plis	po	po	
Fond des plis	po	po	
Hauteur de liquide au-dessus des plis	po	po	
Volume de liquide (si connu)	gal.imp.	gal.imp.	

Tableau 4 Fiche descriptive de l'alimentation et de la productivité de l'évaporateur

CIRCULATION DU LIQUIDE	
Nombre d'entailles exploitées	
Alimentation à l'évaporateur	<input type="radio"/> Flotte <input type="radio"/> Vanne électrique
Alimentation aux casseroles à fond plat	<input type="radio"/> Flotte <input type="radio"/> Vanne électrique
	<input type="radio"/> Autre précisez :
Contrôle à la sortie de sirop d'érable	<input type="radio"/> Électrique <input type="radio"/> Manuel
Taux d'évaporation de conception	
<input type="radio"/> sans préchauffeur	gallons impériaux par heure
<input type="radio"/> avec préchauffeur	gallons impériaux par heure

III. DONNÉES TECHNIQUES DU PRÉCHAUFFEUR

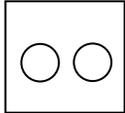
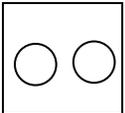
Tableau 5 Fiche descriptive des données techniques du préchauffeur

PRÉCHAUFFEUR			
Matériau de construction et nuance			
Matériau des raccords			
Type de soudure			
Géométrie	<input type="radio"/> Serpentin	<input type="radio"/> en forme de « C »	<input type="radio"/> Autre, précisez
Longueur totale	po	Nombre de tuyaux	
Longueur de chaque tuyau	po	Diamètre des tuyaux	po
Température d'opération maximale	°C ou °F		
Temps nécessaire pour atteindre la température maximale	minutes		
Capacité totale	gal.imp.	Conductivité thermique	BTU/hr °F par surface
Autres (décrire le préchauffeur)			
(Dessin)			

IV. DONNÉES TECHNIQUES DES BRÛLEURS, CONVOYEUR, LA CHAMBRE DE COMBUSTION ET DE L'INJECTEUR D'AIR

IV.1 Identification :

Tableau 6 Fiche descriptive des données techniques des brûleurs, des convoyeurs, de chambre de combustion et d'injecteur d'air

CHAMBRE DE COMBUSTION					
Largueur (pouce)		Hauteur (pouce)			
BRÛLEUR No.				Emplacement	
Emplacement				(marquer d'un X la position de brûleur) 	
Marque		Modèle			
Date d'installation		Technicien			
BRÛLEUR No.					Emplacement
Emplacement				(marquer d'un X la position de brûleur) 	
Marque		Modèle			
Date d'installation		Technicien			
Convoyeurs					
Emplacement	Nombre	Marque	Vitesse de rotation (rpm)	Débit de granules (kg/h) ou (lb/h)	
(marquer d'un X la position des convoyeurs) 				Si le débit est inconnu, suivre les instructions d'estimation du débit de granules de convoyeurs dans la section suivante	
TOTAL POUR L'EVAPORATEUR			Kg/h ou lb/h		

S'il y a plus que deux brûleurs, veuillez, s'il vous plaît, remplir une autre feuille.

IV.2 Calcul du débit d'alimentation en granules (kg ou lb/h) :

Le débit massique des granules en kg/h ou en lb/h peut être calculé à partir des données de la vitesse de rotation de la vis de chargement des granules en tour par min (rpm) et la quantité transportée par rotation à l'aide de la relation ci-dessous

Débit des granules = vitesse de vis × quantité de granules transportées par tour × 60

$$D_g = v * M_g * 60$$

Où :

D_g : Débit des granules $\left(\left(\frac{kg}{h}\right) \text{ ou } \left(\frac{lb}{h}\right)\right)$.

v : Vitesse de rotation de la ou les vis d'alimentation (tour /min).

M_g : Quantité de granules transportées par rotation (kg ou lb).

Si les données mentionnées ci-dessus ne sont pas disponibles, il faut procéder à une caractérisation empirique de chacun des convoyeurs de l'évaporateur.

PROCÉDURE : CARACTÉRISATION DES VIS OU DES CONVOYEURS D'ALIMENTATION EN GRANULES

Cette caractérisation consiste à mesurer la quantité de granules transportées par un convoyeur en fonction de la vitesse de rotation choisie à l'intérieur de l'intervalle de vitesse de fonctionnement de convoyeur. Cette caractérisation peut être réalisée facilement à l'aide du pro-logiciel:

1. Ouvrez le pro-logiciel. Sur l'écran de départ représenté à la figure 2.
2. Choisissez pour un système fonctionnant aux granules la méthode de mesure du niveau d'alimentation qui sera utilisée lors du test d'efficacité énergétique (méthode par règle ou par compteur d'eau).

