

RAPPORT FINAL

OPTIMISATION DU CONTRÔLE DU MOUSSAGE DANS LES CASSEROLES DE L'ÉVAPORATEUR EN PRODUCTION ACÉRICOLE

Par : Nathalie Martin, Ph.D. chimiste
Centre ACER
3600 boul. Casavant Ouest
Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 8E3

Présenté à : Raymond Bernier, Expert de références en acériculture
Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et de l'Alimentation
Centre de services agricoles de Gatineau
Galeries de Buckingham, 999 rue Dollard
Gatineau (Québec) J8L 3E6

Québec 

*Ce projet a été réalisé pour le compte de la Table sectorielle acéricole du Ministère de
l'agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	4
MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	6
ÉQUIPE DE RECHERCHE	7
BUT ET OBJECTIFS GENERAUX	8
1) LA MOUSSE DANS LES PROCEDES ALIMENTAIRES	9
2) EFFICACITE DES AGENTS ANTIMOUSSANTS	16
3) ÉVALUATION DE METHODES ALTERNATIVES	33
4) PRODUCTIONS PILOTES	41
5) VALIDATION EN ENTREPRISES	55
CONCLUSIONS	56
REMERCIEMENTS	59
DOCUMENTS DE REFERENCE	60

RÉSUMÉ

Le but de ce projet de recherche était d'optimiser le contrôle du moussage dans les casseroles de l'évaporateur en production acéricole à l'aide d'agents antimoussants plus performants et/ou de méthodes alternatives. Les objectifs spécifiques du projet étaient d'évaluer et de comparer l'efficacité de différents agents antimoussants et/ou de méthodes alternatives pouvant potentiellement être utilisés en acériculture biologique et conventionnelle; et d'optimiser la procédure de contrôle du moussage au cours de la production de sirop d'érable biologique et conventionnelle.

Une méthode de moussage en laboratoire a été développée pour simuler à partir de concentré de sève, les conditions réelles de moussage rencontrées en acériculture. Un total de 23 produits antimoussants ont été testés selon cette méthode. Les produits communément utilisés dans l'industrie acéricole conventionnelle et biologique ont été comparés à des produits biologiques et non biologiques de grade alimentaire spécifiquement conçus et vendus pour le contrôle de la mousse. La plupart des antimousses testés ont eu un effet assez rapide sur la mousse (0 à 5 sec.). Parmi ceux-ci, le Foam Blast ORG 40 (biologique) et J-305 IP Sans GMO ont été identifiés comme antimousses potentiel étant donné leur bonne performance lors de ces essais. Ces antimousses ont été testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER sous deux conditions de traitement, EF(Pr) et FE(Pr) pour valider leur potentiel en production et vérifier leur impact sur le goût du sirop produit. Ils ont alors été comparés aux produits traditionnellement utilisés en acériculture et ayant présenté la meilleure efficacité antimoussante de leur catégorie soit, l'huile de canola biologique et le Atmos 300K respectivement. Les résultats obtenus ont permis de voir que les antimousses à l'essai se sont comportés de façon similaire selon leur catégorie respective et que l'efficacité des antimousses biologiques (huile de canola et Foam Blast ORG 40) est généralement moins bonne. Aucun effet particulier n'a été observé sur les propriétés physicochimiques du sirop d'érable produit lors des essais. La saveur n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation des différents antimousses sauf dans le cas du Foam Blast ORG 40. Lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr) cet antimousse a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Les essais réalisés avec le bois barré n'ont pas été concluants. Seule la condition FE(Pr) a été testée. Durant le traitement, les blocs de bois ont été

rapidement submergés par la mousse et le débordement de certaines casseroles n'a pu être évité.

La deuxième partie du travail a porté sur le développement d'une méthode de référence permettant de comparer l'efficacité de produits antimoussants à l'échelle du laboratoire à l'aide d'une solution étalon de moussage. L'intérêt de travailler avec une telle méthode était de standardiser le processus d'évaluation. L'utilisation d'une solution étalon de moussage permet de s'affranchir de travailler directement dans la sève moyennant que cette solution reflète bien le comportement de cette dernière. Six antimousses ont été évalués avec cette méthode dont le Foam Blast ORG 40, le J-305 IP Sans OGM, l'huile de canola et le Atmos 300K. L'objectif était de comparer leur efficacité à traiter la mousse formée par barbotage de la solution étalon de moussage à leur efficacité à traiter la mousse formée par ébullition dans la sève d'érable concentrée. Les résultats obtenus avec cette méthode n'ont pas été concluants puisque le seul antimousse ayant démontré un effet significatif est le Foam Blast ORG 40. Il est donc clair que le type de mousse formée dans ce système ne permet pas de simuler adéquatement la mousse produite à partir de concentré de sève.

Les moyens mécaniques étudiés pour contrôler la mousse étaient la vaporisation d'eau, l'application d'un jet d'air comprimé et l'utilisation d'un dispositif mécanique rotatif. Leur évaluation a été réalisée en utilisant la méthode de moussage de la sève en laboratoire. Chaque méthode a été utilisée en mode préventif (dès le début du chauffage de la matrice) et/ou réactif (lorsque le niveau de mousse prédéterminé était atteint). Chaque méthode a présenté une capacité relative à contrôler la mousse, beaucoup moins bonne en général que l'ajout d'antimousse. Les effets sont temporaires puisque la mousse se reforme une fois le traitement arrêté.

MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'utilisation des antimousses en tant qu'agents technologiques alimentaire est présentement tolérée par l'ACIA et Santé Canada en acériculture. Comme cette pratique n'est pas véritablement encadrée à l'heure actuelle dans l'industrie, elle peut entraîner certains problèmes de qualité et par conséquent, une perte de la valeur commerciale du sirop d'érable produit. En 2008 et 2009, un projet d'évaluation de l'utilisation des agents antimoussants en acériculture a été réalisé par le Centre ACER avec la collaboration des conseillers et conseillères du MAPAQ. Près de 200 entreprises acéricoles du Québec de tailles différentes avaient alors été questionnées sur leurs pratiques d'utilisation des antimousses en cours de production. Les résultats de ce sondage ont permis d'identifier des lacunes importantes au niveau du type de produit utilisé, de la conservation et du mode d'utilisation en production et d'émettre déjà, certaines recommandations. Les principales conclusions indiquent que les huiles végétales utilisées sont souvent inadéquates et que la procédure de contrôle du moussage doit être améliorée. Les produits commerciaux tels que l'Atmos 300K ou l'Aldo HMS, communément appelés «antimousse liquide» ou «antimousse Kashner» respectivement, semblent mieux adaptés que les autres types de produits utilisés par les acériculteurs pour le contrôle du gonflement dans les casseroles. Bien qu'ils soient de grade alimentaire, l'Atmos 300K et l'Aldo HMS ne sont cependant pas autorisés dans le secteur de la production biologique. En effet, seules les huiles végétales de carthame, de tournesol et de canola, certifiées biologiques, sont autorisées comme agents antimoussants dans ce cas. Selon les résultats du sondage, la quantité d'huile végétale utilisée pour contrôler le gonflement est cependant très élevée. Comme les huiles végétales sont relativement fragiles, leur exposition à l'air, à la lumière et à la chaleur dans les conditions de production du sirop d'érable, entraîne leur dégradation et le développement de mauvais goûts. Lorsqu'utilisées comme antimousses, ces huiles peuvent donc engendrer des défauts de saveur de type $\sqrt{R4}$ dans le sirop d'érable. Il n'y a actuellement pas d'alternative à l'usage des huiles végétales en production biologique à part le bois d'érable de Pennsylvanie (bois barré ou *Acer pennsylvanicum*). Les résultats du sondage ont également permis de voir que les méthodes d'utilisation des agents antimoussants en cours de production étaient très variables et souvent mal adaptées pour le contrôle du moussage dans les évaporateurs. Ce projet de recherche vise donc à optimiser le contrôle du moussage dans les casseroles de l'évaporateur en production acéricole à l'aide d'agents antimoussants plus performants et/ou de méthodes alternatives.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

La responsabilité scientifique de ce projet a été confiée au Centre ACER dont l'un de ses chercheurs a été désigné pour la direction des travaux de recherche, soit Nathalie Martin. Ce chercheur a été principalement assisté de Carmen Charron et de Mélissa Cournoyer, assistantes de recherche, pour les travaux exécutés au laboratoire, ainsi que de Jessica Houde, assistante de recherche, et Stéphane Corriveau, technicien, pour les travaux réalisés en usine pilote. Par ailleurs, l'équipe des Services analytiques du Centre ACER, dirigée par Mustapha Sadiki, a procédé à l'analyse du profil des arômes volatils des sirops pilotes produits. Le projet a également mis à contribution l'équipe d'ACER Division Inspection Inc. dont les vérificateurs de qualité ont procédé à l'évaluation de la qualité organoleptique des sirops pilotes produits. Les travaux ont été exécutés avec l'appui et l'expertise des conseillers acéricoles du MAPAQ, sous la supervision de Raymond Bernier, Ingénieur, Expert de référence en acériculture du MAPAQ.

BUT ET OBJECTIFS GENERAUX

Le but de ce projet de recherche était d'optimiser le contrôle du moussage dans les casseroles de l'évaporateur en production acéricole à l'aide d'agents antimoissants plus performants et/ou de méthodes alternatives en :

- Évaluant et comparant l'efficacité de différents agents antimoissants et/ou de méthodes alternatives pouvant potentiellement être utilisés en acériculture biologique et conventionnelle;
- Optimisant la procédure de contrôle du moussage au cours de la production de sirop d'érable biologique et conventionnelle.

1) LA MOUSSE DANS LES PROCÉDES ALIMENTAIRES

On trouve des mousses dans de nombreux produits et dans de très diverses circonstances. Même si dans certaines situations, le moussage est un phénomène désirable, il peut être problématique dans certains procédés alimentaires. En effet, un moussage excessif peut causer des difficultés d'opération et des pertes importantes du liquide d'intérêt en raison des débordements. Le contrôle ou l'élimination de la mousse qui se produit en cours de procédé est par conséquent crucial pour certaines applications. Une mousse est un gaz dispersé dans un liquide ou un solide. On parlera de mousses humides lorsqu'un liquide tel de l'eau, s'écoule autour des bulles de gaz par opposition aux mousses sèches telles que les mousses de polyuréthane utilisées pour la fabrication de certains revêtements (Treiner, 2005). En agroalimentaires, les problématiques de moussage sont généralement causées par des mousses liquides.

1.1 La formation de la mousse

Pour comprendre comment la mousse se forme, il faut d'abord comprendre le concept de tension de surface. La tension de surface (appelée aussi tension superficielle) est une force qui existe à l'interface entre deux milieux différents tels que l'eau et l'air par exemple. Au sein de la masse liquide, les molécules sont attirées entre elles par l'énergie moléculaire. Les molécules situées à l'interface air-eau ne subissent par ailleurs, que l'attraction vers le liquide créant ainsi une force ou une tension plus importante à la surface. C'est cette force qui permet à la goutte d'eau de ne pas s'étaler à la surface d'une feuille, à certains insectes de marcher sur l'eau ou qui crée cette forme bombée de l'eau dans un verre rempli à ras bord (Figure 1). Plus la tension de surface d'un liquide est élevée, plus il sera difficile d'étendre sa surface. L'eau pure par exemple, possède une tension de surface de 72,8 mN/m à 20°C alors que celle du mercure est de 436 mN/m à la même température (Speight, 2005).

La mousse est une dispersion d'un volume important de gaz dans un faible volume de liquide. Sa formation nécessite la présence de molécules «tensioactives» puisqu'un liquide pur ne moussera pas. Les tensioactifs sont des composés qui, par leur structure, présentent une affinité particulière pour les interfaces auxquelles ils s'adsorbent. Distribués en monocouche, ils ont pour



Figure 1. Illustrations de la tension de surface d'un liquide (photos Boussey Control et Wikidebrouillard)

effet de diminuer la tension superficielle, stabiliser les films de liquide et par conséquent, la mousse. À titre d'exemple, l'ajout d'un composé tensioactif dans l'eau peut faire chuter la tension superficielle à 30-40 mN/m (Treiner, 2005). Les composés tensioactifs impliqués dans les phénomènes de moussage sont nombreux et diversifiés mais tous sont amphiphiles, c'est-à-dire qu'ils présentent deux parties de polarité différente, l'une lipophile (miscible dans l'huile) et apolaire, l'autre hydrophile (miscible dans l'eau) et polaire. Les sucres, acides aminés, protéines et/ou fragments de protéines, sont des exemples de molécules tensioactives. Comme illustré à la Figure 2, ces molécules en solution s'orientent spontanément à l'interface air/eau, leur partie hydrophile orientée vers le film de liquide et leur partie hydrophobe vers l'air (Treiner, 2005).

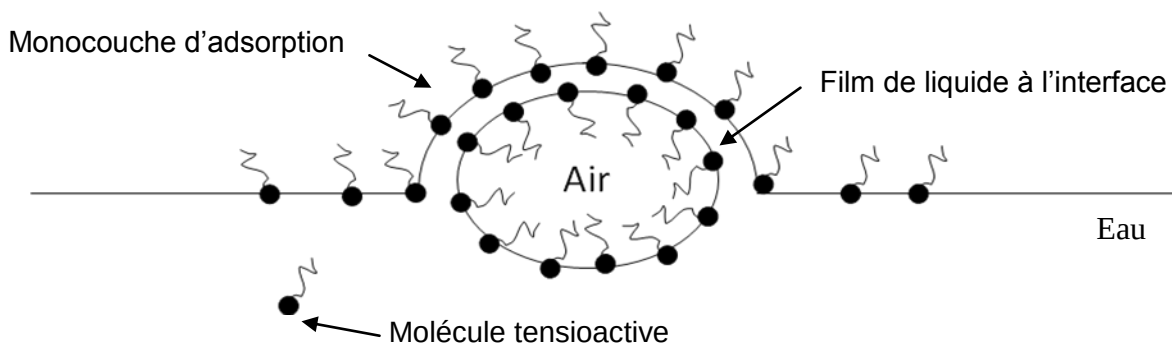


Figure 2. Orientation des molécules tensioactives à l'interface air/eau (adaptation de Bensouissi, 2007)

Lorsqu'un liquide contenant des substances tensioactives est soumis à une agitation, à la diffusion d'un gaz, à un chauffage ou à une dépression, il y aura formation de bulles qui s'accumulent à la surface pour créer la mousse. Le processus de formation de la mousse

comprend généralement cinq étapes : la nucléation, le détachement des bulles, le crémage et le drainage ainsi que la coalescence des bulles (Bensouissi, 2007).

Un germe de bulle peut se former au sein du liquide lorsque celui-ci est sursaturé en gaz ou sur un site de nucléation (brisure sur la paroi en contact avec le liquide ou poche de gaz). Lorsque les germes de bulles deviennent suffisamment gros, ils forment alors des bulles qui remontent à la surface et s'entassent les unes sur les autres. La structure de la mousse se développe et cette phase est appelée le crémage. Au cœur de la mousse, on peut voir que les bulles de forme polyédrique sont reliées entre elles par des films de liquide de faible épaisseur. L'amincissement de l'épaisseur de ces films dans la partie supérieure de la structure résulte de l'écoulement ou drainage du liquide de la mousse vers la solution (effet de la gravité). La mousse évolue dans le temps et finira ultimement par disparaître sous l'effet du drainage et de la diffusion gazeuse entre les bulles.

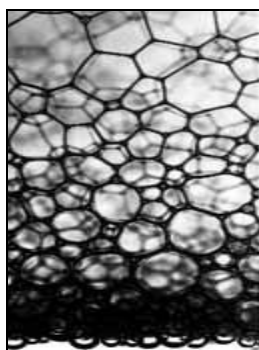


Figure 3. Structure typique de la mousse (photo Bensouissi, 2007)

1.2 Les moyens d'élimination

Pour contrôler la formation des mousses ou pour engendrer leur destruction (démoussage), différentes stratégies sont utilisées commercialement selon les besoins. On distingue les moyens mécaniques, les moyens thermiques et les moyens chimiques.

1.2.1 Les moyens mécaniques

Il est possible de limiter la formation de la mousse en éliminant les prises d'air sur les pompes et en réduisant le brassage et la chute des liquides (Hein et al., 2006). Pour éliminer la mousse, déjà formée, certaines industries utilisent des stratégies mécaniques telles que la projection d'un

liquide à la surface de la mousse, l'utilisation d'ondes ultrasonores, l'irradiation avec des particules α , par la création d'une forte pression capillaire dans la mousse ou par l'utilisation de dispositifs mécaniques rotatifs (Bensouissi, 2007 ; Garrett, 2013). Les effets de ces techniques sont immédiats et efficaces mais demeurent temporaires puisque la mousse peut se reformer une fois le traitement achevé (Bensouissi, 2007).

1.2.2 Les moyens thermiques

Le chauffage des surfaces des installations en contact avec la solution moussante ou l'application de jets de vapeur sont d'autres méthodes parfois utilisées pour fragiliser la mousse. La chaleur provoque l'expansion du gaz dans les bulles, diminue la viscosité du liquide et augmente les chocs moléculaires au niveau des films de la mousse. Ces techniques sont cependant coûteuses et peu rentables (Bensouissi, 2007).

1.2.3 Les moyens chimiques

Le manque d'efficacité et/ou les coûts énergétiques associés à l'utilisation des méthodes citées plus haut ont fait en sorte que plusieurs secteurs de la production agroalimentaire, tel que l'industrie sucrière, se sont tournés vers l'utilisation d'agents de contrôle de la mousse faciles d'emploi, efficaces et peu coûteux. Ils peuvent être regroupés en deux classes selon qu'ils réagissent chimiquement avec les molécules amphiphiles de la solution (ioniques) ou non (non ioniques). Les agents sans réactivité chimique ont l'avantage de détruire une mousse par processus physiques et donc sans interagir chimiquement avec elle. Lorsque ceux-ci sont introduits dans la solution avant le moussage, ils en inhibent la formation et on parlera d'antimousses. Lorsqu'ils sont utilisés pour détruire la mousse déjà formée, on parlera alors de destructeurs de mousses. Ces agents de contrôle de la mousse sont généralement des huiles contenant ou non des particules hydrophobes, et leur rôle est de remplacer les molécules moussantes de l'interface air/eau afin de provoquer la coalescence des bulles et ultimement la rupture de la mousse. Leur mode d'action à l'interface est généralement décrit par les mécanismes d'étalement, de pontage-démouillage et pontage-allongement (Bergeron, 2003 ; Bensouissi, 2007).

- Mécanisme d'étalement : Les gouttelettes d'huile rejoignent l'interface et s'y étalent provoquant graduellement l'amincissement du film liquide par écoulement latéral, et causant éventuellement sa rupture (Figure 4a)

- Mécanisme de pontage-démouillage : Ce mécanisme s'applique aux formulations contenant des particules hydrophobes indéformables. Lorsque ces particules pénètrent l'interface, elles doivent entrer en contact avec les surfaces qui délimitent la mousse et former un pont solide entre elles. Ainsi, le liquide contenu dans le film de mousse en contact avec les particules fuit la zone de pontage induisant ainsi la rupture de la mousse (Figure 4b).
- Mécanisme de pontage-allongement : Ce mécanisme s'applique aux formulations constituées de globules hydrophobes déformables et d'huile. L'huile et les particules agissent en synergie pour déstabiliser le film et former un pont qui s'amincit jusqu'à sa rupture (Figure 4c).

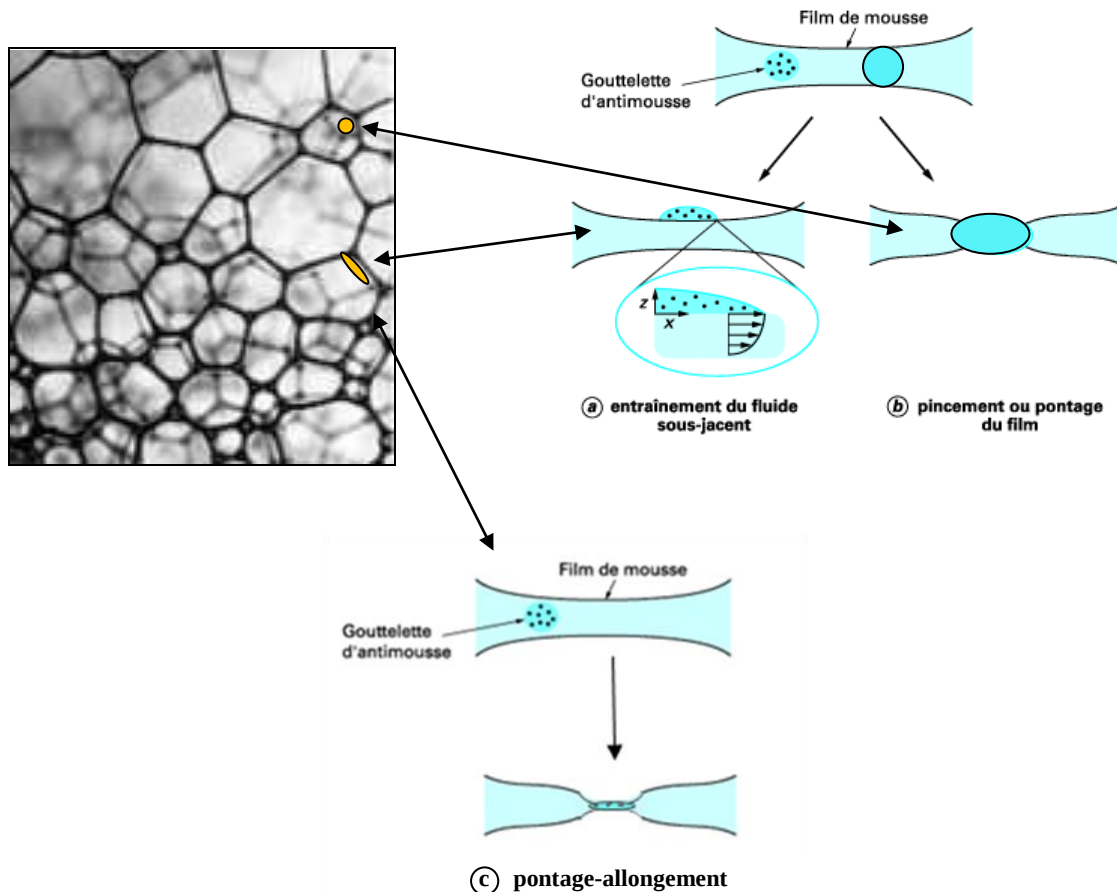


Figure 4. Principaux mécanismes d'action des agents de contrôle de la mousse (adaptation de Bergeron, 2003). a) Mécanisme d'étalement ; b) Mécanisme de pontage-démouillage ; c) Mécanisme de pontage-allongement

L'utilisation des agents de contrôle de la mousse est une avenue reconnue depuis longtemps dans l'industrie agroalimentaire. Il existe un grand nombre d'agents de contrôle de la mousse vendus commercialement dont la formulation est complexe et adaptée pour des applications très spécifiques. La complexité des systèmes alimentaires et des phénomènes de moussage impliqués rendent cependant difficile la sélection d'un produit approprié. Il importe au préalable de bien connaître le procédé de transformation puisque les phénomènes de moussage sont liés à la composition du fluide alimentaire, à sa viscosité, au pH, à la température de traitement, à l'incorporation d'air et aux conditions d'opération.

1.3 La problématique du moussage en acériculture

Le gonflement ou moussage de la sève dans les casseroles de l'évaporateur est un phénomène souvent rencontré en production acéricole. Il est principalement lié à la présence de certains composés organiques présents dans la sève, surtout en fin de saison. Les résultats du sondage réalisé par le Centre ACER en 2008 auprès de 200 entreprises acéricoles (Martin, 2010 et 2011), ont démontré que la fin de saison était effectivement la période la plus critique pour un grand nombre d'entreprises acéricoles. La présence d'acides aminés et de métabolites résultant de du réveil de l'arbre ainsi que de l'activité microbiologique plus intense en fin de la saison rend la sève plus susceptible au moussage excessif. Par ailleurs, un rythme d'ébullition trop élevé peut aussi causer un moussage excessif de la sève et ce, peu importe sa qualité et le moment de la coulée.

Lorsqu'un gonflement excessif survient, l'utilisation d'un antimousse devient parfois nécessaire afin d'éviter les débordements problématiques. Une grande diversité de produits est actuellement utilisée dans l'industrie à titre d'antimousses, lors de la transformation de la sève. On peut les classer en quatre groupes, soit, les produits végétaux (huiles et graisses végétales), les produits animaux, les produits commerciaux et les produits contenant des allergènes (Martin, 2010 et 2011). Dans cette dernière catégorie, on retrouve par exemple l'huile de soya et l'huile d'arachide, les produits laitiers et la margarine contenant tous des composés faisant partie de la liste des allergènes en priorité au Canada (ACIA, 2016). Leur utilisation comme antimoussant en acériculture est proscrite étant donné les risques de réactions allergiques graves que leur consommation peut engendrer chez certains consommateurs. Les corps gras d'origine animale, parfois utilisés comme antimoussants en production acéricole sont le saindoux ou le lard provenant du porc. L'utilisation de ce type de produits dans la fabrication du sirop d'érable est

inappropriée (risque d'induire un goût aigre ou rance) en plus de rendre celui-ci non conforme aux prescriptions alimentaires de certaines communautés. Le défi pour le producteur acéricole est donc de déterminer quel produit utiliser, quand l'ajouter et en quelle quantité, pour ne pas affecter la qualité et la sécurité du sirop d'érable produit et dans l'optique où, par définition légale, celui-ci est un produit pur. Il faut choisir un produit antimoissant commercial de grade alimentaire spécifiquement conçu pour l'application visée. Il doit posséder une bonne capacité antimoissante et être peu enclin à produire des défauts de saveur. Les manufacturiers et distributeurs d'agents antimoissants sont en mesure de recommander un produit adapté à la production acéricole et de fournir toutes les informations nécessaires à son utilisation (fiches techniques). Il faut garder en perspective que les agents de contrôle du moussage sont considérés en acériculture, comme des agents technologiques alimentaires¹. Leur utilisation est actuellement tolérée par les instances gouvernementales sous certaines conditions étant donné les normes strictes régissant l'authenticité des produits acéricoles reconnus sans additifs (Gouvernement du Québec, 2016).

Une distinction doit être faite dès maintenant puisque, par abus de langage, tous les produits utilisés en acériculture sont communément appelés des antimoisses alors qu'ils sont utilisés comme destructeurs de mousse. On parlera en effet d'agents destructeurs de mousse s'ils sont destinés à être introduits dans la matrice après la formation de la mousse. À l'inverse, un produit antimousse sera plutôt ajouté avant la formation de la mousse afin d'en inhiber la formation. L'efficacité d'un produit donné ne sera donc pas la même selon qu'il soit introduit avant ou après la formation de la mousse (Bensouissi, 2007). Malgré cette importante nuance, on continuera d'utiliser le terme antimousse dans le reste du document.

¹ **Agents technologiques alimentaires** : Substance qui est utilisée pour produire un effet technique au cours de la transformation ou de la fabrication d'un aliment, mais qui, à la différence des additifs alimentaires, ne modifie pas les caractéristiques intrinsèques de l'aliment et n'entraîne la présence d'aucun résidu ou entraîne seulement la présence de résidus négligeables de la substance ou de ses sous-produits dans ou sur l'aliment fini. (Santé Canada, 2014, 2015).

2) EFFICACITE DES AGENTS ANTIMOUSSANTS

Un total de 23 produits antimoussants a été sélectionné pour cette étude. Les produits communément utilisés dans l'industrie acéricole conventionnelle et biologique (Martin et al. 2010; Chapeskie et al. 2008) ont été comparés à des produits biologiques et non biologiques spécifiquement conçus et vendus pour le contrôle de la mousse. Une description des produits utilisés est faite à la Section 2.2. Dans ce projet, une attention particulière a été apportée à la sélection de produits commerciaux de grade alimentaire aptes à détruire la mousse formée dans les conditions rencontrées en production acéricole.

Le test ultime permettant d'évaluer l'efficacité d'un antimousse est un essai réel sur le terrain (Owen, 2001). Cependant, en raison de leur commodité, les tests à l'échelle du laboratoire sont plus communément utilisés pour permettre la comparaison de plusieurs produits et de faire un premier dépistage ou «*screening*». Une méthode de moussage en laboratoire a donc été développée pour simuler à partir de concentré de sève, des conditions réelles de moussage rencontrées en acériculture. Les Sections 2.1 et 2.3 présentent respectivement la méthode et les tests effectués avec les différents types d'antimousses à l'étude. Dans le contexte de cette étude, tous les antimousses ont été testés à partir des mêmes lots de concentré de sève afin de permettre d'évaluer leur efficacité sur une même base. Il est évident cependant que l'utilisation d'une matrice moussante aussi variable que la sève d'érable est une contrainte quand vient le temps de développer une procédure d'évaluation standard. La deuxième partie du travail a donc porté sur le développement d'une méthode de référence permettant de comparer l'efficacité de produits antimoussants à l'aide d'une solution étalon de moussage. Les Sections 2.4 et 2.5 présentent la méthode de référence et les tests effectués pour vérifier sa capacité à reproduire les résultats obtenus avec les concentrés de sève.

2.1 Méthode de moussage de la sève en laboratoire

Plusieurs paramètres ont été testés et ajustés afin d'obtenir une méthode de cuisson fiable et reproductible (diverses matrices acéricoles, intensité et type de chauffage, volume de liquide et de mousse, conditions d'ajout d'antimousse, procédure de nettoyage, répétabilité des essais, etc.). On a remarqué, lors des essais, que la sève devait atteindre environ 56 °Brix pour permettre à 150 ml de liquide de former une mousse stable et régulière qui atteint la ligne

graduée de 600 ml cible du bécher de 1 L utilisé. La mousse formée par le chauffage d'une sève à une concentration plus faible que 56 °Brix était moins stable et très irrégulière, rendant ainsi la comparaison de l'efficacité des différents antimousses plus difficile à réaliser.

Deux lots de sève de fin de saison concentrée à 8 °Brix et provenant de deux entreprises acéricoles différentes ont été sélectionnés pour les tests : YP (Matrice 1) et RO (Matrice 2). Ces sèves ont été concentrées à 45 °Brix préalablement aux tests. Pour ce faire, les sèves ont été décongelées et évaporées dans une marmite à vapeur d'une capacité de 23 litres (Groen TDC/TA 2-20-23) en chauffant à faible intensité et sans ajouter d'antimousse, jusqu'à atteindre 45 ± 5 °Brix. Les concentrés, ou matrices acéricoles moussantes ainsi produits ont été conservés congelés jusqu'à leur utilisation. Le matériel nécessaire pour la réalisation des tests comprenait :

- Bécher de 1 L en verre (Pyrex, 15 cm hauteur x 10.5 cm diamètre)
- Plaque chauffante (Corning PC-101)
- Cylindre gradué de 250 ml en verre
- Deux chronomètres
- Thermocouple et sonde (K, General DT80-2)
- Réfractomètre (Reichert AR 200)
- Étuve à 37°C (tempérer la matrice)
- Matrices acéricoles moussantes (concentrés de sève à 45 ° Brix)
- Pipette à piston et embouts 10-100 ul (Rainin, MR-100), microtubes de 0,5 ml (Safelock, Eppendorf) et tige de verre (prélèvement des antimousses)
- Balance analytique (Shimadzu AUW120)

La Figure 1a illustre le dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité des antimousses à l'étude. Un volume de 150 ml de sève à 45 °Brix, préalablement tempérée à $35 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, est chauffé jusqu'à ébullition pour provoquer le moussage. L'antimousse testé était ajouté lorsque la mousse eu atteint la ligne de 600 ml, fixée arbitrairement, sur le bécher (liquide + mousse). La Figure 1b illustre le niveau maximal qu'atteindra la mousse traitée dans ces conditions, sans ajout d'antimousse, avant que le test ne soit arrêté pour éviter les débordements (ligne cible de 1000 ml sur le bécher). Le temps requis pris par la mousse pour passer du niveau de 600 ml à 1000 ml est de 54 ± 8 secondes en moyenne ($n = 6$). Cette référence est importante dans l'évaluation de l'efficacité des différents produits antimoussants testés.

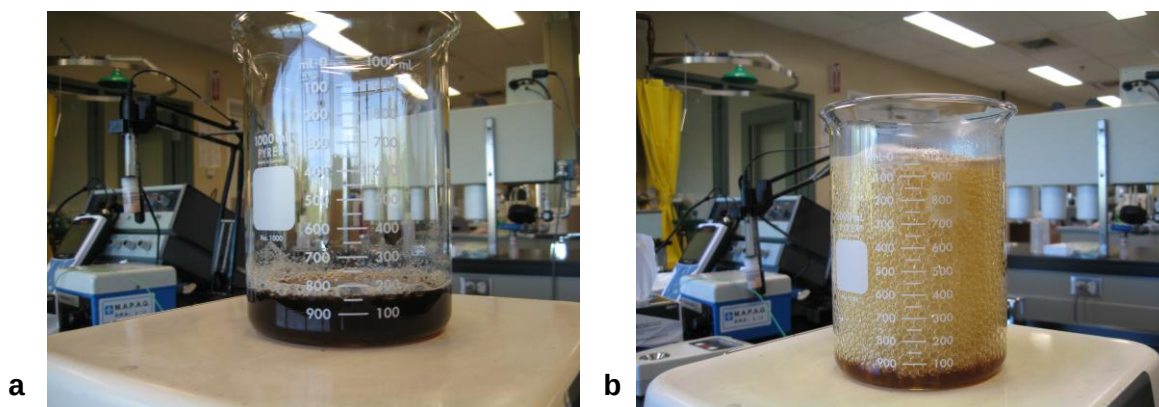


Figure 1. Dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité des agents antimoissants. a) Volume de liquide avant chauffage (150 ml), b) Volume de liquide et de mousse après un chauffage d'environ 6 minutes à partir du début de l'ébullition, témoin sans ajout d'antimousse (1000 ml).

Le Tableau 1 présente les différents paramètres de contrôle des matrices acéricoles en cours d'utilisation. On peut y voir que la méthode est répétable puisque les paramètres mesurés sur plusieurs essais sont très constants. La concentration et la température, mesurées avant le début de chaque test, étaient de 46 °Brix et de 34 °C en moyenne, respectivement. Le temps pour atteindre le niveau cible de mousse était d'environ 5 minutes en moyenne pour une concentration et une température du réduct de 56 °Brix et 103 °C respectivement. On peut voir que le fait d'utiliser deux sources de sève de fin de saison différentes ne semble pas avoir influencé de façon importante les paramètres de la méthode de moussage. Il serait intéressant de valider cette observation sur un plus grand nombre d'échantillons de concentrés de sève afin de pouvoir apprécier l'impact de la variabilité de la composition sur la répétabilité de la méthode.

Tableau 1. Caractéristiques des matrices acéricoles utilisées pour l'évaluation de l'efficacité des agents antimoissants

Matrice	°Brix départ	Température départ (°C)	Temps (min:sec.) atteinte de 600 ml	Brix (600 ml) (N=3)	Température (600 ml)
1 (n=32)	46,2 ± 0,1	33,8 ± 1,9 (n=29)	05:08 ± 00:24 (n=31)	55,9 ± 1,4 (n=4)	103,0 °C (n=1)
2 (n=27)	46,2 ± 0,2	33,7 ± 1,7	05:18 ± 00:13	56,7 ± 0,05 (n=3)	103,0 °C (n=1)

La procédure d'ajout d'antimousse a également été mise au point dans ce projet. En effet, les produits testés se présentant sous différents aspects (liquides clairs, liquides visqueux, graisses, poudres) il était important de trouver une façon simple et répétable de prélever et délivrer la quantité cible d'antimoisses pour chaque test. Une pipette à piston 10-100 µl a ainsi été utilisée

pour prélever les antimoisses liquides ou semi-solides. Les antimoisses en poudre ont été pesés dans des microtubes de 0,5 ml et les graisses ont été prélevées sur une tige de verre. Ces prélèvements étaient effectués de façon à atteindre la quantité cible d'antimousse de $0,0100 \pm 0,0005$ g à ajouter lors des tests. Les antimoisses étaient ensuite déposés à la surface de la mousse, bien au centre du bécher. La qualité de l'interaction entre les produits antimoissants et la mousse ont été appréciés visuellement. Le temps requis pour faire redescendre la mousse et le volume final de mousse atteint étaient notés lors de chaque essai. Les antimoisses ont été utilisés tels quels pour fins de comparaison mais ils pourraient éventuellement être dilués pour en déterminer la concentration minimale efficace en situation d'optimisation du procédé. La quantité cible d'antimousse de $0,01 \pm 0,0005$ g était la plus petite quantité pouvant être pesée de façon fiable. L'application de l'antimousse est une procédure délicate. En effet, à quatre reprises durant les essais, le niveau de la mousse a atteint 1000 ml et ce malgré l'ajout d'antimousse. Ces essais ont été repris afin de vérifier si cet effet était réellement lié à l'inefficacité des antimoisses testés. Dans trois cas sur quatre, c'était la méthode d'application de l'antimousse qui était en cause. Une attention particulière a donc été portée à cette étape afin d'éviter ce genre de biais.

Une procédure rigoureuse de nettoyage du matériel utilisé a été mise au point et a été appliquée entre chaque essai. En effet, le rinçage et le lavage conventionnel ne suffisait pas à éliminer parfaitement les résidus de sève et/ou d'antimoisses à la surface du verre. Ce phénomène d'encrassement (fouling) avait un impact important sur la répétabilité de la méthode. Une étape de lavage à l'ammoniaque a donc été ajoutée à la procédure de nettoyage.

2.2 Caractéristiques des agents antimoissants

Cette section présente les principales caractéristiques des différents produits antimoissants testés selon les informations contenues dans leurs fiches techniques respectives. Les Tableaux 2a, 2b et 2c présentent les caractéristiques des antimoisses qui sont communément utilisés en acériculture alors que les Tableaux 3a, 3b et 3c présentent ceux recommandés par les manufacturiers et les distributeurs d'agents antimoissants. L'utilisation des huiles végétales comme antimousse est une pratique assez répandue en acériculture et plus particulièrement en production biologique où seules les huiles de tournesol, de canola et de carthame biologiques sont autorisées (Tableau 2a). Considérées comme des ingrédients, elles entre habituellement

dans les préparations alimentaires et plus elles sont vierges, plus leur point de fumée² est bas. Malgré le fait qu'elles peuvent avoir un effet sur la mousse, ces huiles ne sont pas spécialement conçues pour jouer le rôle d'un antimousse. Utilisées en tant que tel, leur efficacité sera moindre et une quantité plus importante devra être utilisée pour atteindre de bons résultats. Les huiles végétales sont riches en acides gras mono- et polyinsaturés et, de ce fait, sont susceptibles au rancissement en présence d'oxygène. Elles se dégradent rapidement lorsqu'exposées à une température intense, à la lumière et à l'air, et peuvent développer des mauvais goûts (Cuvelier et al., 2012). Pour éviter ces inconvénients, plusieurs entreprises acéricoles ont opté pour l'utilisation de produits commerciaux possédant une bonne capacité antimoussante, faciles d'emploi, efficaces et apparemment peu enclins à produire des défauts de saveur. Les produits habituellement rencontrés sont l'Atmos 300 K (produit liquide jaune clair) et l'Aldo HMS (granules blancs), souvent vendus sous les noms d'«*antimousse liquide*» et d'«*antimousse kascher*» respectivement (Tableau 2b). Bien qu'ils soient de grade alimentaire, l'Atmos 300K et l'Aldo HMS ne sont cependant pas autorisés dans le secteur de la production biologique. Ces produits sont vendus en tant qu'agents émulsifiants, i.e. des tensioactifs utilisés pour stabiliser des émulsions alimentaires (ex. vinaigrettes, mayonnaises). Les Tableaux 3a, et 3b présentent les caractéristiques des produits antimoussants commerciaux à base de silicone et d'esters alors que le Tableau 3c liste les antimousses commerciaux biologiques dérivés d'huiles végétales. L'efficacité de ces produits seront comparés à celle des antimousses traditionnels.

² Le **point de fumée** est la température à partir de laquelle les huiles ou graisses alimentaires se décomposent et se dénaturent : la substance fume ou brûle donnant ainsi un mauvais goût.

Tableau 2a. Caractéristiques des agents antimoissants testés – Catégorie traditionnels biologiques

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Accréditation biologique	Solubilité dans l'eau	Sensible au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point de fumée (°C) ¹
Huile de tournesol	La Maison Orphée inc. - Soleil d'Or	Première pression, Désodorisée, Pour la cuisson	N/A	Préparation culinaires	Ecocert	Insoluble	?	?	180
Huile de canola	La Maison Orphée inc.	Première pression à froid, Vierge	N/A	Préparation culinaires	QAI	Insoluble	?	?	107
Huile de carthame	Le Choix du Président	Première pression, Désodorisée, Pour la cuisson	N/A	Préparation culinaires	QAI	Insoluble	?	?	107 ¹

¹ Source : <http://www.lanutrition.fr/bien-dans-son-assiette/aliments/matieres-grasses/huiles/le-point-de-fumee-des-huiles.html>

Tableau 2b. Caractéristiques des agents antimoissants testés – Catégorie traditionnels

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Solubilité dans l'eau	Sensible au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point d'ébullition (°C)
Atmos 300K	Caravan Ingredients	Mono >46% et Diglycérides, Propylène glycol, Propyl Gallate, Acide citrique	< 10 000 (Émulsifiant)	Colorant à café	Négligea. à 25°C	?	?	?
Aldo HMS KFG	Lonza	Mono et Diglycérides 95%, Triglycérides 5%, Glycérine 1%, (Acides gras 1%)	< 140 000 (Émulsifiant)	Pâtisseries, Produits laitiers, Huiles, Confiseries	Dispers.	?	N/A (solide)	?