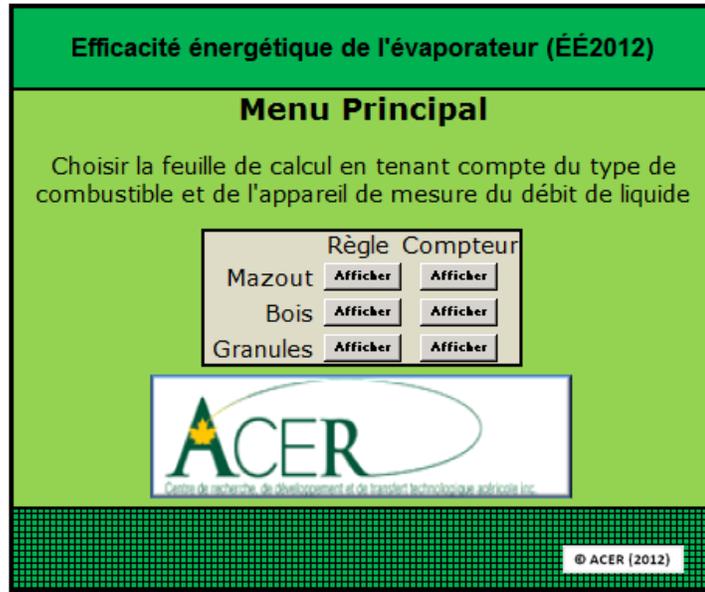


Figure 2 Écran d'accueil du logiciel EE2012-ACER (pro-logiciel)

3. Dans le chiffrier du progiciel EE2012-ACER, ouvrez l'onglet **Caractérisation de la vis**, et pour chacune des vis à caractériser, notez les informations suivantes dans le tableau à cet effet (représenté au tableau 7).
 - a. Préparez un grand seau vide déjà taré.
 - b. Mettez le seau sous l'extrémité de convoyeur.
 - c. Démarrez le convoyeur.
 - d. Choisissez une vitesse de rotation ; commencez avec une basse vitesse à l'intérieur de l'intervalle de fonctionnement de la vis.
 - e. Dès que les granules commencent à tomber de convoyeur dans le seau, démarrez votre chronomètre pour 1 à 3 minutes.
 - f. Notez la quantité de granules acheminées par la vis pour la vitesse de rotation choisie. Enregistrez le temps correspondant (en secondes) à cette mesure.
 - g. Répétez la mesure 3 fois pour une même vitesse de rotation.
 - h. Changez la vitesse de rotation et répéter les étapes (a) à (h).
 - i. Déterminer la quantité des granules transportées pour au moins 4 vitesse de rotation de chaque convoyeur.

j. Notez les résultats de tests dans le tableau de progiciel.

Tableau 7 Tableau de caractérisation des vis du convoyeur

Vitesse de la vis (rpm)	Caractérisation de la vis numéro 1											
	Essai 1			Essai 2			Essai 3			Moyenne	Ecart type	CV
	Lb	Temps (sec)	Lb/h	Lb	Temps (sec)	Lb/h	Lb	Temps (sec)	Lb/h	Lb		(%)

4. Sous chacun des tableaux, des graphiques avec des équations seront automatiquement créés à partir des données entrées. À partir de l'équation obtenue pour chaque vis, notez dans le tableau sous le graphique (représenté ici par le tableau 8) les paramètres **M (valeur de la pente)** et **B (valeur de l'ordonnée à l'origine)** obtenus pour la corrélation du débit massique des granules transportées avec la vitesse de rotation de chaque convoyeur. Ces valeurs vont permettre de comparer les valeurs mesurées réelles et celles obtenues via la formule obtenue.

Tableau 8 Différence entre la valeur prédite et mesurée pour l'alimentation en granules

		Différence entre la valeur prédite et mesurée pour l'alimentation en granules		
M	B	Valeurs		Écart
		Mesurée	Prédite	
		Lb	Lb	Lb

5. Le débit de granules peut être calculé selon une forme empirique comme ci-dessous :

$$D_{v1} = M_1 * V_{v1} + B_1 \quad \text{pour le convoyeur 1}$$

$$D_{v2} = M_2 * V_{v2} + B_2 \quad \text{pour le convoyeur 2}$$

Où :

D_v : Débit de granules transportées par la vis 1 ou 2 en $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ou $\left(\frac{lb}{h}\right)$

V_v : Vitesse de rotation des vis 1 ou 2 lors au moment de fonctionnement de l'évaporateur en tour par minute (*rpm*).

La masse totale (ou le débit total) des granules qui alimentent l'évaporateur correspond à la somme de la quantité de granules acheminées par le convoyeur 1 et 2 comme c'est indiqué dans la formule suivante :

$$M_{tot} = D_{v1} + D_{v2}$$

Où :

M_{tot} = Masse totale des granules acheminées en $\left(\frac{kg}{h}\right)$ ou $\left(\frac{lb}{h}\right)$

V. IDENTIFICATION DE L'INSTRUMENTATION

En suivant l'exemple, décrivez dans le tableau ci-dessous l'instrumentation d'origine ou celle qui a été ajoutée après l'installation du système d'évaporation.

Exemple :

Température dans les casseroles à fond plat	Thermomètre bi-métallique	D&G 11 pouces
---	---------------------------	---------------

Tableau 9 Instruments utilisés pour chaque paramètre d'évaporation

PARAMÈTRE À MESURER	INSTRUMENT	MARQUE ET MODÈLE
Degré Brix à l'entrée de l'évaporateur (sève)		
Degré Brix de sortie (sirop)		
Degré Brix de transfert (plis – plat)		
Pression chambre de combustion		
Pression dans la ligne de combustible		
Température dans les casseroles à fond plat		
Température dans les casseroles à plis		
Température de sortie du sirop d'érable		
Température de transfert (plis – plat)		
Température d'entrée au préchauffeur		
Température des gaz de cheminée		
Température de sortie du préchauffeur		
Temps d'opération		
Volume d'alimentation à l'évaporateur (sève)		
Volume de sortie de l'évaporateur (sirop)		

TAUX D'ÉVAPORATION À L'EAU PURE

Le « Test d'évaporation à l'eau pure » doit être réalisé lorsque le système est complètement installé et que les réglages de la vitesse des convoyeurs, des ventilateurs et des différents éléments ou systèmes de contrôle ont été complétés selon les spécifications du manufacturier.

Ce test permet de :

- Mesurer, lors d'un premier remplissage, le volume de liquide qui sera requis pour atteindre la hauteur de liquide prescrite par le manufacturier pour une opération normale :

Vol_{Plis} : Volume de liquide dans la casserole à plis;

Vol_{Plat} : Volume de liquide dans la casserole à fond plat;

H_{Plis} : Hauteur de liquide au-dessus des plis;

H_{Plat} : Hauteur de liquide au-dessus du fond de la casserole.

- Mesurer les performances à l'eau pure du système d'évaporation sans préchauffeur en relation avec la capacité d'évaporation définie en fonction de la taille et des contraintes opérationnelles de l'érablière;
- Effectuer une première évaluation de l'efficacité instantanée du système d'évaporation sans préchauffeur.

PROCÉDURE

Cette procédure et le calcul de l'efficacité ont été développés pour un système d'évaporation sans préchauffeur. Lorsqu'il s'agit de déterminer la performance du système d'évaporation avec préchauffeur, suivre la procédure de la section **Système de préchauffage** à la page 28 de ce document.

1. Lorsque l'installation est complétée et que des tests préliminaires ont permis au manufacturier d'optimiser le fonctionnement de l'allumage des granules, la vitesse des convoyeurs ainsi que le bon fonctionnement de tous les contrôles (contrôleur de niveau, alarme et autres dispositifs de sécurité, etc.), procédez au test.
2. Assurez-vous de la disponibilité d'une réserve suffisante d'eau potable et de bonne qualité (conductivité électrique < 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Évitez par exemple d'utiliser une eau trop fortement

minéralisée, ce qui favorisera la formation de dépôts dans le système d'évaporation. Le volume d'eau pure (« eau douce et potable ») requis devrait permettre le remplissage initial des casseroles en plus de permettre au moins deux heures de fonctionnement.

Estimation du volume d'eau requis :

Volume mort section à plis (Vol_{Plis})

Vol_{Plis} =	Long_{Plis}	Larg_{Plis}	P_{Plis}	Nb_{Plis}	Long	Larg	H_{Plis}	Nbc_{Plis}	F
Vol _{Plis} =	[(	x	x	x	) + (	x	x	)] x	x

Vol_{Plis} =	
	gallons impériaux

où :

- Long_{Plis} = Longueur des plis [po]
- Larg_{Plis} = Largeur du fond des plis [po]
- P_{Plis} = Profondeur des plis [po]
- Nb_{Plis} = Nombre de plis dans les casseroles (compter le nombre de trous formés par les plis)
- Long = Longueur des casseroles [po]
- Larg = Largeur des casseroles [po]
- H_{Plis} = Hauteur de liquide au-dessus des plis [po]
- Nbc_{Plis} = Nombre de casseroles à plis
- F = Facteur de conversion pour gallons impériaux (F= 0,0036)

Si les plis ont une ouverture, ajoutez au résultat précédent le volume ci-dessous :

Volume mort section ouverture des plis

Vol_{Ouverture Plis} =	Long_{Plis}	O_{Plis}	Larg_{Plis}	P_{Plis}	Nb_{Plis}
Vol _{Ouverture Plis} =	X	[(	-	)]/2 x	] x

Vol_{Ouverture Plis} =	
	gallons impériaux

où :

- O_{Plis} = Ouverture des plis [po] (se référer au tableau 3)

Volume mort section à fond plat

Vol _{Plat} =	Long_{Plat}	Larg_{Plat}	H_{Plat}	Nbc_{Plat}	F
Vol _{Plat} = (x x) x					

Vol _{Plat} =	gallons impériaux
-----------------------	-------------------

où

- Long_{Plat} = Longueur totale des casseroles à fond plat [po]
- Larg_{Plat} = Largeur des casseroles à fond plat [po]
- H_{Plat} = Hauteur de liquide au-dessus du fond des casseroles à fond plat [po]
- Nbc_{Plat} = Nombre de casseroles à fond plat
- F = Facteur de conversion pour gallons impériaux (F= 0,0036)

Compilez les données ci-dessus calculées dans le Tableau 10.

Tableau 10. Estimation du volume d'eau minimum requis pour le test d'évaporation

VOLUME MORT		FONCTIONNEMENT		SOUS-TOTAL (gal.imp.)	SÉCURITÉ (%)	VOLUME D'EAU MINIMUM REQUIS (gal.imp.)
Plis (gal.imp.)	Plat (gal.imp.)	Heures	Débit nominal (gal.imp./h)			
.....a	.....b	.....d	.....e		20	
.....c=a+b		.....g=d*e		.....f=c+g	.....h=0,2*f	.....i=h+f

3. Avant de procéder au test proprement dit, vidangez complètement l'évaporateur de l'eau qui aurait pu servir aux tests préliminaires destinés aux réglages de l'allumage des granules, de la vitesse des convoyeurs et des ventilateurs.
4. À l'aide d'un compteur d'eau (compteur totalisateur ou d'autre type) ou d'une règle étalonnée pour le réservoir d'alimentation en eau, notez avec soin le volume d'eau requis pour atteindre la hauteur de solution requise dans chaque type de casserole (H_{Plis} dans les casseroles à plis et H_{Plat} dans les casseroles à fond plat). Complétez les Tableaux 11 et 12.