Tableau 2c. Caractéristiques des agents antimoissants testés – Catégorie traditionnels autres

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Solubilité dans l'eau	Sensible au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point d'ébullition (°C)
Crisco	Smucker Foods of Canada Corp.	Huile de Soya, Huiles de palme et de soya hydrogénées, Mono et diglycérides, Hqbt, Acide citrique	N/A	Préparation culinaires	Insoluble	Non	1 000 000 - 2 000 000	204

Tableau 3a. Caractéristiques des agents antimoussants testés – Catégorie Silicone

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Solubilité dans l'eau	Sensible au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point d'ébullition (°C)
Trans-100K	Trans-Chemco inc.	Émulsion de composé de Polydimethylsiloxane 100%	< 10	Non spécifiée	Insoluble	Oui	600 - 1 000	> 100
Trans-SF 350	Trans-Chemco inc.	Polydimethylsiloxane 100%	< 10	Huile végétale	Insoluble	?	350	?
Trans-30K	Trans-Chemco inc.	Émulsion de composé de Polydimethylsiloxane 30%	< 33	Non spécifiée	Insoluble	Oui	4 000 - 7 000	~ 100
Mazu DF 210SC	Emerald Performance Materials	Composé de Polydimethylsiloxane 10%	< 100	Confitures, Gelées, Marmelades, Jus, Soya, Tofu, Oeufs, Légumes	Dispers.	Oui	1 500	100
SAF-1297FGK	Silchem inc.	Silicone	< 10	Légumes, Viandes, Volaille, Fruits de mer, Eaux usées	Dispers.	Oui	< 3 000	~ 100
SAF-1117FGK	Silchem inc.	Émulsion de silicone contenant du polydimethylsiloxane	< 10	Légumes, Fruits de mer, Eaux usées	Dispers.	Oui	< 3 000	~ 100

Tableau 3b. Caractéristiques des agents antimoissants testés – Catégorie esters

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Solubilité dans l'eau	Sensible au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point d'ébullitio n (°C)
J-305	Magrabar Chemical Corporation	Ester de glycérol (Mono et Diglycérides > 85%, Propylène glycol < 15%)	50 - 100	Sirops de sucre, Confitures, Gelées, Huile, Crème glacée, Émulsions	Dispers.	?	?	> 150
J-305 IP Sans GMO	Magrabar Chemical Corporation	Ester de glycérol (Mono et Diglycérides > 85%, Propylène glycol < 15%)	50 - 100	Sirops de sucre, Confitures, gelées, Huile, Crème glacée, Émulsions	Dispers.	?	?	> 150
PD-910	Magrabar Chemical Corporation	Ester dérivé d'huile végétale (Mono et Diglycérides > 80%, Huile de canola < 20%)	100	Brassage, Sirops, Confitures, Gelées, Huile, Crème glacée, Émulsions	Dispers.	?	100 - 300	> 150
KFO 540	Emerald Performance Materials	Surfactant d'ester non ionique	30 - 130 (Surfactant)	Industrie sucrière (antimousse et aide à la cristallisation)	Dispers.	Oui	120	> 100
KFO 541 (Esters?)	Emerald Performance Materials	Surfactant (Polyether)	?	Industrie sucrière (antimousse et aide à la cristallisation)	Dispers.	Oui	155	> 100

Tableau 3c. Caractéristiques des agents antimoussants testés – Catégorie biologiques

Produit	Fournis.	Composition	Dose recom. (ppm)	Utilisation mentionnée dans le domaine alimentaire	Accréditation biologique	Solubilité dans l'eau	Sensibl e au gel	Viscosité @ 25°C (cps)	Point d'ébullition (°C)
Organic 3000	Magrabar Chemical Corporation	Cires, Huile végétale (Huile de soya 85-95%), Émulsifiants, Dioxyde de silicium	50 - 100	Soya	NOP	Insoluble	?	200 - 500	> 204
Organic 3300	Magrabar Chemical Corporation	Cires, Huile végétale (Huile de soya 85-95%), Dioxyde de silicium	50 - 100	Produits laitiers, Soya	NOP	Insoluble	?	200 - 600	> 204
KFO organic 7605	Emerald Performance Materials	Huile de canola, cire d'abeille	2 000 - 20 000	Légumes, Gelées, Breuvages, (Applications à T° pièce)	WSDA	Insoluble	Oui	< 1 000	?
Foam Blast ORG 40	Emerald Performance Materials	Huile de tournesol (haut oléique), Cire de carnauba	2 000 - 20 000	Légumes, Soya, Breuvages (Applications à T° pièce)	WSDA- OMRI	Insoluble	Oui	650	?

2.3 Efficacité des agents antimoussants

Les 23 antimousses ont été testés par la méthode décrite à la Section 2.1 dans les Matrices 1 et 2. Chaque antimousse a été testé une fois dans chaque matrice. Le Tableau 4 présente une appréciation générale de l'efficacité des différents antimousses testés sur la base du temps requis pour détruire complètement la mousse préalablement formée. On y remarque que la plupart des antimousses ont eu un effet immédiat sur la mousse (0 à 5 sec.). On remarque par ailleurs qu'il semble y avoir un effet lié à la matrice puisque certains antimousses ont pris plus de temps à réagir dans la Matrice 2 que dans la Matrice 1. La composition de la sève, connue pour varier d'un site de prélèvement à l'autre, a certainement eu un impact ici sur l'efficacité d'action de certains antimousses. Les propriétés d'un liquide telles que la viscosité, la tension de surface et la force ionique, toutes liées à sa composition, peuvent affecter grandement ses propriétés moussantes et influencer le mode d'action de certains antimousses (Vardar-Sukan, 1992).

Tableau 4 – Efficacité des 23 antimousses testés

Matrice	Temps de destruction de la mousse (sec.)			
	0:00 à 0:05	0:06 à 0:10	> 0:10	aucun effet
1	18	2	2	1
2	13	8	2	-

Les Tableaux 5 à 7 présentent le détail des résultats obtenus dans chaque matrice et selon la catégorie d'antimousses testés. L'efficacité des antimousses est présentée en fonction du temps requis pour une destruction complète de la mousse formée. Le Tableau 5 présente l'efficacité des antimousses traditionnellement utilisés en acériculture soit le Atmos 300K et le Aldo HMS, chacun acheté chez deux équipementiers acéricoles différents (Lots 1 et 2). Ces produits sont principalement constitués de mono- et diglycérides d'acides gras d'origine végétale et parfois animale. Comme on peut le voir au Tableau 5, ces antimousses semblent en général très efficaces puisque la mousse disparaît après quelques secondes de contact seulement (3 à 5 sec.). Bien qu'agissant de façon très similaire, le Atmos 300K semble légèrement plus efficace avec quelques secondes de temps de réaction de moins que le Aldo HMS. Le Crisco, une graisse végétale utilisée dans les préparations culinaires, présente un temps de réaction un peu plus long (5 à 9 sec.). Cette graisse est résistante à la chaleur et est sans saveur mais peut contenir des acides gras trans non désirés.

Tableau 5 – Efficacité des produits antimousse traditionnels testés

Produit traditionnel liquide	Temps de disparition de la mousse (sec.)		Produit traditionnel solide	Temps de disparition de la mousse (sec.)	
	Matrice 1	Matrice 2		Matrice 1	Matrice 2
Atmos 300K Lot 1	2	3	Aldo HMS KFG Lot 1	8	4
Atmos 300K Lot 2	3	4	Aldo HMS KFG Lot 2	2	3
---	---	---	Crisco	5	9
Temps moyen de réaction (sec.)		3 ± 1	Temps moyen de réaction (sec.)		5 ± 3

Le Tableau 6 présente les résultats des tests réalisés avec les différents antimousses biologiques à l'étude. On y retrouve les produits antimousse biologiques traditionnels, soit l'huile de carthame, de canola et de tournesol, que l'on compare aux produits biologiques commerciaux.

Tableau 6 – Efficacité des produits antimousse biologiques testés

Produit traditionnel biologique	Temps de disparition de la mousse (sec.)		Produit Biologique commerciaux	Temps de disparition de la mousse (sec.)	
	Matrice 1	Matrice 2		Matrice 1	Matrice 2
Huile de carthame	Pas d'effet (2 essais)	10	---	---	---
Huile de canola	5	7	KFO organic 7605 (à base de canola)	6 *	7
Huile de tournesol	30 *	16	Foam Blast ORG 40 (à base de tournesol)	3	8
---	---	---	Organic 3000 (à base de soya)	4	5
---	---	---	Organic 3300 (à base de soya)	4	5
Temps moyen de réaction variable d'une huile à l'autre et efficacité incertaine d'un essai à l'autre. L'huile de canola semble donner de meilleurs résultats (plus stables et constants d'une matrice à l'autre)			Temps moyen de réaction (sec.)		5 ± 2

* Un essai n'a pas réussi à éliminer la mousse

On peut y voir que l'efficacité antimoussante des huiles végétales est très faible à part peut-être pour l'huile de canola (5 à 7 sec.). On se rappellera que les huiles végétales ne sont pas des antimousses et que lorsqu'elles sont utilisées en tant que tel, une quantité plus importante doit être utilisée pour atteindre de bons résultats. Les produits biologiques commerciaux, dérivés des mêmes huiles végétales, font un peu meilleure figure avec des temps de réaction en général plus

courts (5 sec. en moyenne). Ces derniers seraient donc des produits de remplacement de choix pour l'industrie acéricole biologique. Parmi ceux-ci, le Foam Blast ORG 40 a été identifié comme antimousse potentiel étant donné sa bonne performance lors de ces essais. Il a été testé dans l'évaporateur pilote du Centre ACER pour valider son potentiel en production et vérifier son impact sur le goût du sirop produit (Section 4). Le Foam Blast ORG 40 a alors été comparé au produit traditionnellement utilisé en acériculture biologique et ayant présenté la meilleure efficacité antimoussante de sa catégorie, soit l'huile de canola biologique (Tableau 6). Au moment de faire ce choix, les antimousses Organic 3000 et 3300 étant des dérivés de l'huile de soya, avaient été écartés. En effet, le soya est inscrit dans la liste des allergènes reconnus par l'Agence canadienne d'inspection des aliments et son utilisation est proscrite en production acéricole (ACIA, 2016). Un contact avec Magrabar Chemical Corporation, le fournisseur de ces antimousses, nous a cependant permis de voir que le Organic 3000 et 3300 étaient certifiés sans traces de composés allergènes. Ils seraient donc des alternatives très intéressantes pour le secteur acéricole biologique et qui mériteraient d'être testées.

Le Tableau 7 présente les résultats des tests réalisés avec les produits commerciaux à base de silicone et d'esters d'acides gras. La composition des antimousses commerciaux est souvent complexe et est conçue pour des applications très spécifiques (Tableaux 3a et 3b). Les antimousses de la catégorie des silicones destinés au traitement des solutions aqueuses sont constituées de particules hydrophobes dispersées dans des polymères siliconés. Leur rôle consiste à s'intercaler dans les films liquides de la mousse pour les drainer (démouillage; Treiner, 2005). Les antimousses à base de silicone offrent généralement une bonne capacité antimoussante, sont résistants à la chaleur et sont chimiquement inertes donc sécuritaires (Fiches techniques). On peut voir au Tableau 7 que les produits à base de silicone offrent de bonnes performances antimoussantes dans la sève mais que leur temps de réaction est légèrement plus long que celui des esters d'acides gras. Le Trans-SF 350 est peu efficace avec un temps de réaction très lent 22 à 23 secondes. Il est le seul antimousse qui ne soit pas une émulsion. Constitué de polydiméthylsiloxane à 100%, sa formulation n'est probablement pas adaptée pour l'application visée ici. En effet, le Trans-SF 350 est plutôt recommandé pour une utilisation dans les systèmes non aqueux tels que les procédés de traitement des huiles végétales.

Les antimousses de la catégorie des esters d'acides gras sont principalement constitués de mono- et diglycérides et de ce fait, sont assez similaires au Atmos 300K et au Aldo HMS. On peut voir au Tableau 7 que ces antimousses ont en général un temps de réaction très court, soit de

l'ordre de 3,5 secondes en moyenne. Les produits antimoussants à base d'esters d'acides gras semblent être les plus performants et leur efficacité est similaires à celle du Atmos 300K et du Aldo HMS. Parmi ce dernier type d'antimousses, le J-305 IP Sans GMO de la compagnie Magrabar Chemical Corporation, a été identifié comme antimousse potentiel étant donné sa bonne performance lors de ces essais et par le fait qu'il soit certifié sans organisme génétiquement modifié. Il a été testé dans l'évaporateur pilote du Centre ACER pour valider son potentiel en production et vérifier son impact sur le goût du sirop produit (Section 4). Le J-305 IP Sans GMO a alors été comparé à l'antimousse traditionnellement utilisé en acériculture et ayant présenté la meilleure efficacité antimoussante de sa catégorie, soit le Atmos 300K (Tableau 5).

Tableau 7 – Efficacité des produits antimousse à base de silicone et d'esters

Produit à base de silicone	Temps de disparition de la mousse (sec.)		Produit à base d'esters	Temps de disparition de la mousse (sec.)	
	Matrice 1	Matrice 2		Matrice 1	Matrice 2
Trans-100K	4	9	J-305	2	4
Trans-SF 350	22 *	23	J-305 IP Sans GMO	2	4
SAF-1297FGK	2	4	PD-910	3	4
SAF-1117FGK	3	5	KFO 540	2	4
Trans-30K	4	5	KFO 541	3	7
Mazu DF 210SC	3	6	---	---	---
Temps moyen de réaction (sec) (Trans-SF 350 non compris)		4 ± 2	Temps moyen de réaction (sec.)		3,5 ± 1,5

* Un essai n'a pas réussi à éliminer la mousse

2.4 Méthode de référence pour l'évaluation des antimousses

Il existe une grande variété de méthodes et de conditions de laboratoire permettant de comparer l'efficacité d'un agent antimoussant à un autre. Ces méthodes entrent dans les catégories suivantes selon le mode de production de la mousse : pneumatiques, i.e. par injection ou barbotage de gaz (mode statique ou dynamique), agitation manuelle ou mécanique et transvasage (Owen, 2001). La méthode de référence utilisée pour la comparaison des antimousses dans le cadre de ce projet, est inspirée de la Norme expérimentale T73-413 de l'AFNOR (1983) intitulée «*Agents de surface-Détermination de l'aptitude au moussage (pouvoir moussant), du pouvoir antimoussant et de la stabilité de la mousse : méthode par barbotage*». L'intérêt de travailler avec une telle méthode est de standardiser le processus d'évaluation. L'utilisation d'une solution étalon de moussage permet de s'affranchir de travailler directement dans la sève moyennant que cette solution reflète bien le comportement de cette dernière.

Dans la Norme T73-413 de l'AFNOR la solution étalon utilisée est le sodium dodécyl sulfate (SDS) 5 g/l. Dans un premier temps, cette solution a été utilisée en remplacement du concentré de sève dans la méthode décrite à la *Section 2.1-Méthode de moussage de la sève en laboratoire*. Plusieurs techniques ont été expérimentées pour créer de la mousse avec ou sans chauffage de la solution de SDS, telles que l'agitation avec un barreau magnétique ou des billes de verre et le barbotage de l'azote au moyen de différents dispositifs, sans succès. La méthode en colonne, inspirée de celle présentée dans la Norme T73-413 de l'AFNOR, a donc été sélectionnée et mise au point pour la suite des travaux. Pour ce faire, plusieurs paramètres ont dûs être testés et ajustés pour permettre d'obtenir une méthode fiable et reproductible (débit d'azote, porosité du verre fritté, concentration, volume et température de la solution étalon, volume cible de la mousse, essais en mode statique ou dynamique, méthode de mesure du niveau de mousse, chauffage de la colonne ou non, conditions d'ajout d'antimousse, procédure de nettoyage, répétabilité des essais, etc.). La Figure 2a illustre le dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité des antimousses par la méthode de référence.

Le matériel nécessaire pour la réalisation des tests en colonne comprend :

- Colonne à chromatographie de verre avec verre fritté démontable (NDS Technologies, 30 mm diamètre x 500 mm hauteur)

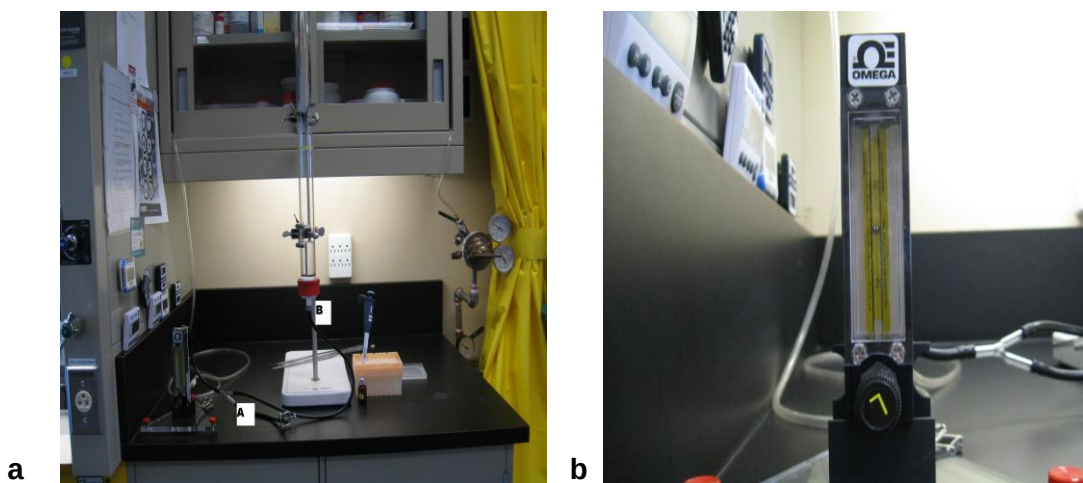


Figure 2. Méthode utilisée pour l'évaluation de l'efficacité des agents antimoussants par la méthode de référence. a) Dispositif de moussage en colonne (50 ml), b) Rotamètre permettant le contrôle du débit d'air à l'entrée de la colonne.

- Dispositif complet de circulation d'azote
- Verre fritté coarse 30 mm : porosité 40-60 μm
- Cylindre gradué en verre de 50 ml
- Bécher de verre de 250 ml
- Barreau magnétique
- Ballon volumétrique de 200 ml
- Chronomètre
- Rotamètre (Omega, 0-70 ml/min)
- Sodium dodécyl sulfate (Solution étalon)
- Source d'azote comprimé
- Pipette et embout à piston 10-100 μl (Rainin, MR-100)

La mousse est formée par barbotage d'azote à travers une solution de SDS à 5 g/l. Lors de chaque essai, un volume de 50 ml de la solution à température ambiante est inséré dans le dispositif. Le débit d'azote est ajusté à 40 ml/min et est laissé en fonction jusqu'à l'atteinte du niveau de mousse cible situé à 23 cm. Le temps de barbotage moyen pour atteindre ce niveau de mousse est de $02:39 \pm 00:04$ min:s (n=6). Le barbotage est ensuite arrêté (mode statique) et la quantité cible d'antimousse de $0,0100 \pm 0,0005$ g est ajoutée à la surface de la mousse à l'aide d'une pipette à piston 10-100 μl . La qualité de l'interaction entre les produits antimoussants et la mousse ont été appréciés visuellement durant 4 minutes après l'ajout de l'antimousse. Le temps

requis pour faire redescendre la mousse et le volume final de mousse atteint étaient notés lors de chaque essai. Une procédure de nettoyage rigoureuse, similaire à celle utilisée pour la méthode de moussage du concentré de sève en bécher, est appliquée entre chaque essai. Le Tableau 8 présente les différents paramètres de contrôle mesurés en cours d'utilisation de la méthode (n=3). On peut y voir que la méthode est répétable puisque les paramètres mesurés sont très constants. On remarque que la montée de la mousse est plus rapide dans les 30 premières secondes d'injection d'azote (0,14 cm/sec.) et que le rythme se stabilise ensuite à 0,10 cm/sec jusqu'à l'atteinte du niveau cible. La mousse produite est très stable puisqu'elle ne descend que de 0,20 cm sous l'effet de la gravité, durant les 4 minutes de la durée du test, soit entre le moment de l'arrêt de l'injection du gaz et la fin du test.

Tableau 8 – Caractéristiques de la solution de SDS 5 g/l utilisée pour l'évaluation de l'efficacité des agents antimoussants

Montée de la mousse après les premiers 30 sec. (cm)	Montée de la mousse à chaque 30 sec après les premiers 30 sec. (cm)	Descente naturelle du niveau de mousse après 4 min d'arrêt de l'injection d'azote (cm)
4,1 ± 0,2	3,1 ± 0,3	0,2 ± 0,0

Note : Moyenne de trois essais effectués sur 3 colonnes différentes

Les antimousses évalués avec cette méthode sont ceux qui ont été sélectionnés à la Section 2.3 et qui ont été testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER (Section 4). L'objectif est de comparer leur efficacité à traiter la mousse formée par barbotage de la solution étalon de moussage à leur efficacité à traiter la mousse formée par ébullition dans la sève d'érable concentrée. Il sera alors possible de statuer sur la capacité de la méthode de référence à reproduire le comportement de ces antimousses dans la sève d'érable concentrée. Les antimousses testés sont les produits de référence les plus efficaces de leur catégorie et qui sont déjà utilisées dans l'industrie :

- Atmos 300K (non biologique)
- Huile de canola biologique

et les alternatives proposées :

- J-305 IP Sans GMO (non biologique)
- Foam Blast ORG 40 (biologique)

Deux antimousses ayant été peu efficaces lors des essais dans la sève ont également été sélectionnés :

- Trans-SF 350
- Huile de carthame (biologique)

Le Tableau 9 présente les résultats obtenus pour ces antimousses. Comme on peut le voir, le seul ayant démontré un effet significatif est le Foam Blast ORG 40 qui a réduit le niveau de la mousse de 5 cm en 4 minutes. Il est donc clair que le type de mousse formée dans ce système ne permet pas de simuler adéquatement la mousse produite à partir de concentré de sève. La composition des matrices, les mécanismes de formation de la mousse (chauffage versus barbotage) et les caractéristiques des mousses formées dans ces deux systèmes sont probablement trop différents.

Tableau 9 – Efficacité des produits antimousse sélectionnés

Temps	Hauteur atteinte par la mousse (cm) ¹					
	Atmos 300K	J-305 IP Sans GMO	Huile de carthame biologique	Huile de canola biologique	Trans SF 350	Foam Blast ORG 40
0 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
0,5 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	20,9
1,0 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	20,1
1,5 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	19,4
2,0 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	19,4
2,5 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	19,0
3,0 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	18,8
3,5 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	18,5
4,0 min	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	18,0

1- Hauteur du liquide résiduel et de la mousse combinés

Des travaux supplémentaires seraient donc nécessaires pour rendre cette méthode plus représentative des phénomènes de moussage rencontrés dans la sève. Par ailleurs, la méthode de moussage de la sève en laboratoire développée dans ce projet (Section 2.1) a fait ses preuves et les mécanismes de formation de la mousse sont beaucoup plus près de ceux observés dans les évaporateurs. Afin de standardiser cette méthode, à défaut de pouvoir toujours travailler à partir de la même sève, il serait avantageux d'identifier un produit antimousse comme produit de référence. Son utilisation comme standard interne permettrait peut-être d'uniformiser les résultats obtenus dans des sèves différentes.

3) ÉVALUATION DE METHODES ALTERNATIVES

L'utilisation des agents antimoissants est une avenue efficace pour le contrôle du moussage. Leur utilisation peut parfois engendrer certains inconvénients. Par exemple, l'utilisation d'antimousse n'est pas recommandée pour les procédés qui impliquent une étape de fermentation au cours de laquelle la formation de la mousse doit être contrôlée. L'utilisation des antimoisses dans ce cas-ci, altère les taux de transfert de masse, inhibent les réactions de fermentation et rendent difficiles les étapes ultérieures de séparation et de purification (Garrett, 2013). Le contrôle du moussage par l'utilisation de dispositifs mécaniques est alors approprié pour éviter ces problèmes. La littérature fait mention de différentes méthodes mécaniques permettant de contrôler la mousse telles que la projection d'un liquide à la surface de la mousse, l'utilisation d'ondes ultrasonores, l'irradiation avec des particules α , la création d'une forte pression capillaire dans la mousse et l'utilisation de dispositifs mécaniques rotatifs (Bensouissi, 2007 ; Garrett, 2013).

Dans l'optique d'une utilisation en production acéricole, particulièrement appropriée pour le secteur biologique, certaines des pratiques relevées dans la littérature ont été retenues en fonction de leur potentiel d'application. Leur évaluation a été réalisée en utilisant la méthode de moussage de la sève en laboratoire présentée à la Section 2.1. Les moyens mécaniques étudiés pour contrôler la mousse sont la vaporisation d'eau, l'application d'un jet d'air comprimé et l'utilisation d'un dispositif mécanique rotatif. Chaque méthode a été utilisée en mode préventif et/ou réactif. Le mode préventif était appliqué dès le début du chauffage de la matrice, afin de limiter la formation de la mousse, alors que le mode réactif était appliqué lorsque le niveau de mousse prédéterminé était atteint. Dans chaque cas, les tests ont été interrompus soit lorsque le niveau de mousse eu atteint la ligne graduée de 950 ml (incontrôlable) ou lorsqu'il n'y avait plus de liquide de disponible au fond du bécher ou encore lorsque 10 minutes se furent écoulées à partir du début de l'ébullition de la matrice.

3.1 Vaporisation d'eau en surface

Le dispositif utilisé pour l'évaluation de l'effet de la vaporisation d'eau en surface pour le contrôle du moussage est illustré à la Figure 3. Afin de limiter l'effet de dilution de la matrice apporté par la

vaporisation d'eau, cette méthode a été étudiée en mode réactif seulement. La vaporisation, effectuée manuellement (bouteille avec vaporisateur), a été mise au point afin d'assurer la meilleure efficacité et répétabilité possible du patron du jet d'eau à la surface de la mousse. Un premier jet d'eau déminéralisée était vaporisé à la surface de la mousse lorsque le niveau cible de 600 ml était atteint (Figure 4a). Un jet d'eau déminéralisé était ensuite vaporisé aussi souvent que requis, i.e. à chaque fois que le niveau de mousse remontait à 600 ml ou s'il continuait de monter. Deux tests ont été effectués, soit un dans la Matrice 1 (YP) et un dans la Matrice 2 (RO). La qualité de l'interaction entre les gouttelettes d'eau et la mousse a été appréciée visuellement alors que le temps de traitement, la quantité d'eau vaporisée et la concentration finale de la matrice ont été notés pour chaque essai.

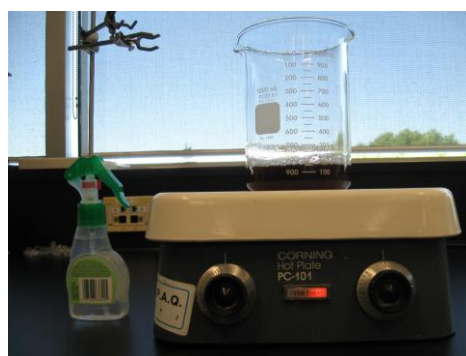


Figure 3. Dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité de la vaporisation d'eau pour le contrôle du niveau de la mousse

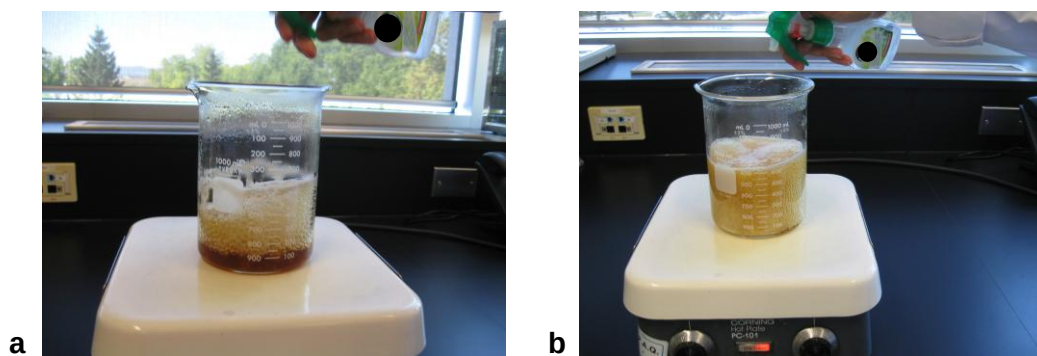


Figure 4. Volume de liquide et de mousse a) Premier jet d'eau à l'atteinte du niveau cible de 600 ml et b) À l'arrêt du traitement

Le Tableau 10 présente les résultats obtenus pour les Matrices 1 et 2. Dans la Matrice 1, la première vaporisation a permis de faire descendre la mousse et de la maintenir en bas de 600 ml

durant quelques secondes. D'autres vaporisations, de plus en plus rapprochées ont ensuite été nécessaires jusqu'à ce qu'une action continue ne suffise plus à contrôler adéquatement le niveau de la mousse. Le test a été interrompu lorsque le liquide au fond du bécher fut entièrement transformé en mousse et que le niveau de celle-ci eu dépassé 600 ml (Figure 4b). Le traitement a duré 1:05 min:s et 3,31 g d'eau ont été ajoutés. Dans le cas de la Matrice 2, les vaporisations ont été beaucoup plus rapprochées et plus nombreuses dès le départ de sorte qu'un volume d'eau plus important a été ajouté (19,55 g). Le niveau de la mousse dans ce cas, s'est maintenu entre 500 et 600 ml par soubresauts, durant toute la durée du traitement (2:57 min:s). Le test a été arrêté lorsque tout le liquide au fond du bécher eut été entièrement transformé en mousse. Dans les deux cas, le produit final a atteint une concentration de 57 °Brix. On peut voir que cette méthode peut potentiellement fonctionner puisque le niveau de mousse n'atteint jamais le 1000 ml des matrices témoins (Figure 1). Ce type de contrôle est cependant mal adapté pour une utilisation en acériculture. En effet, la quantité d'eau à ajouter lors des moussages excessifs pourrait ralentir de façon marquée l'efficacité de l'évaporateur et nuire à la production du sirop d'érable.

Tableau 10 – Efficacité de la vaporisation d'eau pour le contrôle du niveau de la mousse

Matrice	Durée d'application du traitement (min :s)	Quantité d'eau vaporisée (g)	Temps total depuis le début de l'ébullition(min:s)	°Brix à la fin de l'essai
1	01:05	3,31	06:22	57,5
2	02:57	19,55	08:50	57,0

3.2 Jet d'air comprimé en surface

Le dispositif utilisé pour l'évaluation de l'effet d'un jet d'air comprimé en surface pour le contrôle du moussage est illustré à la Figure 5. La projection de l'air comprimé a été réalisée à l'aide d'un rotamètre ajusté à un débit de 16 640 ml/min sur lequel était branché un dispositif de sortie d'air perforé (8 mm OD x 6 mm ID; 12 perforations). Cette méthode a été étudiée en mode préventif ainsi qu'en mode réactif. Dans les deux cas, le dispositif était installé à 10,35 cm au dessus de la plaque chauffante ce qui correspond à la ligne graduée de 800 ml du bécher de 1 L utilisé pour les essais. En mode préventif, l'air comprimé était mis en fonction dès le début du chauffage alors qu'en mode réactif, il était mis en fonction seulement à partir du moment où la mousse eu atteint le niveau cible de 600 ml. Deux tests ont été effectués, soit un dans la Matrice 1 (YP) et un dans la Matrice 2 (RO). La qualité de l'interaction entre le jet d'air et la mousse ont été appréciés

visuellement alors que le temps de traitement et la concentration finale de la matrice ont été notés pour chaque essai.



Figure 5. Dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité du jet d'air comprimé pour le contrôle du niveau de la mousse

Le Tableau 11 présente les résultats obtenus lors de l'utilisation du jet d'air comprimé en mode préventif. On peut voir que le comportement des deux matrices est différent probablement parce que leurs propriétés sont différentes. En effet, il faut 7:30 min:s à la Matrice 1 pour monter jusqu'à un niveau de 300 ml à partir du début de l'ébullition, alors qu'il faut 5:11 min:s à la Matrice 2 pour atteindre le même niveau. La hauteur des mousses formées se stabilise vers 400-500 ml (soubresauts) soit tout juste en dessous du jet d'air comprimé (Figure 6a). Les traitements ont été arrêtés puisqu'il n'y avait plus de liquide de disponible au fond du bécher. Après le traitement, les Matrice 1 et 2 ont atteint une concentration de 65,9 et 63,0 °Brix respectivement. On peut voir que cette méthode peut potentiellement permettre de contrôler le niveau de mousse et permettre à la sève d'atteindre la concentration du sirop d'érable, compativement aux matrices témoins (Figure 1 et Tableau 1). L'application en mode préventif ne semble pas empêcher la mousse de se former puisque celle-ci remonte jusque sous la sortie d'air.

Tableau 11 – Efficacité du jet d'air comprimé utilisé en mode préventif pour le contrôle du niveau de la mousse

Matrice	Temps pour atteindre un volume total de 300 ml après le début de l'ébullition (min:s)	Temps pour atteindre la stabilisation du volume total variant de 400 et 500 ml (min:s)	Temps total de traitement après le début de l'ébullition (min:s)	°Brix à la fin de l'essai
1	07:30	08:00	10:00	65,9
2	05:11	05:30	08:00	63,0

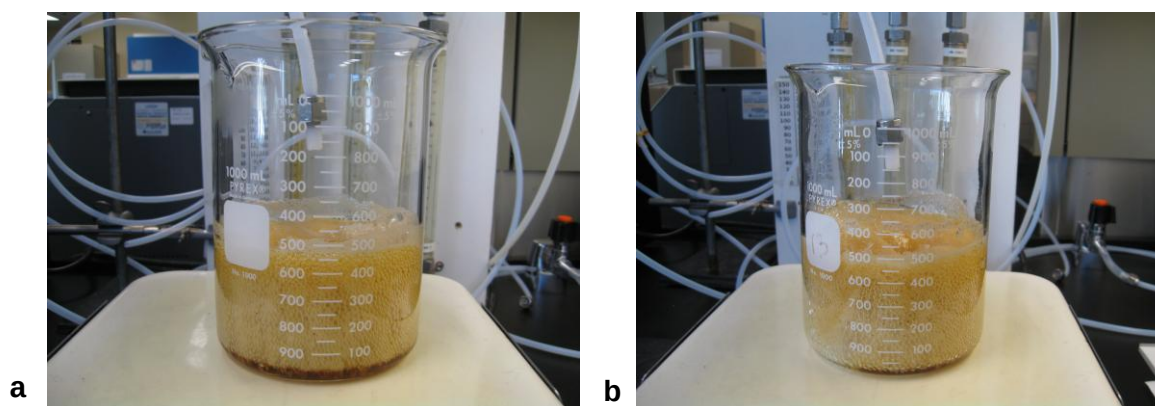


Figure 6. Volume de liquide et de mousse sous l'effet d'un jet d'air comprimé a) Chauffage de 9 minutes en mode préventif et b) Chauffage de 5 minutes en mode réactif

Le Tableau 12 présente les résultats obtenus lors de l'utilisation du jet d'air comprimé en mode réactif. On peut voir que le comportement des deux matrices est ici aussi différent probablement parce que leurs propriétés sont différentes. En effet, dès l'application du jet d'air, la mousse de la Matrice 1 est presque entièrement détruite à partir de la ligne de 600 ml. Elle remontera ensuite à 400 ml en 3:00 min:s pour se stabiliser ensuite entre 400 et 500 ml (soubresauts) une trentaine de seconde plus tard (Figure 6b). Sous l'effet du traitement, la hauteur de la mousse de la Matrice 2 descend jusqu'à 400 ml et demeurera stable à cette hauteur jusqu'à la fin. Les traitements ont été arrêtés puisqu'il n'y avait plus de liquide de disponible au fond du bécher. Après le traitement, les Matrice 1 et 2 ont atteint une concentration de 66,6 et 64,2 °Brix respectivement. On peut donc conclure qu'il a été également possible de contrôler le niveau de mousse sous la hauteur cible avec cette méthode pour atteindre la concentration du sirop d'érable. Ce type de contrôle peut présenter un certain potentiel pour une utilisation en acériculture malgré un certain ralentissement du procédé probablement lié à la température de l'air diffusé (comparaison avec les matrices témoins). Les enjeux dans ce contexte serait de

s'assurer que la qualité de l'air qui est utilisé est adéquate et qu'il n'y ait pas d'effet d'oxydation de la sève suite au contact de l'oxygène de l'air propulsé sur la mousse.

Tableau 12 – Efficacité du jet d'air comprimé utilisé en mode réactif pour le contrôle du niveau de la mousse

Matrice	Comportement de la mousse	Temps d'application du traitement	Temps total de depuis le début de l'ébullition (min:s)	°Brix à la fin de l'essai
1	Destruction complète au départ Remontée à 400 ml (03:00) Stabilisation entre 400 et 500 ml (03:30)	05:00	09:45	66,6
2	Diminution à 400 ml au départ et stabilisation	02:22	08:25	64,2

3.3 Dispositif mécanique rotatif

Les dispositifs mécaniques les plus communément utilisés pour le contrôle de la mousse sont des systèmes rotatifs qui utilisent la force centrifuge et l'effet de cisaillement pour rupturer le film de la mousse. L'un des dispositifs ayant le plus d'effet de cisaillement est celui proposé par Deshpande and Barigou (1999). Le dispositif utilisé pour l'évaluation de l'effet de l'agitation mécanique pour le contrôle du moussage est illustré à la Figure 7. L'agitation mécanique a été réalisée à l'aide d'un système maison composé d'un agitateur à vitesse variable (RW20 IKA), d'une tige de métal et d'un dispositif constitué de peignes de métal. Cette méthode a été étudiée en mode préventif seulement. Le dispositif était installé à 3,55 cm au dessus de la plaque chauffante ce qui correspond à la ligne graduée de 250 ml du bécher de 1 L utilisé pour les essais (Figure 7). En mode préventif, l'agitateur est mis en fonction à 80 rpm dès le début du chauffage. Deux tests ont été effectués, soit un dans la Matrice 1 (YP) et un dans la Matrice 2 (RO). La qualité de l'interaction entre le système rotatif et la mousse ont été appréciés visuellement alors que le temps de traitement et la concentration finale de la matrice ont été notés pour chaque essai.

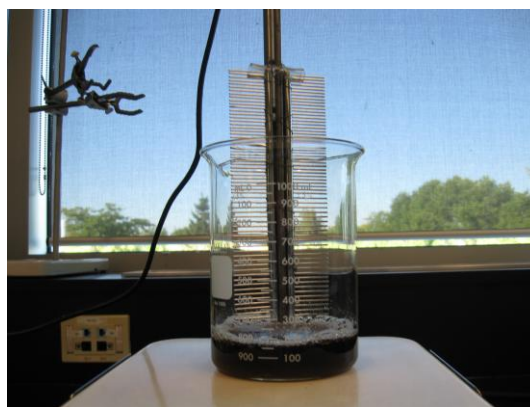


Figure 7. Dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité du système rotatif en mode préventif pour le contrôle du niveau de la mousse

Le Tableau 13 présente les résultats obtenus lors de l'utilisation du système rotatif en mode préventif. On peut voir que la mousse se forme pour les deux matrices dès le début de l'ébullition pour atteindre le niveau cible de 600 ml après 5 à 6 minutes et ce, malgré l'application du traitement. C'est approximativement le même temps que prennent les deux matrices pour atteindre 600 ml lorsqu'aucun traitement n'est appliqué (Tableau 1). On peut voir cependant que le niveau de la mousse se stabilise vers 800 ml environ 1 minute plus tard avec le traitement (Figure 8a) alors que sans traitement, le niveau peut atteindre 1000 ml (Figure 8b). Le traitement par le système rotatif semble donc avoir un peu ralenti la progression de la mousse. Les traitements ont été arrêtés puisqu'il n'y avait plus de liquide de disponible au fond du bécher.

Tableau 13 – Efficacité du jet d'air comprimé utilisé en mode réactif pour le contrôle du niveau de la mousse

Matrice	Temps pour atteindre un volume total de 600 ml après le début de l'ébullition (min:s)	Temps pour atteindre la stabilisation du volume total à 800 ml (min:s)	Temps total de traitement après le début de l'ébullition (min:s)	°Brix à la fin de l'essai
1	05:41	06:29	06:45	59,8
2	06:45	07:12	07:45	61,2

Ce type de contrôle semble peu efficace et pourrait difficilement être adapté pour une utilisation dans les casseroles d'un évaporateur.