Note : Lorsque vous utilisez un compteur d'eau, celui-ci doit être installé entre le réservoir d'alimentation et l'entrée d'eau dans l'évaporateur. Assurez-vous que la hauteur d'eau dans le réservoir est suffisante pour assurer un bon fonctionnement des contrôles de niveau malgré la perte de charge additionnelle

provoquée par le compteur d'eau. De plus, le tube doit être plein d'eau en tout temps, sans bulles d'air qui fausseraient la lecture du compteur.

Tableau 11 Calcul du volume total de liquide dans les casseroles

REPLISSAGE DES CASSEROLES		
Lecture avant remplissage	(A)	
Lecture après remplissage	(B)	
Volume total (B-A)	(C)	gal.imp.
H _{Plis}	(D)	po
H _{Plat}	(E)	po

Tableau 12 Calcul du volume de liquide dans chaque type de casseroles (plis et plat)

CALCUL DES VOLUMES DANS LES CASSEROLES							
Vol _{Plat} =	Largeur	x	Longueur	x	H _{Plat}	x	Facteur
	[pied]		[pied]		[pouce]		0,52
	[gal.imp.]						
Vol _{Plat} =		x		x		x	=
Vol _{Plis} =	Volume total		-		Volume casseroles à fond plat (Vol _{plat})		
Vol _{Plis} =			-				=

5. Dans le progiciel de calcul ouvert précédemment pour évaluer le débit de granules, sélectionnez le premier onglet, nommé « **Granules compteur** » ou « **Granules règle** » dépendant de la méthode de mesure employée.
6. Remplissez la section en haut de la page à l'aide des informations récoltées précédemment (tableaux 13 à 15). Les informations à remplir sont les suivantes :
 - a. Choisissez entre eau potable et concentré (pour le concentré, indiquer le degré Brix à l'entrée de l'évaporateur).

- b. Pour l'utilisation de la règle, inscrivez les informations d'étalonnage du bassin, soit le volume correspondant à une hauteur de X cm dans le bassin.
- c. Inscrivez la température du liquide à l'entrée de l'évaporateur.
- d. Inscrivez la vitesse de rotation de chacun des vis, et le débit de granules correspondant (calculé à l'étape précédente)

Tableau 13 Données à inscrire pour les caractéristiques du liquide à l'entrée (Utilisation d'un compteur totalisateur d'eau)

Température du liquide à l'entrée			°C
Eau potable	<input type="checkbox"/>	Concentré (°Brix)	<input type="checkbox"/>

Tableau 14 Données à inscrire pour les caractéristiques du liquide à l'entrée (Utilisation d'une règle)

Règle de mesure dans le réservoir			
Hauteur		cm égale	gal. imp.
Température du liquide à l'entrée			°C
Eau potable	<input type="checkbox"/>	Concentré (°Brix)	<input type="checkbox"/>

Tableau 15 Données à inscrire pour le prix des granules et les débits des convoyeurs d'alimentation

Prix granules			\$/livre	ou		\$/kg
VIS 1		rpm		kg granules/h		BTU/h
VIS 2		rpm		kg granules/h		BTU/h
ENSEMBLE DES VIS				kg granules/h		BTU/h

7. Débutez le test en commençant à chauffer l'eau dans l'évaporateur
8. Complétez le diagramme présenté à la Figure 3 (page 18). Indiquez sur la figure la région approximative où apparaissent les premiers chapelets de bulles. Attribuez à cette région un numéro et reportez dans la colonne de droite le temps écoulé depuis l'allumage des brûleurs.

9. Démarrez le test proprement dit en faisant une première lecture du volume (compteur d'eau ou règle) et en notant le temps de démarrage, c'est-à-dire l'heure à laquelle la ou les vis ont été mises en fonctionnement. Complétez la ligne T0 du Tableau 16 ou 17.
10. Approximativement à toutes les 15 (quinze) minutes, notez dans le tableau du chiffrier Excel représenté par le Tableau 16 ou 17 la nouvelle lecture du volume (compteur d'eau ou règle). Aucune modification aux réglages initiaux (réglage des brûleurs, niveau d'eau dans les casseroles, etc.) ne doit être apportée pendant la durée du test.
11. Après au moins 2 heures d'opération, le système devrait avoir atteint un certain état d'équilibre et le taux d'évaporation devrait être relativement stable.
12. Cochez dans le tableau du chiffrier du progiciel les points dans lesquels le taux d'évaporation a atteint le seuil de stabilité.