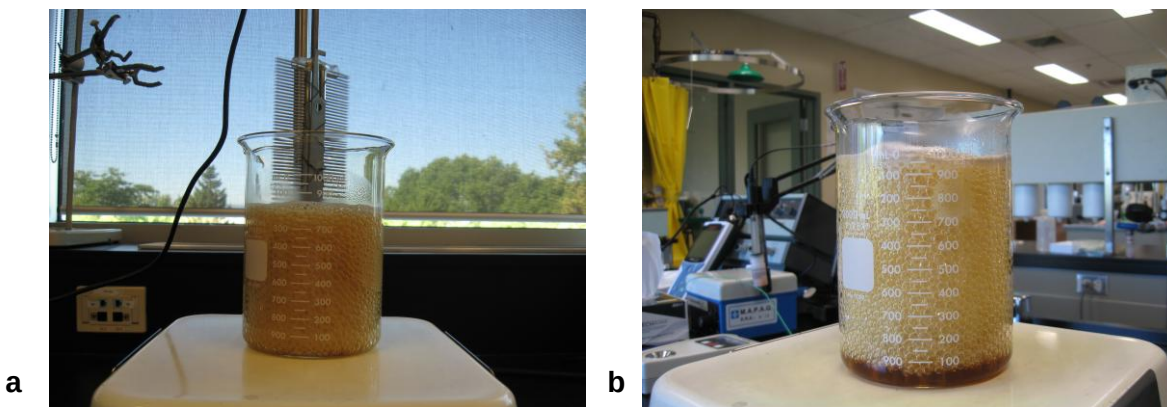


Figure 8. Dispositif utilisé pour l'évaluation de l'efficacité du système rotatif en mode préventif pour le contrôle du niveau de la mousse a) Chauffage d'environ 6-7 minutes avec contrôle (800 ml) et b) Chauffage d'environ 6 minutes, témoin sans contrôle (1000 ml)

4) PRODUCTIONS PILOTES

À la suite des tests réalisés en laboratoire, les produits antimoussants les plus performants ont été sélectionnés et testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER. La sélection a été effectuée à partir des performances antimoussantes obtenues mais aussi sur la base de certaines caractéristiques intrinsèques des produits testés. Ainsi, le Atmos 300K (CR) et l'huile de canola biologique (BR), déjà utilisés en acériculture, ont été sélectionnés comme produits de référence. Le J-305 IP Sans GMO (C) a été sélectionné pour être comparé au Atmos 300K alors que le Foam Blast ORG 40 (B) a été comparé à l'huile de canola biologique (BR). Les objectifs de ce travail étaient de valider la performance de ces produits antimoussants en situation réelle de production de sirop d'érable, de vérifier leur effet sur la qualité du produit fini et de vérifier que les produits proposés sont plus efficaces que les produits utilisés traditionnellement en acériculture. Le travail dans les évaporateurs pilotes du Centre ACER présente différents avantages. Premièrement, l'équipement permet de traiter avec de petits volumes, ce qui permet de faire tous les essais à partir d'un même lot de sève. Deuxièmement, les conditions de production (température de chauffage appliquée sur les casseroles, hauteur de liquide dans les casseroles) sont modulables et bien régulées, ce qui permet de s'assurer que tous les essais sont réalisés dans des conditions similaires. Finalement, les évaporateurs pilotes sont équipés de systèmes d'acquisition de données, qui permettent de récolter une multitude d'informations utiles et précises pour chaque production.

Des productions supplémentaires ont été réalisées dans les mêmes conditions que celles mentionnées précédemment pour tester le bois de Pensylvanie (bois barré ou *Acer pennsylvanicum*). L'utilisation du bois barré pour contrôler le niveau de mousse dans l'évaporateur est une technique encore pratiquée par certains acériculteurs (Figure 11). Mis à part les huiles végétales certifiées biologiques, le bois barré est le seul autre agent de contrôle de la mousse autorisé en acériculture biologique (Ecocert Canada, 2009). Son efficacité sera comparée à celle de l'huile de canola biologique et du Foam Blast ORG 40.



Figure 11. Morceaux de bois barré préparés pour utilisation dans un évaporateur industriel

4.1 Concentré de sève utilisé

La sève utilisé pour ces essais provient du même lot que celle utilisée pour la méthode de moussage en laboratoire soit YP (Matrice 1). Ce lot de sève était disponible en quantité suffisante pour faire tous les essais en laboratoire ainsi que tous les essais pilotes. Cette sève, concentrée à 8 °Brix, a été récoltée à la fin de la saison de production 2010 chez une entreprise acéricole située près de Saint-Norbert d'Arthabaska. Elle a été conservée à -18°C jusqu'au moment des productions pilotes. Le volume de concentré de sève nécessaire à chaque production a été décongelé (~ 28 litres) dans système de décongélation à l'eau froide.

4.2 Méthode de production du sirop d'érable

4.2.1 Unité de décongélation

La décongélation du concentré de sève à 8 °Brix destiné à la production à l'échelle pilote a été effectuée dans un système de décongélation pilote développé au Centre ACER (Figure 12). Le protocole de décongélation en vigueur au Centre ACER a été suivi. Ce système est composé d'un bassin d'eau froide, d'un serpentin de refroidissement et d'une pompe de recirculation d'eau. Pendant la décongélation, un système de contrôle assure l'atteinte de la température cible de l'eau du bassin.

Pendant la durée de la décongélation (24 heures), un système de contrôle a assuré une température moyenne de l'eau froide du bassin entre 4 et 8 °C, ce qui a permis de maintenir, en tout temps, le concentré de sève en décongélation à une température inférieure à 8 °C. Une fois

décongelé, le concentré de sève a été pré-filtré à l'aide d'un bonnet de filtration en polyester #8 à 5 microns. Ce type de filtre est couramment utilisé dans les érablières pour filtrer la sève et le concentré de sève.



Figure 12. *Système de décongélation à l'échelle pilote*

4.2.2 Unité d'évaporation à l'échelle pilote

Les essais d'évaporation du concentré de sève YP ont été réalisés dans un évaporateur électrique à l'échelle pilote qui a été développé au Centre ACER (Figure 13). Cet équipement possédant une surface d'évaporation totale de $2,70 \text{ pi}^2$ permet de traiter jusqu'à 40 litres de concentré par lot de production. Il est composé de trois casseroles à plis et trois casseroles à fond plat et fonctionne sur le même principe physique que les évaporateurs industriels, soit par différence de niveaux. Un système de contrôle et d'acquisition des données assure le suivi des paramètres de procédé tels que la température dans les chambres de chauffage et les niveaux de liquide à différents emplacements dans l'équipement. L'acquisition de la température d'ébullition dans chacune des casseroles est aussi faite par ce système.

Le sirop d'érable a été produit en suivant sa procédure d'utilisation. La hauteur du liquide a été fixée à 50 mm dans la section des plis et des plats. Une seule répétition a été réalisée par type de traitement (type d'antimousse x condition d'évaporation). Pour tous les sirops produits un intervalle pour la teneur en extraits secs solubles de 66,0 à 67,5 °Brix à 20 °C a été ciblé (BNQ, 2001).



Figure 13. *Évaporateur électrique à l'échelle pilote utilisé pour la production du sirop d'érable*

4.2.3 Unité de filtration à l'échelle pilote

La filtration du sirop d'érable a été réalisée dans un filtre à plaque vertical à l'échelle pilote qui a été développé au Centre ACER (Figure 14). Cet équipement est composé d'un cylindre vertical et une plaque ayant une surface de filtration de 0,18 pied². Un papier support et de la terre de diatomée sont utilisés pour former le lit de filtration. Le sirop est filtré grâce à l'action de la pression de l'azote qui est exercée à l'alimentation de la plaque de filtration. Le sirop filtré est collecté à la base de la plaque.

Le sirop d'érable a été filtré en suivant sa procédure d'utilisation (Arzate, Boudreault et Houde, 2012). À des fins de contrôle de procédé, le suivi de certains paramètres de production a été effectué en usine pilote afin de caractériser la nature de la matière première à traiter et les propriétés du produit fini. Ces analyses ont été réalisées en suivant les méthodes en vigueur au Centre ACER pour ce suivi particulier.



Figure 14 : *Unité de filtration à l'échelle pilote utilisée pour la production du sirop d'érable.*

4.2.4 Paramètres de production

Les données du sondage réalisé par le Centre ACER en 2008-2009 indiquaient que 42 % des entreprises avaient des problèmes de moussage au niveau des casseroles à fond plat et 58% a niveau des casseroles à plis. Afin de simuler ces situations, deux conditions de traitement ont été appliquées dans l'évaporateur pilote :

- EF(Pr): Préchauffage à 80 °C (Pr), température de traitement élevée (E) dans les plis (taux d'évaporation à l'eau potable de 0,43 gal. imp./pi²h) et température de traitement faible (F) dans les plats (taux d'évaporation à l'eau potable de 0,77 gal. imp./pi²h) pour favoriser le moussage dans les plis.
- FE(Pr) : Préchauffage à 80 °C (Pr), température de traitement faible (F) dans les plis (taux d'évaporation à l'eau potable de 0,18 gal. imp./pi²h) et température de traitement élevée (E) dans les plats (taux d'évaporation à l'eau potable de 1,59 gal. imp./pi²h) pour favoriser le moussage dans les plats.

Deux prétests ont été réalisés dans ces conditions de traitement, soit EF (Pré-test no 1) et FE (Pré-test no 2), afin de valider que celles-ci permettaient bien de faire mousser le concentré de sève d'érable dans les plis et dans les plats respectivement. Comme les pré-tests ont été concluants, chaque antimousse (incluant le bois barré) a donc été testé selon ces deux

conditions de traitement. La mousse devait atteindre une hauteur cible maximale prédéterminée de 100 mm au dessus du plis dans les casseroles à plis et de 80 mm à partir du fond de la casserole dans les casseroles à fond plat avant que l'antimousse ne soit ajouté. Un total de 11 productions ont ainsi été réalisées entre le 27 octobre 2015 et le 19 janvier 2016.

En plus des paramètres de procédé habituels, un suivi de l'ajout d'antimousse (nombre d'interventions) et de la hauteur de la mousse dans les casseroles de l'évaporateur a été réalisé lors des essais. L'antimousse était ajouté à l'aide d'une pipette de transfert à la sortie de la casserole lorsque le volume de celle-ci atteignait la hauteur cible pour chaque type de casserole. La qualité sensorielle (odeur) des produits antimoussants a été évaluée à l'ouverture des contenants et un suivi a été effectué au dessus des casseroles de l'évaporateur tout au long de la production. Les essais avec le bois barré ont été réalisés en s'inspirant de la procédure utilisée par une entreprise acéricole de Pohénégamook. Pour ce faire, un morceau de bois barré de taille uniforme était suspendu au centre de chaque casserole de l'évaporateur (Figure 15), et au dessus du liquide selon les mêmes hauteurs cibles que celles définies pour les agents antimoussants (100 mm au-dessus du plis; 80 mm à partir du fond des casseroles à plat). La qualité de l'interaction entre les produits testés et la mousse a été appréciée visuellement tout au long du procédé.



Figure 15. Morceaux de bois barré installés dans les casseroles de l'évaporateur pilote

4.3 Analyse des échantillons

L'analyse des propriétés physicochimiques des échantillons de sirop d'érable produits a été réalisée selon les méthodes en vigueur au Centre ACER (Tableau 16). L'évaluation de la qualité organoleptique a été réalisée par ACER Division Inspection Inc. Pour ce faire, les échantillons ont été soumis à un panel de trois vérificateurs de qualité experts en évaluation organoleptique

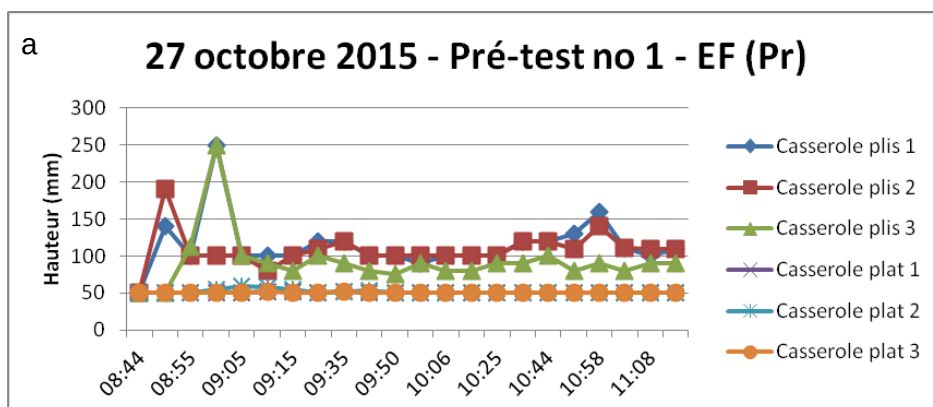
du sirop d'érable et habilités à dépister les défauts de saveur selon les standards et modalités de l'industrie acéricole québécoise (FPAQ, 2016). L'analyse a été effectuée à l'aveugle, en mode individuel dans un premier temps et une cote consensuelle a été attribuée par la suite, après discussion. Le profil des arômes volatils des échantillons de sirop d'érable a également été analysé par HS-SPME-GC-MS selon la méthode de Sabik et al. (2009, 2012).

Tableau 16 – Analyses effectuées sur les échantillons de sirop d'érable lors des productions pilotes

Paramètre mesuré	Méthode d'analyse
pH (unité de pH)	pH mètre Exttech, Extik pH 100
Concentration solides solubles totaux (°Brix)	Réfractomètre ATAGO, Pal-maple - 0-85%
Conductivité électrique (25 °C, $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimètre Hanna, HI 98311
Transmission de la lumière à 560 nm (%)	Spectrophotomètre Unico W/RS 232, 1100RS

4.4 Évaluation de l'efficacité des antimousses

La Figure 16 (a et b) illustre le comportement de la mousse dans chaque casserole de l'évaporateur pilote durant les deux pré-tests. L'intensité de chauffage élevée favorise le moussage, selon l'endroit où elle est appliquée. En effet, l'intensité de chauffage plus élevée sur les plis (EF) favorise le moussage dans les casseroles à plis (Figure 16 a), tandis que le moussage est plus important dans les plats lorsque le chauffage y est plus intense (FE; Figure 16 b). Ces essais nous ont permis de voir que la sève avait un potentiel «moussant» et que les conditions de traitement sélectionnées étaient adéquates pour les essais visés.



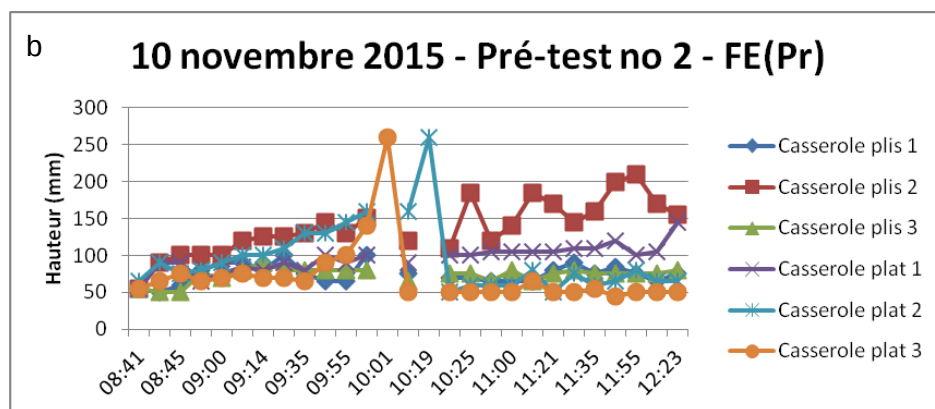


Figure 16. Suivi de la montée de la mousse dans les casseroles de l'évaporateur pilote en fonction du temps et des conditions de traitements de la sève a) Pré-test 1 EF(Pr) et b) Pré-test 2 FE (Pr)

Pour faciliter le suivi des résultats présentés dans cette section du rapport, le Tableau 17 rappelle la définition des acronymes utilisés pour les différents antimousses utilisés. On peut voir à la Figure 17 que tous les essais réalisés avec la condition EF présentent un taux global de traitement plus élevé que ceux réalisés sous la condition FE. Cet effet se fait évidemment ressentir au niveau du débit de sirop qui est plus élevé avec la condition EF (Figure 18). Ces conditions auront un impact sur le moussage qui risque alors d'être plus élevé là où le chauffage de la sève est le plus intense. Le type d'antimousse utilisé lors des essais ne semble pas avoir d'impact particulier sur ces deux paramètres.

Tableau 17 Acronyme des différents antimousses utilisés pour les essais

Acronyme	Antimousse correspondant
CR	Conventionnel de référence (Atmos 300K)
C	Conventionnel (J-305 IP Sans GMO)
BR	Biologique de référence (Canola biologique)
B	Biologique (Foam Blast ORG 40)
Moyenne ou MOY	Moyenne des essais

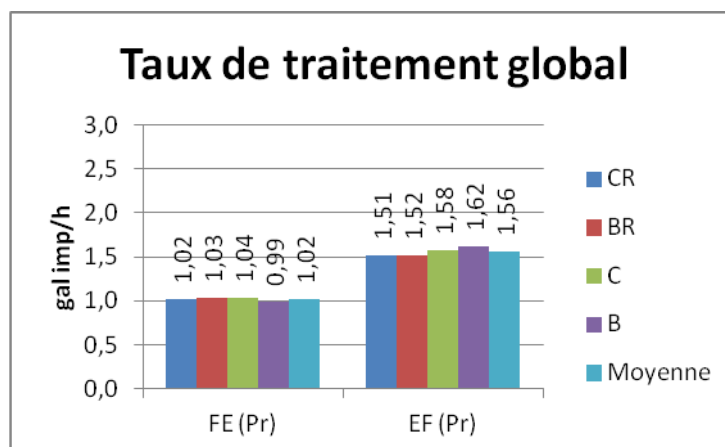


Figure 17 Suivi du taux de traitement global de la sève dans l'évaporateur pilote en fonction du type d'antimousse utilisé et des conditions de traitements de la sève

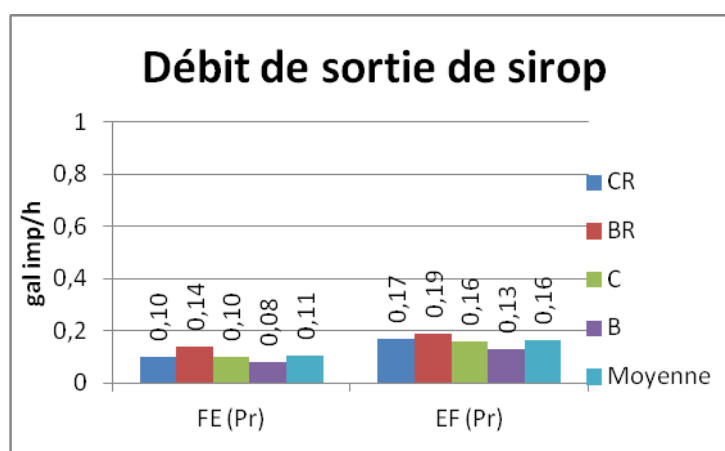


Figure 18. Suivi du débit de sortie du sirop d'érable dans l'évaporateur pilote en fonction du type d'antimousse utilisé et des conditions de traitements de la sève

Le Tableau 18 présente le portrait d'utilisation des antimousses lors des essais. L'ajout d'antimousse y est présenté selon le nombre d'interventions dans les casseroles à plis et les casseroles à fond plat pour chaque essai. On peut voir d'abord que l'ajout d'antimousse était nécessaire seulement dans les sections de l'évaporateur où l'intensité de chauffage était élevée (E). On remarque également que lorsque la condition appliquée à la sève était celle dont le taux de traitement global est le plus élevé, soit EF(Pr), le nombre d'interventions était également plus important.

Le nombre d'interventions plus élevé dans les conditions élevées sur les plis semble indiquer que la sève mousse plus facilement lorsque la concentration dans la zone de transfert est plus élevée : 29,2 °Brix EF(Pr) comparativement à 13,7 °Brix FE(Pr). Le chauffage plus intense au démarrage a permis au degré Brix d'évoluer plus rapidement, et donc d'engendrer un moussage plus intense dans les plis dans la condition EF(Pr).

De façon générale, les antimousses à l'essai se sont comportés de façon similaire selon leur catégorie respective. On peut voir au Tableau 18 que le J-305 IP Sans GMO (C) permet un contrôle efficace de la mousse. La mousse descend rapidement et le nombre d'interventions est relativement limité. Des résultats très similaires ont été obtenus avec l'Atmos 300K qui est l'antimousse conventionnel de référence (CR) dans cette étude.

Lorsqu'on observe le comportement des antimousses biologiques, on remarque que leur efficacité est généralement moins bonne. Le contrôle du moussage avec le Foam Blast ORG 40 (B) a été plus difficile à faire surtout pour la condition EF où le nombre et la fréquence des interventions (23) ont été plus importants. Le comportement du Foam Blast ORG 40 a été très similaire à celui de l'huile de canola biologique (BR) qui était l'antimousse biologique de référence dans cette étude.

La Figure 19 présente les propriétés physicochimiques du sirop produit à la suite des essais. Aucune tendance particulière sur la teneur en solides solubles totaux (Figure 19 a), le pH (Figure 19 b), la conductivité électrique (Figure 19 c) et la transmittance à 560 nm (Figure 19 d) ne semble se démarquer en fonction du type d'antimousse utilisé. Les profil d'arômes volatils ont été obtenus suite à analyse des échantillons de sirop d'érable par HS-SPME-GC-MS. Leur analyse faite de façon qualitative, n'a pas permis de déceler la présence de pics étrangers en lien avec la présence des produits antimoussants.

Tableau 18 – Utilisation des antimousses selon l'intensité de chauffage lors des productions pilotes

Antimousse utilisé ¹	Intensité de chauffage (Plis-Plat)	Nbre d'interventions dans les plis	Nbre d'interventions dans les plats	Commentaires particulier
CR	FE(Pr)	0	2	Mousse descend assez rapidement
CR	EF(Pr)	5	0	Mousse descend assez rapidement
C	FE(Pr)	0	3	La mousse descend très rapidement au contact de l'antimousse
C	EF(Pr)	5	0	La mousse descend très rapidement au contact de l'antimousse
BR	FE(Pr)	0	6	1 goutte d'antimousse est suffisante pour faire diminuer la mousse
BR	EF(Pr)	26	0	Ajout d'anti-mousse environ aux 15 minutes, mais 1 goutte à la fois suffit
B	FE(Pr)	0	9	La mousse ne descend pas avec seulement une goutte. En général, il faut mettre minimum 2 gouttes pour que ça commence à diminuer
B	EF(Pr)	23	0	Ajout d'antimousse environ aux 20-30 minutes, mais il faut en ajouter plus à la fois. La mousse ne descend pas avec seulement une goutte. En général, il faut mettre minimum 2 gouttes pour que ça commence à diminuer

1 CR :Conventionnel de référence (Atmos 300K), C :Conventionnel (J-305 IP Sans GMO), BR :Biologique de référence (Canola biologique), B :Biologique (Foam Blast ORG 40)

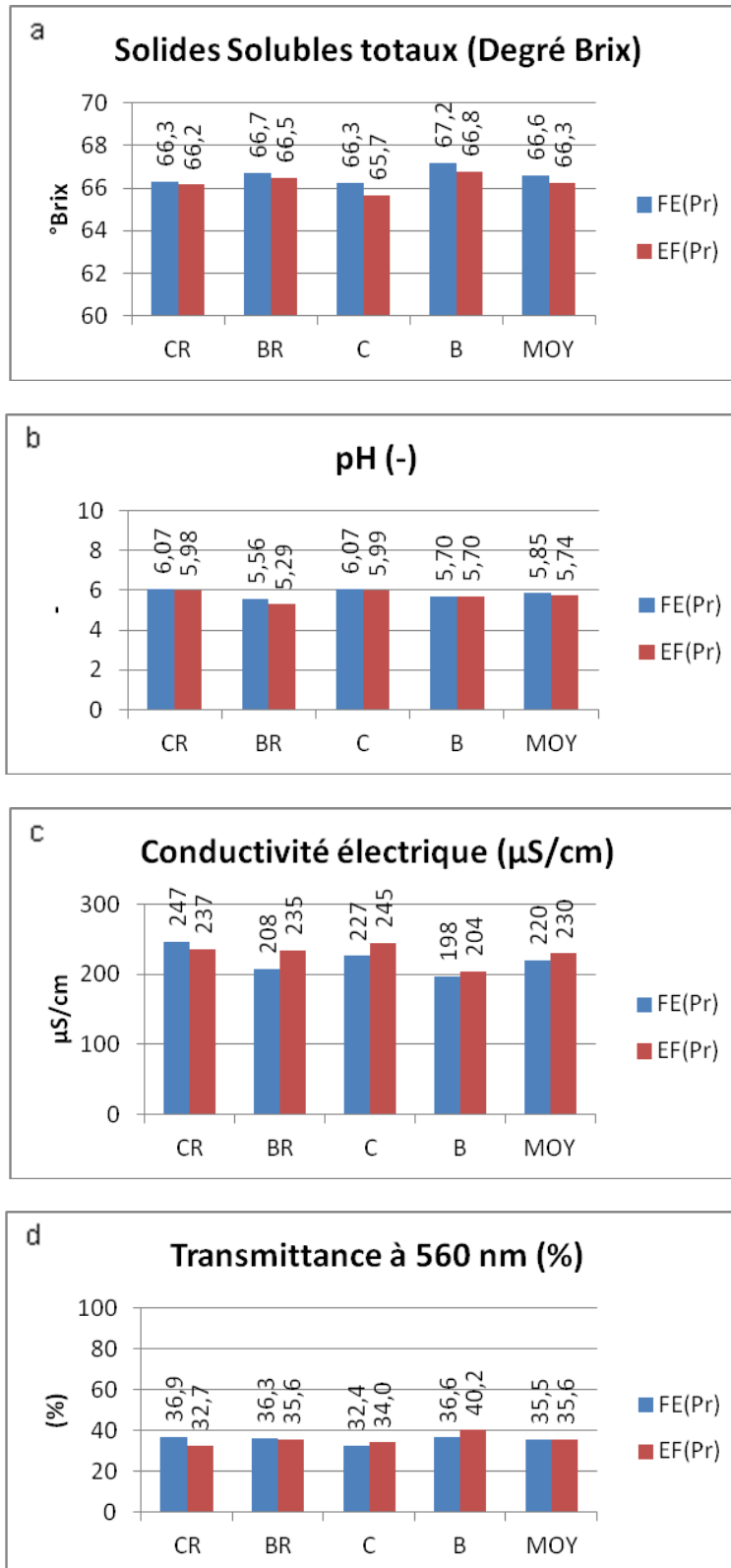


Figure 19. Propriétés physicochimiques des échantillons de sirop d'érable a) Solides solubles totaux b) pH c) Conductivité électrique et d) Transmittance à 560 nm

Le Tableau 19 présente les résultats de l'évaluation organoleptique des échantillons de sirop d'érable produits lors des essais. On remarque que la cote principalement utilisée par les vérificateurs de qualité pour catégoriser le goût des échantillons de sirop a été √R1. Cette cote signifie qu'une saveur et une odeur désagréables d'origine naturelle ont été détectées (sève). Ce type de défaut de saveur est fréquemment rencontré dans le sirop d'érable produit à partir de la sève récoltée vers la fin de la saison de production. On remarque au Tableau 19, que la saveur du sirop d'érable produit lors des essais n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation des différents antimousses sauf dans le cas du Foam Blast ORG 40. En effet, lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr) celui-ci a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type √R4 (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Le fait que les interventions aient été presque toutes réalisées juste avant la sortie du sirop explique peut-être cet effet (casserole à fond plat #4 :1 intervention, #5 :3 interventions et #6 :5 interventions). Cet antimousse a une forte odeur associée à celle de huile de lin.

Tableau 19. Résultats de l'évaluation organoleptique des échantillons de sirop produits

Antimousse	Condition de traitement	Vérificateur 1	Vérificateur 2	Vérificateur 3	Consensus
	Pré-tests FE(Pr)	√R1	√R1 (métal)	√R1 (sève)	√R1
CR	FE(Pr)	√R4 (métal)	√R1(sève, un peu métal)	√R1 (sève début)	√R1
CR	EF(Pr)	√ (sève)	√R1 (sève, métal)	√R1 (sève)	√R1
C	FE(Pr)	√	√R1 (sève)	√ (caramel)	√
C	EF(Pr)	√R1 (acide)	√ (sève)	√ (caramel)	√
BR	FE(Pr)	OK	√ (sève)	√ (caramel)	√
BR	EF(Pr)	√R1	√R1 (sève, caramélisé)	√R1 (sève)	√R1
B	FE(Pr)	√	√R4 (antimousse)	√R4 (antimousse)	√R4
B	EF(Pr)	√R1	√R1 (caramélisé)	√R1 (sève)	√R1

4.5 Evaluation de l'efficacité du bois barré

Les essais réalisés avec le bois barré n'ont pas été concluants. Seule la condition FE(Pr) a été testée. Durant le traitement, les blocs de bois de certaines casseroles ont été submergés par la mousse et ce malgré le remplacement par des blocs neufs à quelques reprises. L'essai a été arrêté suite au débordement de certaines casseroles. Lors du nettoyage, des résidus inhabituels ont été observés au fond des casseroles dont la mousse a été en contact avec les blocs de bois. Il est possible que des morceaux d'écorce se soient détachés sous l'effet de la chaleur et de l'humidité. Comme cette technique s'est avérée inefficace pour le contrôle de la mousse, il a été décidé de ne pas procéder à l'essai EF(Pr) afin de limiter les risques de bris sur l'évaporateur pilote.

5) VALIDATION EN ENTREPRISES

Les résultats obtenus au cours des travaux pilotes ont permis de sélectionner deux produits antimoussants intéressants : J-305 IP Sans OGM et Foam Blast ORG 40 (Section 4). Des tests doivent cependant être réalisés en entreprises afin de valider leur efficacité en situation réelle d'utilisation. À l'origine c'est le Foam Blast ORG40 un produit antimoussant pouvant être utilisé en production biologique, qui devait être testé. Comme les essais réalisés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER ont démontré que ce type d'antimousse pouvait engendrer un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ dans le sirop produit, il a été décidé de ne pas le tester en industrie. L'huile de canola biologique, plus communément utilisée en acériculture biologique et ayant démontré des performances similaires au Foam Blast ORG40 en productions pilotes a donc été sélectionnée pour les essais à titre comparatif. Les tests ont été effectués chez huit entreprises acéricoles réparties dans quatre régions du Québec. Les deux types d'antimousses à l'étude ont ainsi été testés dans chaque région à raison d'un antimousse par entreprise.

Ce volet des travaux a été réalisé dans le cadre d'un projet séparé et a fait l'objet d'un rapport complémentaire détaillé (Rapport 4010170-FIN-0930) qui a été déposé au MAPAQ en septembre 2016. Ces travaux ont pu être réalisés grâce à l'aide financière du MAPAQ issue du Programme d'appui au développement de l'Agriculture et de l'agroalimentaire en région, mesure 4051 (Dossier no. 4051-1516-009).

CONCLUSIONS

Une méthode de moussage de la sève en laboratoire a été développée lors de ces travaux. Cette méthode s'est avérée être répétable et apte à simuler les conditions réelles de moussage rencontrées en acériculture. Elle peut permettre la comparaison de plusieurs produits antimoussants en peu de temps et de faire un premier dépistage ou «*screening*» à petite échelle. Les travaux réalisés dans le but de développer une méthode standardisée d'évaluation à l'aide d'une solution étalon permettant de s'affranchir de travailler directement dans la sève, n'ont pas été concluants. En effet, la solution étalon de sodium dodécyl sulfate 5 g/l, communément utilisée dans la littérature dans ce genre de méthode, ne reflète pas bien le comportement de la sève. En effet, le type de mousse formée dans ce système ne permet pas de simuler adéquatement la mousse produite à partir de concentré de sève. La composition des matrices ainsi que les caractéristiques des mousses formées dans ces deux systèmes sont probablement trop différentes. Des travaux supplémentaires seraient donc nécessaires pour rendre cette méthode plus représentative des phénomènes de moussage rencontrés dans la sève. Une façon simple par ailleurs, de standardiser la méthode de moussage de la sève serait, à défaut de pouvoir toujours travailler à partir de la même sève, d'identifier un produit antimousse comme produit de référence. Son utilisation comme standard interne permettrait peut-être d'uniformiser les résultats obtenus dans des sèves différentes.

La plupart des 23 produits antimoussants testés grâce à la méthode de moussage de la sève en laboratoire, ont présenté une bonne efficacité pour détruire la mousse. Les résultats ont démontré que le Atmos 300K et le Aldo HMS, traditionnellement utilisés en acériculture, sont parmi les plus efficaces. Par contre, l'efficacité antimoussante des huiles végétales biologiques est faible mis à part peut-être pour l'huile de canola. Les huiles végétales ne sont pas des antimousses et lorsqu'elles sont utilisées comme tel, une quantité plus importante doit être utilisée pour atteindre de bons résultats. Les produits biologiques commerciaux, dérivés des mêmes huiles végétales, font un peu meilleure figure avec des temps de réaction plus courts. Ces derniers seraient donc des produits de remplacement de choix pour l'industrie acéricole biologique.

Parmi les antimousses testés, le Foam Blast ORG 40 (biologique) et le J-305 IP Sans OGM (non biologique) ont été sélectionnés et testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER pour

valider leur potentiel en production et vérifier leur impact sur le goût du sirop produit. Les résultats obtenus ont démontré que ceux-ci se sont comportés de façon similaire aux produits de référence traditionnellement utilisés en acériculture, soit l'huile de canola biologique et le Atmos 300K. Il a été également démontré que l'efficacité des antimousses biologiques (huile de canola et Foam Blast ORG 40) est généralement moins bonne. La composition des produits antimoussants certifiés biologiques est assez proche de celle des huiles végétales ce qui peut expliquer la similitude des comportements antimoussants. Aucun effet particulier n'a été observé sur les propriétés physicochimiques du sirop d'érable produit lors des essais. La saveur n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation des différents antimousses sauf dans le cas du Foam Blast ORG 40. Lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr), où la chaleur est plus intense sur les plats, cet antimousse a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Les résultats obtenus ont donc permis de démontrer qu'il est possible de contrôler le niveau de la mousse en utilisant un produit antimoussant adéquat mais que les conditions de chauffage ont un impact important sur le nombre d'interventions et conséquemment sur la quantité utilisée. Ainsi, au delà du choix d'un type de produit antimoussant adéquat et performant, ces observations démontrent que son mode d'utilisation dépendra des conditions de procédé utilisées. Les antimousses Organic 3000 et 3300 (Magrabar Chemical Corporation) dérivés de l'huile de soya, pourraient être des alternatives au Foam Blast ORG 40 intéressantes pour le secteur acéricole biologique et qui mériteraient d'être testées. Les essais réalisés avec le bois barré n'ont pas été concluants. Durant le test, les blocs de bois ont été rapidement submergés par la mousse et le débordement de certaines casseroles n'a pu être évité.

Les moyens mécaniques étudiés pour contrôler la mousse étaient la vaporisation d'eau, l'application d'un jet d'air comprimé et l'utilisation d'un dispositif mécanique rotatif. Leur évaluation a été réalisée en utilisant la méthode de moussage de la sève en laboratoire. Chaque méthode a été utilisée en mode préventif (dès le début du chauffage de la matrice) et/ou réactif (lorsque le niveau de mousse prédéterminé était atteint). En général l'efficacité de ces méthodes est beaucoup moins bonne que l'ajout d'antimousses. Chaque méthode a présenté une capacité relative à contrôler la mousse mais les effets sont temporaires puisque la mousse se reforme une fois le traitement arrêté. La vaporisation d'eau en surface est une technique mal adaptée pour une utilisation en acériculture. La quantité d'eau à ajouter lors des moussages excessifs pourrait ralentir de façon marquée l'efficacité de l'évaporateur et nuire à la production du sirop d'érable. L'application d'un jet d'air comprimé peut présenter un certain potentiel pour une utilisation en acériculture malgré un certain ralentissement du procédé probablement lié à la température de

l'air diffusé. Les enjeux reliés à l'utilisation de cette technique seraient de s'assurer de la qualité de l'air utilisé et de vérifier qu'il n'y ait pas d'effet d'oxydation de la sève suite au contact de l'oxygène de l'air propulsé sur la mousse. L'utilisation d'un dispositif mécanique rotatif semble peu efficace et pourrait difficilement être adapté pour une utilisation dans les casseroles d'un évaporateur.

Comme le test ultime permettant d'évaluer l'efficacité d'un antimousse est un essai réel sur le terrain, des tests doivent être réalisés en entreprises afin de valider leur efficacité en situation réelle d'utilisation. Ces tests ont été effectués et font l'objet du rapport : *4010170-Rapport final Centre ACER (no. 4051-1516-009)*.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements aux équipes du Centre ACER et d'ACER Division Inspection Inc. qui, comme toujours, ont fait un travail assidu et de qualité. Merci à Francine Caron, productrice acéricole de Pohénégamook, de nous avoir donné des échantillons de bois barré ainsi que d'avoir généreusement partagé sa procédure d'utilisation. Un merci spécial à Raymond Bernier, conseillers acéricoles du MAPAQ, pour sa contribution en temps et en expertise au projet.

Le Centre ACER tient à souligner le soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation du Québec.

DOCUMENTS DE REFERENCE

- AFNOR. 1983. Agents de surface - Détermination de l'aptitude au moussage (pouvoir moussant), du pouvoir antimoussant et de la stabilité de la mousse : méthode par barbotage. Norme expérimentale T73-413.
- Agence canadienne d'inspection des aliments. 2016. Liste de référence pour les matériaux de construction, les matériaux d'emballage, et les produits chimiques non alimentaires acceptés .
<http://www.inspection.gc.ca/active/scripts/fssa/reference/reference.asp?lang=f>
- Agence canadienne d'inspection des aliments. 2016. Liste d'ingrédients et allergènes.
<http://www.inspection.gc.ca/aliments/etiquetage/l-etiquetage-des-aliments-pour-l-industrie/liste-d-ingredients-et-allergene/fra/1383612857522/1383612932341?chap=0>
- Batungwanayo A., Jou B., Boudreault G. et Lavoie J. 2010. Évaporateur électrique à l'échelle pilote. Procédure d'utilisation – SN-MTG-MINIEV-3.0 (REV 2010/04). 43 p.
- Bellegarde, J.P. et Rouillard, P. 2015. Dossier économique-Statistiques acéricoles 2015. Fédération des producteurs acéricoles du Québec. AGA FPAQ – 19/11/2015.
- Benouissi, A. 2007. Auxiliaires technologiques utilisés en sucrerie de betterave et qualité du sucre blanc. Université de Reims Champagne-Ardenne, Thèse de doctorat, 239 pages.
- Bensouissi. 2007. Auxiliaires technologiques utilisés en sucrerie de betterave et qualité du sucre blanc. Centre de recherche en physioco-chimie et biotechnologie agroindustrielle : Europol-Agro., Université de Reims Champagne-Ardenne.
- Bluestar Silicones. SILCOLAPSE® , The art of foam control.
https://www.bluestarsilicones.com/EN/Our_offer/KEC/ListInstance_Brochure_Title/Antifoam_Brochure.pdf
- Bureau de Normalisation du Québec. 2001. Norme Sirop d'érable – Caractéristiques et méthodes d'essais. 8280-005/2001. 35 p.
- Centre ACER. 2004. Gonflement dans le casseroles d'évaporation, Section 7.0-Rubrique 900 du. Cahier de transfert technologique en acériculture, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 656 pages.
- Chapeskie D. and Cui S. 2008. Evaluation of effectiveness of defoamers for maple syrup production. OMPSA Information Days.
- Cuvelier, M.E. et Maillard, M.N. 2012. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL, 19(2), p.125-132. (DOI 10.1684/OCL.2012.0440).