Tableau 16 Compilation des données d'alimentation en liquide au cours du temps pour le test d'évaporation à l'eau pure. (Utilisation d'un compteur totalisateur d'eau)

Alimentation en liquide							
Cocher pour moyenne	CODE TEMPS	Temps		Différence de temps	Compteur	Différence de volume	Taux d'évaporation
		(heure)	(minute)	(min)	(m ³)	(gal. imp.)	(gal. imp./h)
	T0						
<input type="checkbox"/>	T1						
<input type="checkbox"/>	T2						
<input type="checkbox"/>	T3						
<input type="checkbox"/>	T4						
<input type="checkbox"/>	T5						
<input type="checkbox"/>	T6						
<input type="checkbox"/>	T7						
<input type="checkbox"/>	T8						
<input type="checkbox"/>	T9						
<input type="checkbox"/>	T10						
<input type="checkbox"/>	T11						
<input type="checkbox"/>	T12						
<input type="checkbox"/>	T13						
<input type="checkbox"/>	T14						

Tableau 17 Compilation des données d'alimentation en liquide au cours du temps pour le test d'évaporation à l'eau pure. (Utilisation d'une règle)

Alimentation en liquide							
Cocher pour moyenne	CODE TEMPS	Temps		Différence de temps	Règle	Différence de volume	Taux de traitement
		(heure)	(minute)	(min)	(cm)	(gal. imp.)	(gal. imp./h)
	T0						
<input type="checkbox"/>	T1						
<input type="checkbox"/>	T2						
<input type="checkbox"/>	T3						
<input type="checkbox"/>	T4						
<input type="checkbox"/>	T5						
<input type="checkbox"/>	T6						
<input type="checkbox"/>	T7						
<input type="checkbox"/>	T8						
<input type="checkbox"/>	T9						
<input type="checkbox"/>	T10						
<input type="checkbox"/>	T11						
<input type="checkbox"/>	T12						
<input type="checkbox"/>	T13						
<input type="checkbox"/>	T14						

13. Pour mesurer les paramètres d'opération de la combustion (température de gaz, CO₂, O₂, test de fumée), repérez l'orifice (un trou) de prise de mesure sur la souche. Dans le cas où vous ne trouvez pas cet orifice, un nouveau trou doit être fait dans la cheminée comme c'est illustré dans le schéma suivant. Il faut noter que la percée de cheminée doit être faite par un technicien spécialisé ou par un conseiller en acériculture (figure 4).

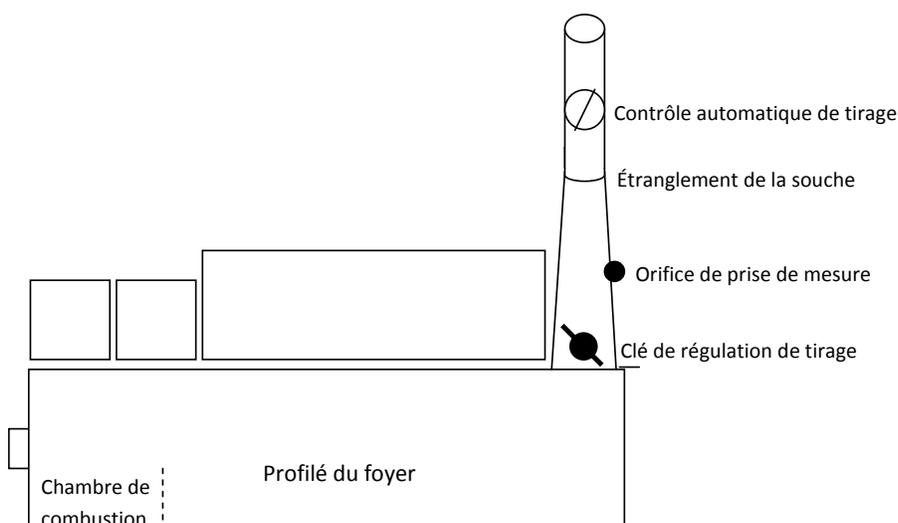


Figure 4 Schéma de l'évaporateur et des éléments pour les mesures de combustion

Notez la position de l'orifice dans la cheminée selon les options suivantes :

Position de l'orifice de prise de mesure de l'efficacité de combustion			
A la base, près du foyer		Hauteur (po)	
A la mi-hauteur de la souche		Hauteur (po)	
En haut, près de la cheminée		Hauteur (po)	

À l'aide des instruments repérés dans le tableau de la page 12 et avant d'arrêter le système d'évaporation, reportez les paramètres d'opération de la combustion (température des gaz de cheminée et pression statique dans la chambre à combustion) dans le tableau de l'onglet « **Combustion** » du logiciel (représenté au tableau 18). Les données peuvent être rapportées aux 15 minutes pour faire une moyenne, comme pour le taux de traitement. Pour la mesure de la teneur en CO₂ dans les gaz de cheminée et le test de fumée, des appareils conçus pour cette fin doivent être utilisés, par exemple, un analyseur à gaz et une pompe à gaz de cheminée.

Tableau 18 Compilation des données du test de combustion

CODE TEMPS	Cheminée			Test de fumée	Chambre de combustion		Air alimentant la chambre	
	Température gaz de cheminée ● °C ou ○ °F	TEST (%)			Température air brûleur	Pression (po d'eau)	Température	Humidité relative (%)
		CO ₂	O ₂					
T0								
T1								
T2								
T3								
T4								
T5								
T6								
T7								
T8								
T9								
T10								
T11								
T12								
T13								
T14								

14. Lorsque le taux d'évaporation devient constant, le test est terminé. Faites la moyenne des derniers taux d'évaporation qui témoignent de la performance de l'évaporateur à l'équilibre. Pour cela, dans le premier onglet, cochez les cases à côté des taux d'évaporation qui correspondent à la stabilité comme c'est illustré par l'image ci-dessous..

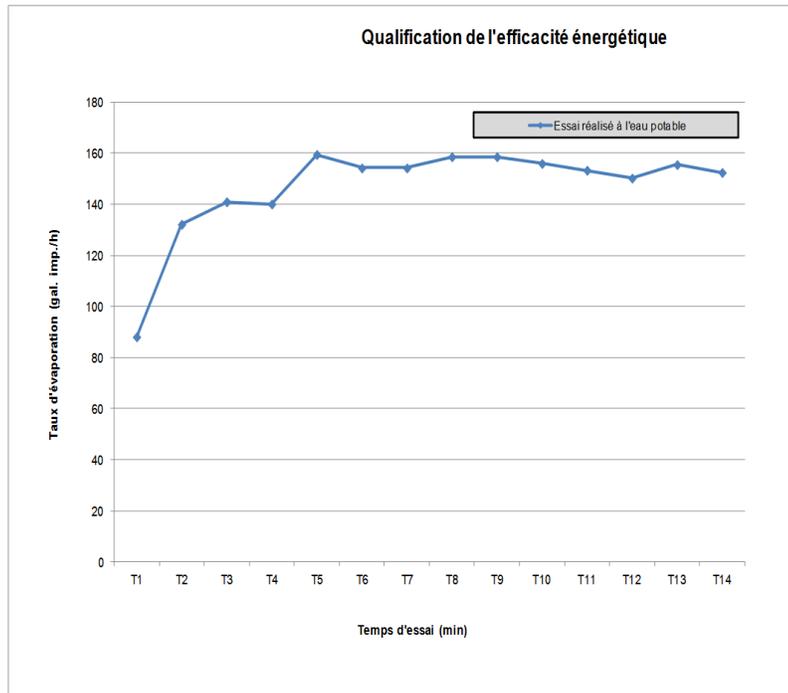
Température du liquide à l'entrée		°C
Eau potable	<input type="radio"/>	Concentré ("Brix)

VIS 1	15	rpm	96,00	kg granules/h	1163213	BTU/h
VIS 2	16	rpm	98,00	kg granules/h	1199946	BTU/h
ENSEMBLE DES VIS			193,00	kg granules/h	2363159	BTU/h

Efficacité énergétique instantanée 74,9%

Alimentation en liquide							Granules				
Cocher pour moyenne	CODE TEMPS	Temps		Différence de temps (min)	Compteur (m³)	Différence de volume (gal. imp.)	Taux d'évaporation (gal. imp./h)	Vitesse V1 (rpm)	Vitesse V2 (rpm)	Consommation pour la période (kg granules)	Coût pour la période (\$)
		(heure)	(minute)								
	T0	9	0		1,000						
<input type="checkbox"/>	T1	9	15	15	1,100	22,0	88,1	15	16	48,25	23,38
<input type="checkbox"/>	T2	9	30	15	1,250	33,0	132,2	15	16	48,25	23,38
<input type="checkbox"/>	T3	9	45	15	1,410	35,2	141,0	15	16	48,25	23,38
<input type="checkbox"/>	T4	10	0	15	1,569	35,0	140,1	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T5	10	15	15	1,750	39,9	159,5	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T6	10	30	15	1,925	38,5	154,2	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T7	10	45	15	2,100	38,5	154,2	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T8	11	0	15	2,280	39,6	158,6	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T9	11	15	15	2,460	39,6	158,6	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T10	11	30	15	2,637	39,0	155,9	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T11	11	45	15	2,811	38,3	153,3	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T12	12	0	15	2,982	37,6	150,2	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T13	12	15	15	3,158	38,9	155,5	15	16	48,25	23,38
<input checked="" type="checkbox"/>	T14	12	30	15	3,331	38,1	152,4	15	16	48,25	23,38

15. L'onglet 2 « **graph granules** » du logiciel permet de visualiser l'évolution du taux d'évaporation dans le temps, afin de faciliter la sélection de la zone de stabilité.



16. Le résultat moyen obtenu des cases cochées est représenté dans un tableau sous les valeurs de taux de traitement compilées :

Tableau 19 Résultats moyens obtenus pour le taux d'évaporation

Taux d'évaporation (gal. imp./h)	
Moyenne pour tous les points	
Écart-type de tous les points	
CV (%)	
Moyenne des points cochés	
Écart-type des points cochés	
CV (%)	

17. Comparez les résultats du « Test d'évaporation à l'eau pure » aux spécifications exigées au devis d'acquisition ou encore, aux garanties d'opérations données par le manufacturier. Si les performances spécifiées ne sont pas atteintes, les réglages doivent être réajustés jusqu'à ce que les performances spécifiées soient confirmées par un nouveau test d'évaporation à l'eau pure.

TAUX D'ÉVAPORATION AVEC LA SÈVE D'ÉRABLE

Le « Test d'évaporation avec la sève d'érable » doit être réalisé lorsque le système est complètement installé et que les réglages de l'allumage des granules, de la vitesse des convoyeurs, des ventilateurs et des différents éléments ou systèmes de contrôle ont été complétés selon les spécifications du fabricant. Ce test permet de :

- Mesurer les performances du système d'évaporation en relation avec la capacité d'évaporation définie en fonction de la taille et des contraintes opérationnelles de l'érablière dans des conditions réelles d'opération;
- Effectuer l'évaluation de l'efficacité instantanée du système d'évaporation dans des conditions réelles d'opération.