- Deshpande, N.S., Barigou, B. 1999. Performance characteristics of novel mechanical foam breakers in a stirred tank reactor, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 74, 979-987.
- Ecocert Canada. 2009. Cahier des normes acéricoles en agriculture biologiques.
- Fédération des producteurs acéricoles du Québec. 2016. Vérification du sirop d'érable en vrac : http://fpaq.ca/wp-content/uploads/2016/03/FPAQ_DepliantACER_Infographics_EPR02.pdf
- Garrett, P.R. 2013. The science of defoaming : Theory, experiment and applications. Surfactant science series, CRC Press, Florida. 598 pp.
- Hein, W., Rösner, G. et Pollach, G. 2006. Saving in processing aids: developments withn AGRANA/zuckerforschung Tulln, Proceedings of Sugar Processing Research Institute, p 128-137.
- Martin N., Lepage M.-J. et Cournoyer M. 2010. Ce qu'il faut savoir sur le contrôle du gonflement dans les casseroles par les antimousses. Journées acéricoles 2010.
- Martin, N. 2011. Ce qu'il faut savoir sur le contrôle du gonflement dans les casseroles par les antimousses. Fédération des producteurs acéricoles du Québec, Info-Sirop Hiver 2011, p.6-7.
- Owen, M. J. 2001. Antifoaming Agents In : *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. 1. John Wiley & Sons, Inc., DOI: 10.1002/0471440264.
- Sabik , H., Fortin, J. and Martin, N. 2009. Identification of Volatile Compounds in maple syrup using headspace Solid-Phase microextraction with gas Chromatography-Mass Spectrometry. Chp. 12. *In Chromatography types, techniques and Methods*. Thoma J. Quintin Ed. Nova Science Publishers, Inc. p. 417-427.
- Sabik, H., Fortin, J. and Martin, N. 2012. Identification of pyrazine derivatives in a typical maple syrup using headspacesolid-phase microextraction with gas chromatography–mass spectrometry. *Food Chemistry*, 133, pp. 1006-1010.
- Santé Canada. 2014. Politique sur la différenciation des additifs alimentaires des agents technologiques. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/pubs/policy_fa-pa-fra.php
- Santé Canada. 2016. Aliments et nutrition – Additifs alimentaires et les agents technologiques alimentaires. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/addit/index-fra.php>
- Speight, J. 2005. Viscosity and Surface Tension. Chp. 2 In : *Lange's Handbook of Chemistry*, Sixteenth Edition, McGraw-Hill Education.
- Treiner, C. 2005. Mousses et interfaces : La mousse. *Découverte*, No. 332, Novembre.p. 22-31.
- Vardar-Sukan, F. 1992. Foaming and its control in bioprocesses. In: *Recent Advances in Biotechnology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, p: 113-146.



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

Siège social et station expérimentale
142, rang Lainesse
Saint-Norbert d'Arthabaska, QC
G0P 1B0
Tél. 819 369-4000
Fax. 819 369-9589

RAPPORT FINAL

OPTIMISATION DU CONTRÔLE DU MOUSSAGE DANS LES CASSEROLES DE L'ÉVAPORATEUR EN PRODUCTION ACÉRICOLE

Antimousses biologiques

Par : Nathalie Martin, Ph.D. chimiste
Centre ACER
3600 boul. Casavant Ouest
Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 8E3

Présenté à : Raymond Bernier, Expert de références en acériculture
Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et de l'Alimentation
Centre de services agricoles de Gatineau
Galeries de Buckingham, 999 rue Dollard
Gatineau (Québec) J8L 3E6

Québec 

Ce projet a été réalisé pour le compte de la Table sectorielle acéricole du Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	4
MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	5
ÉQUIPE DE RECHERCHE	6
BUT ET OBJECTIFS GENERAUX	7
PRODUCTIONS PILOTES	8
CONCLUSIONS	22
REMERCIEMENTS	23
DOCUMENTS DE REFERENCE	24

RÉSUMÉ

Le but de ces travaux, complémentaires à ceux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2., était de vérifier l'efficacité de deux nouveaux antimousses biologiques et d'évaluer leur impact sur la qualité du sirop produit. Les performances des antimousses Magrabar® Organic 3000 et Magrabar® Organic 3300, des produits biologiques de grade alimentaire spécifiquement conçus et vendus pour le contrôle de la mousse; ont donc été comparées à celles du Foam Blast ORG 40 et de l'huile de canola biologique. Les productions de sirop d'érable ont été réalisées à l'aide de l'évaporateur pilote du Centre ACER dans les mêmes conditions d'opération que pour les travaux précédents. Seule la condition FE(Pr) a été testée ici, puisque c'est celle qui a mené à la production d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ dans le sirop d'érable produit avec le Foam Blast ORG 40, un antimousse biologique. Les résultats obtenus ont démontré que les quatre antimousses testés se sont comportés de façon similaire, i.e. que le nombre d'interventions dans la section des casseroles à fond plat a été approximativement le même. On a encore une fois pu vérifier que l'efficacité des antimousses biologiques est généralement moins bonne que les produits non biologiques (Atmos 300K ou J-305 IP Sans OGM). La composition des produits antimoussants certifiés biologiques est assez proche de celle des huiles végétales ce qui peut expliquer la similitude des comportements antimoussants. À l'instar des autres produits testés, aucun effet particulier n'a été observé sur les propriétés physicochimiques du sirop d'érable produit lors des essais avec les antimousses Organic 3000 et Organic 3300. La saveur du sirop produit n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation de ces deux antimousses contrairement au Foam Blast ORG 40. Lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr), où la chaleur est plus intense sur les plats, cet antimousse a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Les résultats obtenus ont donc permis de démontrer qu'il est possible de contrôler le niveau de la mousse en utilisant un produit antimoussant biologique tel que le Magrabar® Organic 3000 et le Magrabar® Organic 3300 sans causer de problème au niveau de la qualité du sirop produit dans les conditions des tests. Ces deux antimousses pourraient donc être des alternatives intéressantes pour le secteur de la production acéricole biologique.

MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'utilisation des antimousses en tant qu'agents technologiques alimentaires est présentement tolérée par l'ACIA et Santé Canada en acériculture. Comme cette pratique n'est pas véritablement encadrée à l'heure actuelle dans l'industrie, elle peut entraîner certains problèmes de qualité et par conséquent, une perte de la valeur commerciale du sirop d'érable produit. C'est dans ce contexte que le Centre ACER a réalisé récemment un projet de recherche visant à optimiser le contrôle du moussage dans les casseroles de l'évaporateur en production acéricole à l'aide d'agents antimoussants plus performants et/ou de méthodes alternatives (Martin et al., 2017). Parmi les produits antimoussants testés en laboratoire, le Foam Blast ORG 40 (biologique) et le J-305 IP Sans OGM avaient été identifiés comme antimousses potentiels étant donné leur bonne performance lors de ces essais. Ces antimousses ont ensuite été testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER sous deux conditions de traitement, pour valider leur efficacité en production et vérifier leur impact sur la qualité du sirop produit. Ils ont alors été comparés aux produits traditionnellement utilisés en acériculture et ayant présenté la meilleure efficacité antimoussante de leur catégorie respective soit, l'huile de canola biologique et le Atmos 300K. Les résultats obtenus ont permis de voir que les antimousses à l'essai se sont comportés de façon similaire à leur produit de référence et que l'efficacité des antimousses biologiques (huile de canola et Foam Blast ORG 40) est en général moins bonne. Aucun effet particulier n'a été observé sur les propriétés physicochimiques du sirop d'érable produit lors des essais. La saveur n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation des différents antimousses sauf dans le cas du Foam Blast ORG 40. Lorsqu'utilisé dans une condition particulière de production, cet antimousse a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés).

Les antimousses Magrabar® Organic 3000 et Magrabar® Organic 3300, dérivés de l'huile de soya, ont donc été identifiés comme alternatives intéressantes au Foam Blast ORG 40 pour le secteur acéricole biologique. En effet, ces antimousses avaient bien performé lors des essais réalisés en laboratoire. Ils doivent maintenant être testés en production dans les mêmes conditions expérimentales que les autres produits antimoussants afin d'en comparer l'efficacité et de mesurer l'impact sur la qualité du sirop produit. Les travaux présentés ici complètent donc ceux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

La responsabilité scientifique des projets de recherche sur les antimousses a été confiée au Centre ACER dont l'un de ses chercheurs a été désigné pour la direction des travaux de recherche, soit Nathalie Martin. Ce chercheur a été principalement assisté de Carmen Charron et de Mélissa Cournoyer, assistantes de recherche, pour les travaux exécutés en laboratoire, ainsi que de Jessica Houde, assistante de recherche, et Stéphane Corriveau, technicien, pour les travaux réalisés en usine pilote. Par ailleurs, l'équipe des Services analytiques du Centre ACER, dirigée par Mustapha Sadiki, a procédé à l'analyse du profil des arômes volatils des sirops pilotes produits. Le projet a également mis à contribution l'équipe d'ACER Division Inspection inc. dont les vérificateurs de qualité ont procédé à l'évaluation de la qualité organoleptique des sirops pilotes produits. Les travaux ont été exécutés avec l'appui et l'expertise des conseillers acéricoles du MAPAQ, sous la supervision de Raymond Bernier, Ingénieur, Expert de référence en acériculture du MAPAQ.

BUT ET OBJECTIFS GENERAUX

Le but de ces travaux, complémentaires à ceux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2. était de vérifier l'efficacité de deux nouveaux antimousses biologiques et d'évaluer leur impact sur la qualité du sirop produit, en :

- Réalisant des productions de sirop d'érable à l'aide de l'évaporateur pilote du Centre ACER dans les mêmes conditions d'opération que pour les travaux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2;
- Utilisant les antimousses Magrabar® Organic 3000 et Magrabar® Organic 3300 pour contrôler le niveau de la mousse;
- Comparant l'efficacité de ces antimousses à celle du Foam Blast ORG 40 et de l'huile de canola biologique.

PRODUCTIONS PILOTES

Les deux antimousses biologiques proposés sont le Magrabar® Organic 3000 et le Magrabar® Organic 3300 (Magrabar, LLC A Münzing Company). Ces deux antimousses liquides sont des agents antimoussants/destructeurs de mousse dérivés de l'huile de soya biologique et particulièrement adaptés pour une utilisation dans la production d'aliments biologiques riches en sucre et en protéines. À l'instar des agents antimoussants modernes, ces produits sont des formulations de plusieurs ingrédients dont chacun joue un rôle important dans la destruction de la mousse (Pelton, 2002). Le Magrabar® Organic 3000 (OR30) et le Magrabar® Organic 3300 (OR33) font partie de la liste des produits acceptés par le Washington State Department of Agriculture (National Organic Program) pour utilisation dans la préparation des aliments biologiques. Bien que produits à partir d'huile de soya, une source d'allergène alimentaire prioritaire, ces agents antimoussants sont considérés sans allergènes. En effet, les huiles hautement raffinées sont débarrassées des protéines allergènes et ne sont donc plus susceptibles de comporter un risque pour la santé des personnes allergiques au soya (Santé Canada, 2013).

Les antimousses OR30 et OR33 ont été utilisés pour le contrôle de la mousse dans l'évaporateur pilote du Centre ACER et ont été comparés au Foam Blast ORG 40 (Emerald Performance Materials) et à l'huile de canola biologique (première pression à froid, vierge; La Maison d'Orphée). Le but de ce travail était de valider la performance de ces produits antimoussants en situation réelle de production de sirop d'érable et de vérifier leur effet sur la qualité du produit fini. L'utilisation de l'évaporateur pilote du Centre ACER présente différents avantages. L'équipement permet de traiter de petits volumes, ce qui permet de faire tous les essais à partir d'un même lot de sève. Les conditions de production (température de chauffage appliquée sur les casseroles, hauteur de liquide dans les casseroles, etc.) sont modulables et bien régulées, ce qui permet de s'assurer que tous les essais sont réalisés dans des conditions similaires. L'appareil est équipé d'un système d'acquisition de données, qui permet de récolter une multitude d'informations utiles et précises pour chaque production.

1. Concentré de sève utilisé

La sève utilisé pour ces essais provient du même lot que celle utilisée pour les travaux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2. soit YP ou Matrice 1 (Martin, 2017). Celle-ci avait cependant été concentrée à environ 20 °Brix avant d'être congelée. Cette sève concentrée a été récoltée à la fin de la saison de production 2010 chez une entreprise acéricole située près de Saint-Norbert d'Arthabaska. Elle a été conservée à -18°C jusqu'au moment des productions pilotes. Le volume de concentré de sève nécessaire à chaque production a été décongelé (~ 15 à 20 litres) et dilué à 8 °Brix avec l'eau du puits de Saint-Norbert préalablement aux essais, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à ceux des productions présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2. Des productions réalisées à l'aide du Foam Blast ORG 40 et de l'huile de canola biologique ont été reprises ici afin de valider qu'il n'y a pas eu d'impact lié à la concentration/dilution de l'eau d'érable YP.

2. Méthode de production du sirop d'érable

2.1 Unité de décongélation

La décongélation du concentré de sève à 20 °Brix destiné à la production à l'échelle pilote, a été effectuée dans un système de décongélation pilote développé au Centre ACER (Figure 1). Le protocole de décongélation en vigueur au Centre ACER a été suivi. Ce système est composé d'un bassin d'eau froide, d'un serpentin de refroidissement et d'une pompe de recirculation d'eau.



Figure 1. *Système de décongélation à l'échelle pilote*

Pendant la durée de la décongélation (24 heures), un système de contrôle a assuré une température moyenne de l'eau froide du bassin entre 4 et 8 °C, ce qui a permis de maintenir, en tout temps, le concentré de sève en décongélation à une température inférieure à 8 °C. Une fois décongelé, le concentré de sève a été dilué à 8 °Brix et pré-filtré à l'aide d'un bonnet de filtration en polyester # 8 à 5 microns. Ce type de filtre est couramment utilisé dans les érablières pour filtrer la sève et le concentré de sève.

2.2 Unité d'évaporation à l'échelle pilote

Les essais d'évaporation du concentré de sève YP ont été réalisés dans l'évaporateur électrique à l'échelle pilote EP-2 qui a été développé au Centre ACER (Figure 2). Cet équipement possédant une surface d'évaporation totale de 2,70 pi², permet de traiter jusqu'à 40 litres de concentré par lot de production. Il est composé de trois casseroles à plis et trois casseroles à fond plat et fonctionne sur le même principe physique que les évaporateurs industriels, soit par différence de niveaux. Un système de contrôle et d'acquisition des données assure le suivi des paramètres de procédé tels que la température dans les chambres de chauffage et les niveaux de liquide à différents emplacements dans l'équipement. L'acquisition de la température d'ébullition dans chacune des casseroles est aussi faite par ce système.

Le sirop d'érable a été produit en suivant la procédure d'utilisation de l'évaporateur EP-2. La hauteur du liquide a été fixée à 50 mm dans la section des plis et des plats. Une seule répétition a été réalisée par type de traitement (type d'antimousse x condition d'évaporation). Pour tous les

sirops produits un intervalle pour la teneur en extraits secs solubles de 66,0 à 67,5 °Brix à 20 °C a été ciblé (BNQ, 2001). À des fins de contrôle de procédé, le suivi de certains paramètres de production a été effectué afin de caractériser la nature de la matière première à traiter et les propriétés du produit fini. Ces analyses ont été réalisées en suivant les méthodes en vigueur au Centre ACER pour ce suivi particulier.



Figure 2. Évaporateur électrique pilote EP-2 utilisé pour la production du sirop d'érable

2.3 Unité de filtration à l'échelle pilote

La filtration du sirop d'érable a été réalisée dans un filtre à plaque vertical à l'échelle pilote qui a été développé au Centre ACER (Figure 3). Cet équipement est composé d'un cylindre vertical et d'une plaque ayant une surface de filtration de 0,18 pied². Un papier support et de la terre de diatomée sont utilisés pour former le lit de filtration. Le sirop est filtré grâce à l'action de la pression de l'azote qui est exercée à l'alimentation de la plaque de filtration. Le sirop filtré est collecté à la base de la plaque. Le sirop d'érable a été filtré en suivant la procédure d'utilisation de l'unité de filtration.



Figure 3 : *Unité de filtration à l'échelle pilote utilisée pour la production du sirop d'érable*

2.4 Paramètres de production

Les données du sondage réalisé par le Centre ACER en 2008-2009 (Martin, 2011) indiquaient que 42 % des entreprises avaient des problèmes de moussage au niveau des casseroles à fond plat et 58% a niveau des casseroles à plis. Afin de simuler ces situations, deux conditions de traitement, EF(Pr) et FE(Pr), ont été appliquées dans l'évaporateur pilote dans le cas des travaux présentés dans le Rapport 4010117-FIN-1102 V.2. Seule la condition FE(Pr) a été testée ici puisque c'est celle qui a mené à la production d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ dans le sirop d'érable produit avec le Foam Blast ORG 40 (Martin, 2017).

- FE(Pr) : Préchauffage à 80 °C (Pr), température de traitement faible (F) dans les plis (taux d'évaporation à l'eau potable de 0,18 gal. imp./pi²h) et température de traitement élevée (E) dans les plats (taux d'évaporation à l'eau potable de 1,59 gal. imp./pi²h) pour favoriser le moussage dans les plats.

La mousse devait atteindre une hauteur cible maximale prédéterminée de 100 mm au dessus du plis dans les casseroles à plis et de 80 mm à partir du fond de la casserole dans les casseroles à fond plat avant que l'antimousse ne soit ajouté. Un total de 4 productions ont ainsi été réalisées entre le 8 et le 13 décembre 2016.

En plus des paramètres de procédé habituels, un suivi de l'ajout d'antimousse (nombre d'interventions) et de la hauteur de la mousse dans les casseroles de l'évaporateur a été réalisé

lors des essais. L'antimousse était ajouté à l'aide d'une pipette de transfert à la sortie de la casserole lorsque le volume de celle-ci atteignait la hauteur cible pour chaque type de casserole. La qualité sensorielle (odeur) des produits antimoussants a été évaluée à l'ouverture des contenants et un suivi a été effectué au dessus des casseroles de l'évaporateur tout au long de la production. La qualité de l'interaction entre les produits testés et la mousse a été appréciée visuellement tout au long du procédé.

3. Analyse des échantillons

L'analyse des propriétés physicochimiques des échantillons de sirop d'érable produits a été réalisée selon les méthodes en vigueur au Centre ACER (Tableau 1). L'évaluation de la qualité organoleptique a été réalisée par ACER Division Inspection inc. Pour ce faire, les échantillons ont été soumis à un panel de trois vérificateurs de qualité experts en évaluation organoleptique du sirop d'érable et habilités à dépister les défauts de saveur selon les standards et modalités de l'industrie acéricole québécoise (FPAQ, 2017). L'analyse a été effectuée à l'aveugle, en mode individuel dans un premier temps et une cote consensuelle a été attribuée par la suite, après discussion.

Tableau 1 – Analyses effectuées sur les échantillons de sirop d'érable produits

Paramètre mesuré	Méthode d'analyse
pH (unité de pH)	pH mètre Exttech, modèle Extik pH 100
Concentration solides solubles totaux (degré Brix)	Réfractomètre ATAGO, Modèle Pal-maple 0-85%
Conductivité électrique (25 °C, $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimètre Hannah, Modèle HI 98311
Transmission de la lumière à 560 nm (%)	Spectrophotomètre Unico W/RS 232, Modèle 1100RS

4. Evaluation de l'efficacité des antimousses

Pour des fins de comparaison, certains résultats obtenus dans les travaux précédents (Martin, 2017) ont été rapportés dans cette section du rapport. La Figure 4 (a et b) illustre le comportement de la mousse dans chaque casserole de l'évaporateur pilote durant les pré-tests. L'intensité de chauffage élevée favorise le moussage, selon l'endroit où elle est appliquée. En effet, l'intensité de chauffage plus élevée sur les plis favorise le moussage dans les casseroles à plis (EF; Figure 4a), tandis que le moussage est plus important dans les plats lorsque le chauffage y est plus intense (FE; Figure 4b). Ces essais nous ont permis de voir que la sève

avait un potentiel «moussant» et que les conditions de traitement sélectionnées étaient adéquates pour les essais visés.