PROCÉDURE

Suivez la même démarche que pour le « Test d'évaporation à l'eau pure », mais en sélectionnant le concentré plutôt que l'eau potable. Les tableaux à remplir sont les mêmes que ceux présentés à la section précédente.

Après une rotation du volume mort de l'évaporateur et lorsque les coulées de sirop d'érable deviennent courtes et régulières ou encore mieux en coulée continue, collectez les mesures nécessaires pour remplir le Tableau 16 ou 17. Faites le calcul du taux moyen d'évaporation lorsque le système atteint l'équilibre.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE INSTANTANÉE

Lorsque toutes les sections expliquées précédemment ont été remplies dans le progiciel, celui-ci calcule automatiquement l'efficacité énergétique instantanée, que ce soit à partir de l'eau potable ou du concentré. Le calcul est réalisé à partir des données cochées à la stabilité de taux d'évaporation. Le résultat d'efficacité énergétique est indiqué dans le premier onglet, juste au-dessus du tableau de compilation de données (figure 5) :

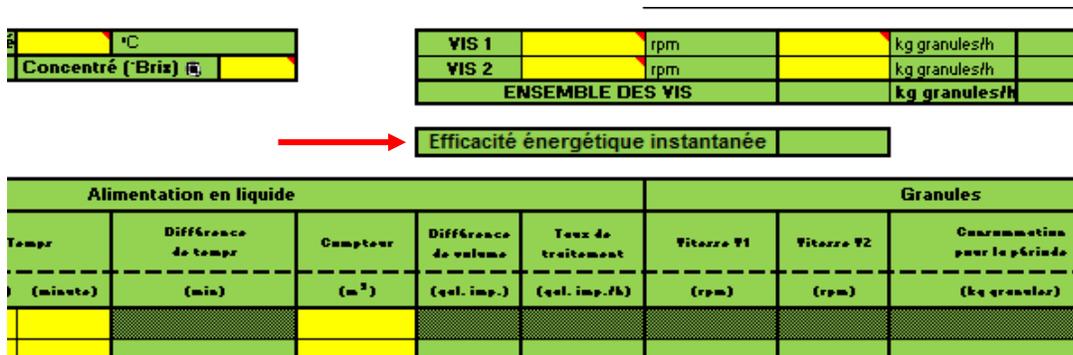


Figure 5 Emplacement du résultat d'efficacité énergétique instantanée calculé à l'aide du progiciel

Les figures 6 et 7 représentent la visualisation du chiffrier de calcul de l'efficacité énergétique, selon qu'on utilise la règle ou le compteur d'eau.



Qualification de l'efficacité énergétique
Essai réalisé à l'eau potable

Retour au Menu

Nom de l'érablière
Responsable
Date

Essai No.

Prix granules \$/livre ou \$/kg

Température du liquide à l'entrée °C
Eau potable Concentré ("Brix)

VIS 1 rpm kg granules/h BTU/h
VIS 2 rpm kg granules/h BTU/h
ENSEMBLE DES VIS kg granules/h BTU/h

Efficacité énergétique instantanée #DIV/0!

Cocher pour moyenne	CODETEMPS	Alimentation en liquide			Granules						
		Temps		Différence de temps (min)	Compteur (m ³)	Différence de volume (gal. imp.)	Taux d'évaporation (gal. imp./h)	Vitesse V1 (rpm)	Vitesse V2 (rpm)	Consommation pour la période (kg granules)	Coût pour la période (\$)
		(heure)	(minute)								
<input type="checkbox"/>	T0										
<input type="checkbox"/>	T1										
<input type="checkbox"/>	T2										
<input type="checkbox"/>	T3										
<input checked="" type="checkbox"/>	T4										
<input checked="" type="checkbox"/>	T5										
<input checked="" type="checkbox"/>	T6										
<input checked="" type="checkbox"/>	T7										
<input checked="" type="checkbox"/>	T8										
<input checked="" type="checkbox"/>	T9										
<input checked="" type="checkbox"/>	T10										
<input checked="" type="checkbox"/>	T11										
<input checked="" type="checkbox"/>	T12										
<input checked="" type="checkbox"/>	T13										
<input checked="" type="checkbox"/>	T14										

Taux d'évaporation (gal. imp./h)	
Moyenne pour tous les points	
Écart-type de tous les points	
CV (%)	
<hr/>	
Moyenne des points cochés	#DIV/0!
Écart-type des points cochés	#DIV/0!
CV (%)	#DIV/0!

Résumé pour la période stable (points cochés)			
Total pour l'essai	0,0 kg granules	0 BTU	0,00 \$
Temps essai	0,00 heures		
À l'heure	#DIV/0! kg granules/h	#DIV/0! BTU/h	#DIV/0! \$/h

Figure 6 Visualisation de la feuille de calcul d'efficacité énergétique du logiciel (Utilisation d'un compteur totaliseur)



Qualification de l'efficacité énergétique
Essai réalisé avec un concentré de sève à °Brix

Retour au Menu

Nom de l'érablière
Responsable
Date

Essai No.

Prix granules \$/livre ou \$/kg

Règle de mesure dans le réservoir
Hauteur cm égale gal. imp.
Température du liquide à l'entrée °C
Eau potable Concentré (*Brix)

VIS 1 rpm kg granules/h BTU/h
VIS 2 rpm kg granules/h BTU/h
ENSEMBLE DES VIS kg granules/h BTU/h

Efficacité énergétique instantanée

Cocher pour moyenne	CODE TEMPS	Alimentation en liquide				Granules					
		Temps		Différence de temps (min)	Règle (cm)	Différence de volume (gal. imp.)	Taux de traitement (gal. imp./h)	Vitesse V1 (rpm)	Vitesse V2 (rpm)	Consommation pour la période (kg granules)	Coût pour la période (\$)
		(heure)	(minute)								
<input type="checkbox"/>	T0										
<input type="checkbox"/>	T1										
<input type="checkbox"/>	T2										
<input type="checkbox"/>	T3										
<input type="checkbox"/>	T4										
<input type="checkbox"/>	T5										
<input type="checkbox"/>	T6										
<input type="checkbox"/>	T7										
<input type="checkbox"/>	T8										
<input type="checkbox"/>	T9										
<input type="checkbox"/>	T10										
<input type="checkbox"/>	T11										
<input type="checkbox"/>	T12										
<input type="checkbox"/>	T13										
<input type="checkbox"/>	T14										

Taux de traitement (gal. imp./h)	
Moyenne pour tous les points	
Écart-type de tous les points	
CV (%)	
Moyenne des points cochés	
Écart-type des points cochés	
CV (%)	

Résumé pour la période stable (points cochés)			
Total pour l'essai	kg granules	BTU	\$
Temps essai	heures		
À l'heure	kg granules/h	BTU/h	\$/h

Figure 7 Visualisation de la feuille de calcul d'efficacité énergétique du logiciel (Utilisation d'une règle)

SYSTÈME DE PRÉCHAUFFAGE

Lorsqu'un préchauffeur fait partie du système d'évaporation, le taux moyen d'évaporation à l'eau pure, le taux d'évaporation avec la sève d'érable et l'efficacité énergétique instantanée peuvent être calculés en suivant les procédures décrites aux Sections 1 à 3.

Le gain en efficacité énergétique pour un même type de fluide (eau potable ou concentré) apporté par le préchauffeur au système d'évaporation est déterminé en comparant les résultats des tests effectués avec et sans le système de préchauffage :

$$\text{Gain}(\%) = \frac{\text{Taux d'évaporation avec préchauffeur} - \text{Taux d'évaporation sans préchauffeur}}{\text{Taux d'évaporation sans préchauffeur}}$$

DIAGNOSTIC

Cette section est destinée à la compilation des résultats de tests des fonctionnalités des composantes du système d'évaporation associées à l'efficacité énergétique. Les paramètres ciblés doivent donc permettre d'évaluer l'efficacité énergétique globale des systèmes d'évaporation de sève d'érable ou de concentré de sève afin de poser un diagnostic de sa performance énergétique. Les paramètres d'intérêt sont énumérés ci-dessous.

ÉVAPORATION
<ol style="list-style-type: none">1. Taux d'évaporation (eau pure ou sève d'érable) avec hotte;2. Taux d'évaporation (eau pure ou sève d'érable) avec préchauffeur;3. Température atteinte par le préchauffeur;4. Consommation de granules;
COMBUSTION
<ol style="list-style-type: none">1. Température des gaz de cheminée;2. Pression dans la chambre de combustion;3. Teneur en CO₂ dans le gaz de cheminée;4. Test de fumée;5. Efficacité de la combustion.
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
<ol style="list-style-type: none">1. Efficacité énergétique instantanée (eau pure ou sève d'érable) avec hotte;2. Efficacité énergétique instantanée (eau pure ou sève d'érable) avec préchauffeur;

Afin d'évaluer le résultat obtenu pour chacun des paramètres ci-dessus, une analyse comparative doit être faite entre ces résultats et des valeurs de référence compilées à la Section 7 du Cahier de transfert technologique en acériculture (Allard et Belizle, 2004). De plus, pour certains paramètres, le résultat doit être comparé aux spécifications exigées au devis d'acquisition.

Tableau 20 Diagnostic du système d'évaporation

ÉVAPORATION
COMBUSTION
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

RÉFÉRENCES

ALLARD G.B. et BELZILE M. (2004). Cahier de Transfert Technologique en Acériculture. Section 7 : Évaporation de l'eau ou du concentré d'eau d'érable. CRAAQ. Québec. Canada. 656 p.

Gaétan Lauzier, André Boucher, Raymond Nadeau, Andrée Gagnon, 2005. L'investigation et la mise au point de l'évaporateur c'est payant. Journées acéricoles 2005, pages 1-20.

Valérie Patoine, Jacques Boucher 2012, réduction des gaz à effet de serre grâce à l'utilisation de granules en acéricoles. Rapport du Club d'Encadrement Technique en Acériculture de l'Est.

Alfa Arzate 2011, Qualification de l'efficacité énergétique d'un système d'évaporation de concentré de sève d'érable fonctionnant aux granules de bois, évaporateur 6' x 16' à deux convoyeurs à vis sans fin, 4080046-ESS-251111. Rapport inclut dans le rapport du Club d'Encadrement Technique en Acériculture de l'Est ci-dessus.