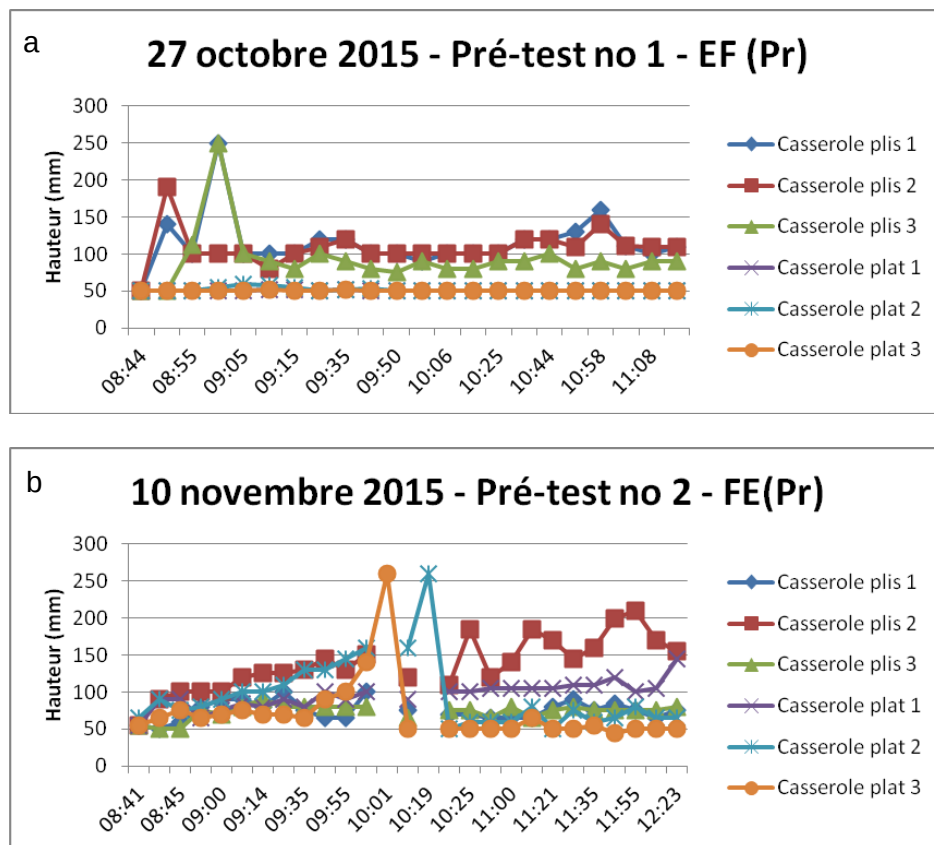


Figure 4. Suivi de la montée de la mousse dans les casseroles de l'évaporateur pilote en fonction du temps et des conditions de traitements de la sève a) Pré-test 1 EF(Pr) et b) Pré-test 2 FE (Pr)

Pour faciliter le suivi des résultats présentés dans cette section du rapport, le Tableau 2 rappelle les acronymes utilisés pour les différents antimousses testés. On peut voir à la Figure 5 que les essais réalisés avec la condition FE présentent un taux global de traitement plus faible en général que ceux réalisés sous la condition EF. Cet effet se fait évidemment ressentir au niveau du débit de sirop qui est plus faible avec la condition FE (Figure 6). Ces conditions auront un impact sur le moussage qui risque alors d'être plus élevé là où le chauffage de la sève est le plus intense. Le type d'antimousse utilisé lors des essais ne semble pas avoir d'impact particulier sur ces deux paramètres.

Tableau 2 Acronyme des différents antimousses utilisés pour les essais

Acronyme ¹	Antimousse correspondant
CR	Conventionnel de référence (Atmos 300K)
C	Conventionnel (J-305 IP Sans GMO)
BR et CA (même antimousse)	Biologique de référence (Canola biologique)
B et FB (même antimousse)	Biologique (Foam Blast ORG 40)
OR30	Biologique (Organic 3000)
OR33	Biologique (Organic 3300)

1. Les codes identifiés en rouge sont ceux des productions supplémentaires présentées dans ce rapport

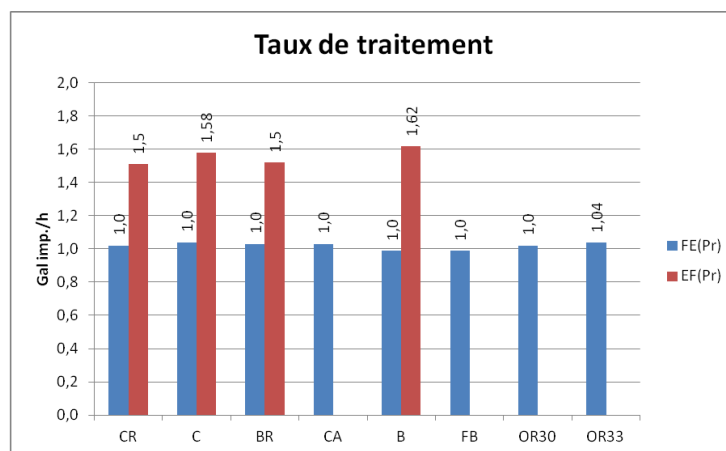


Figure 5 Suivi du taux de traitement global de la sève dans l'évaporateur pilote en fonction du type d'antimousse utilisé et des conditions de traitements de la sève

Le Tableau 3 présente le portrait d'utilisation des antimousses lors des essais. L'ajout d'antimousse y est présenté selon le nombre d'interventions dans les casseroles à plis et les casseroles à fond plat pour chaque essai. On peut voir d'abord que l'ajout d'antimousse était nécessaire seulement dans les sections de l'évaporateur où l'intensité de chauffage était élevée (E). On remarque également que lorsque la condition appliquée à la sève était celle dont le taux de traitement global est le plus élevé, soit EF(Pr), le nombre d'interventions était également plus important. Le nombre d'interventions plus élevé dans les conditions élevées sur les plis semble indiquer que la sève mousse plus facilement lorsque la concentration dans la zone de transfert est plus élevée : 29,2 °Brix EF(Pr) comparativement à 14,1 °Brix FE(Pr).

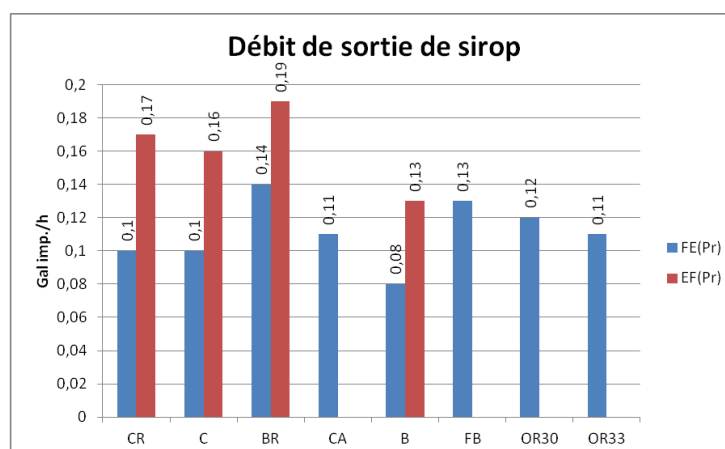


Figure 6. Suivi du débit de sortie du sirop d'érable dans l'évaporateur pilote en fonction du type d'antimousse utilisé et des conditions de traitements de la sève

Le chauffage plus intense au démarrage a permis au degré Brix d'évoluer plus rapidement, et donc d'engendrer un moussage plus intense dans les plis dans la condition EF(Pr).

De façon générale, les antimousses à l'essai se sont comportés de façon similaire au produit de référence de leur catégorie respective. On peut voir au Tableau 3 que le J-305 IP Sans GMO (C) permet un contrôle efficace de la mousse. La mousse descend rapidement et le nombre d'interventions est relativement limité. Des résultats très similaires ont été obtenus avec l'Atmos 300K qui est l'antimousse conventionnel de référence (CR) dans cette étude. Lorsqu'on observe le comportement des antimousses biologiques, on remarque que leur efficacité est généralement moins bonne. Le contrôle du moussage avec le Foam Blast ORG 40 (B) a été plus difficile à faire surtout pour la condition EF où le nombre et la fréquence des interventions (23) ont été plus importants. Le comportement du Foam Blast ORG 40 a été très similaire à celui de l'huile de canola biologique (BR) qui était l'antimousse biologique de référence dans cette étude. Les antimousses Organic 3000 et 3300 se sont également comportés de façon similaire aux autres antimousses biologiques dans la condition FE.

La Figure 7 présente les propriétés physicochimiques du sirop produit à la suite des essais. Aucune tendance particulière sur la teneur en solides solubles totaux, le pH, la conductivité électrique et la transmittance à 560 nm ne semble se démarquer en fonction du type d'antimousse utilisé.

Tableau 3 – Utilisation des antimousses selon l'intensité de chauffage lors des productions pilotes

Antimousse utilisé ¹		Nbre d'interventions dans les plis	Nbre d'interventions dans les plats	Commentaires particuliers
Intensité de chauffage (Plis-Plat) : EF(Pr)				
CR	Atmos 300K	7	0	Mousse descend assez rapidement
C	J-305 IP	6	0	La mousse descend très rapidement au contact de l'antimousse
BR	Huile de canola	26	0	Ajout d'anti-mousse environ aux 15 minutes, mais 1 goutte à la fois suffit
B	Foam Blast ORG 40	23	0	Ajout d'antimousse environ aux 20-30 minutes, mais il faut en ajouter plus à la fois. La mousse ne descend pas avec seulement une goutte. En général, il faut mettre minimum 2 gouttes pour que ça commence à diminuer
Intensité de chauffage (Plis-Plat) : FE(Pr)				
CR	Atmos 300K	0	2	Mousse descend assez rapidement
C	J-305 IP	0	3	La mousse descend très rapidement au contact de l'antimousse
BR	Huile de canola	0	6	1 goutte d'antimousse est suffisante pour faire diminuer la mousse
CA	Huile de canola	0	6	-
B	Foam Blast ORG 40	0	9	La mousse ne descend pas avec seulement une goutte. En général, il faut mettre minimum 2 gouttes pour que ça commence à diminuer
FB	Foam Blast ORG 40	0	8	-
OR30	Organic 3000	0	8	La casserole no. 6 est plus difficile à contrôler. Mousse beaucoup et souvent.
OR33	Organic 3300	0	9	La casserole no. 6 est plus difficile à contrôler. Mousse beaucoup et souvent. Coulées de sirop plus petites vers la fin.

1. Les codes identifiés en rouge sont ceux des productions supplémentaires présentées dans ce rapport

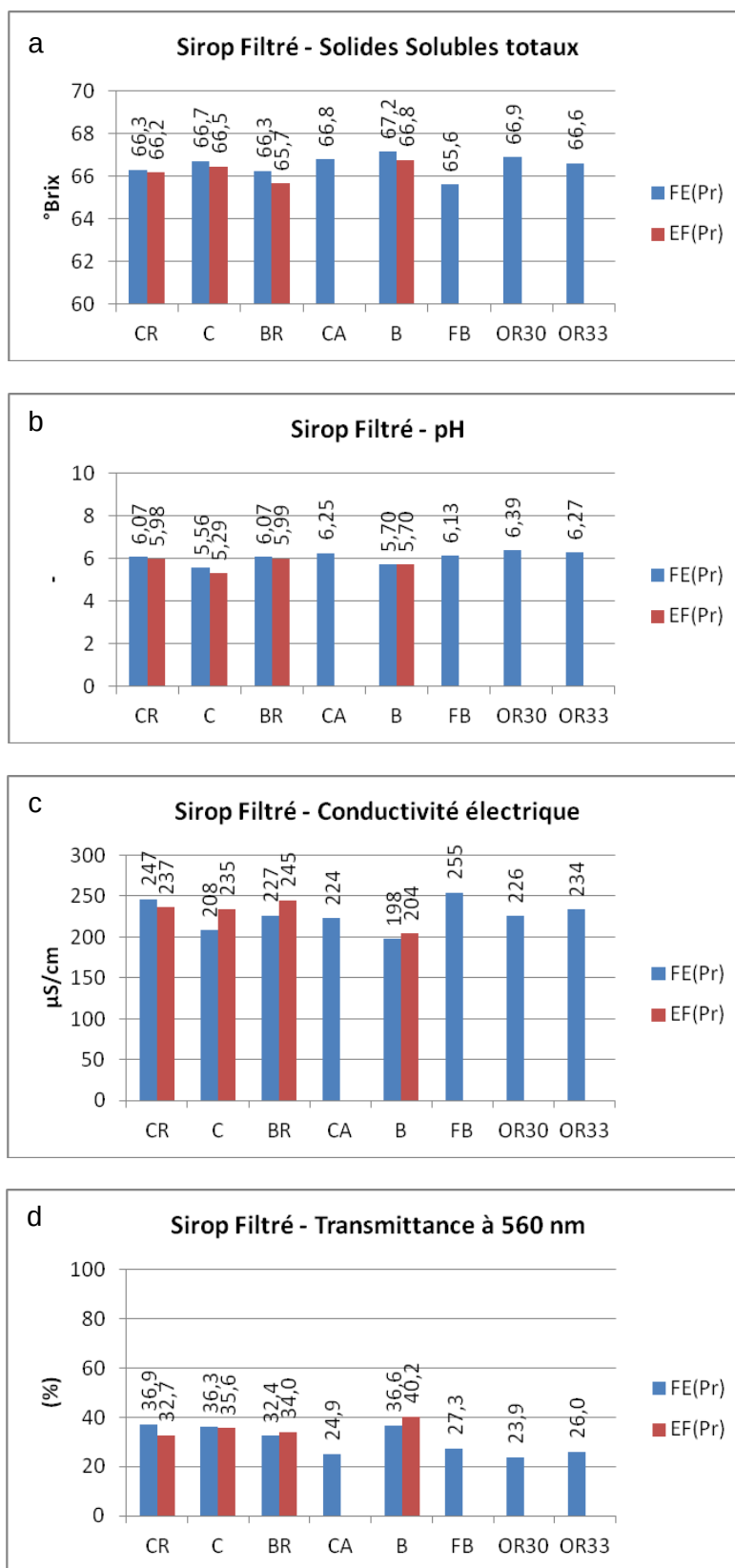


Figure 7. Propriétés physicochimiques des échantillons de sirop d'érable a) Solides solubles totaux b) pH c) Conductivité électrique et d) Transmittance à 560 nm

Le Tableau 4 présente les résultats de l'évaluation organoleptique des échantillons de sirop d'érable produits lors des essais. On remarque que la cote principalement utilisée par les vérificateurs de qualité pour catégoriser le goût des échantillons de sirop a été √R1. Cette cote signifie qu'une saveur et une odeur désagréables d'origine naturelle ont été détectées (sève). Ce type de défaut de saveur est fréquemment rencontré dans le sirop d'érable produit à partir de la sève récoltée vers la fin de la saison de production. On remarque au Tableau 4, que la saveur du sirop d'érable produit lors des essais n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation des différents antimousses sauf dans le cas du Foam Blast ORG 40. En effet, lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr), et ce à deux reprises (B et FB), celui-ci a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type √R4 (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Cet antimousse a, à l'origine, une forte odeur associée à celle de huile de lin et le fait que les interventions aient été presque toutes réalisées juste avant la sortie du sirop explique peut-être cet effet (Tableau 5).

Tableau 4. Résultats de l'évaluation organoleptique des échantillons de sirop produits

Antimousse utilisé ¹		Vérificateur 1	Vérificateur 2	Vérificateur 3	Consensus
Intensité de chauffage (Plis-Plat) : EF(Pr)					
CR	Atmos 300K	√ (sève)	√R1 (sève, métal)	√R1 (sève)	√R1
C	J-305 IP	√R1 (acide)	√ (sève)	√ (caramel)	√
BR	Huile de canola	√R1	√R1 (sève, caramélisé)	√R1 (sève)	√R1
B	Foam Blast ORG 40	√R1	√R1 (caramélisé)	√R1 (sève)	√R1
Intensité de chauffage (Plis-Plat) : FE(Pr)					
	Pré-test	√R1	√R1 (métal)	√R1 (sève)	√R1
CR	Atmos 300K	√R4 (métal)	√R1 (sève, un peu métal)	√R1 (sève début)	√R1
C	J-305 IP	√	√R1 (sève)	√ (caramel)	√
BR	Huile de canola	OK	√ (sève)	√ (caramel)	√
CA	Huile de canola	√ (sève brûlée)	√R1 (sève)	√ (caramel)	√
B	Foam Blast ORG 40	√	√R4 (antimousse)	√R4 (antimousse)	√R4
FB	Foam Blast ORG 40	√R1 (brûlé)	√ (caramel, antimousse?)	√R4 (antimousse, huile, brûlé)	√R1 (sève, léger antimousse)
OR30	Organic 3000	√R1 (sève, brûlé)	√ (caramel)	√ (caramel)	√ (caramel)
OR33	Organic 3300	√R1 (sève, brûlé)	√ (caramel, métal)	√R1 (sève)	√R1 (sève)

1. Les codes identifiés en rouge sont ceux des productions supplémentaires présentées dans ce rapport

Tableau 5. Nombre d'interventions dans les casseroles à fond plat

		Nombre d'interventions		
		Casserole 4	Casserole 5	Casserole 6
BR (FE)	Huile de canola	0	1	5
CA	Huile de canola	2	1	3
B(FE)	Foam Blast ORG 40	1	3	5
FB(FE)	Foam Blast ORG 40	3	1	4
OR30 (FE)	Organic 3000	2	1	5
OR33 (FE)	Organic 3300	2	1	6

1. Les codes identifiés en rouge sont ceux des productions supplémentaires présentées dans ce rapport

Malgré le fait que les interventions réalisées avec l'huile de canola (CA et BR) et les antimousses Organic 3000 (OR30) et 3300 (OR33) aient aussi été faites juste avant la sortie, on remarque que la saveur du sirop d'érable produit n'a pas été affectée de la même façon que lors de l'utilisation du Foam Blast ORG 40. L'huile de canola biologique vierge a donc fait bonne figure lors de ces tests pilotes et ce, malgré son arôme et son goût qui rappelle légèrement ceux du navet. Le fait d'avoir utilisé une huile fraîche et non oxydée et ce, en très petite quantité, a probablement permis d'éviter l'apparition de défauts de goût dans le sirop produit dans ces conditions particulières. Considérées comme des ingrédients, les huiles végétales entrent habituellement dans les préparations alimentaires et plus elles sont vierges, plus elles sont fragiles¹. Malgré le fait qu'elle peuvent avoir un effet sur la mousse, ces huiles ne sont pas aussi efficace qu'un véritable antimousse. Elles sont riches en acides gras mono- et polyinsaturés et, de ce fait, sont susceptibles au rancissement en présence d'oxygène. Elles se dégradent rapidement lorsqu'exposées à la chaleur, à la lumière et à l'air, et peuvent développer un goût âcre et une odeur désagréable (Cuvelier et al., 2012). Les essais réalisés en entreprises au printemps 2016 (Martin, 2016), avaient d'ailleurs démontré que l'huile de canola biologique pouvait parfois engendrer des problèmes de qualité dans le sirop produit. Son efficacité semblait diminuer au fur et à mesure du déroulement des tests et la mousse a même submergé les gobelets dans certaines conditions. Une odeur désagréable au dessus des casseroles a également été observée par certaines entreprises (végétal à l'odeur et au goût dans le réduit).

Selon leur fiche technique respective, les antimousses OR30 et OR33 présentent une odeur douce ou «*Mild Organic*» s'apparentant à l'huile végétale. Leur formulation à plusieurs ingrédients

¹ Point de fumée de l'huile de canola biologique vierge (La Maison d'Orphée) : 225F / 107°C

les rend plus efficaces et plus stables que l'huile végétale pure, lorsqu'utilisés en très petite quantité en production industrielle (Magrabar, LLC A Münzing Company). Ces deux antimousses pourraient donc être des alternatives intéressantes pour le secteur de la production acéricole biologique.

CONCLUSIONS

Les deux antimousses biologiques, le Magrabar® Organic 3000 et le Magrabar® Organic 3300, ont été testés dans l'évaporateur pilote du Centre ACER en condition FE(Pr) pour valider leur potentiel en production et vérifier leur impact sur le goût du sirop produit. Ils ont été comparés à l'huile de canola biologique, un produit de référence, ainsi qu'au Foam Blast ORG 40, un antimousse biologique ayant causé des défauts de goût dans le sirop produit. Les mêmes conditions de production que lors des tests précédents ont été utilisées à des fins de comparaison. Les résultats obtenus ont démontré que ces différents antimousses se sont comportés de façon similaire, i.e. que le nombre d'interventions dans la section des casseroles à fond plat a été approximativement le même. On a pu encore un fois vérifier que l'efficacité des antimousses biologiques est généralement moins bonne que les produits non biologiques (Atmos 300K ou J-305 IP Sans OGM). La composition des produits antimoussants certifiés biologiques est assez proche de celle des huiles végétales ce qui peut expliquer la similitude des comportements antimoussants. À l'instar des autres produits testés, aucun effet particulier n'a été observé sur les propriétés physicochimiques du sirop d'érable produit lors des essais avec les antimousses Magrabar® Organic 3000 et Magrabar® Organic 3300. La saveur du sirop produit n'a pas été affectée de façon particulière suite à l'utilisation de ces deux antimousses contrairement au Foam Blast ORG 40. Lorsqu'utilisé dans la condition de production FE(Pr), où la chaleur est plus intense sur les plats, cet antimousse a causé l'apparition d'un défaut de saveur de type $\sqrt{R4}$ (goût d'antimousse détecté par deux vérificateurs de qualité sur les trois consultés). Les résultats obtenus ont donc permis de démontrer qu'il est possible de contrôler le niveau de la mousse en utilisant un produit antimoussant biologique tel que le Magrabar® Organic 3000 et le Magrabar® Organic 3300 sans causer de problème au niveau de la qualité du sirop produit dans les conditions des tests. Ces deux antimousses pourraient donc être des alternatives intéressantes pour le secteur de la production acéricole biologique.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements aux équipes du Centre ACER et d'ACER Division Inspection inc. qui, comme toujours, ont fait un travail assidu et de qualité. Un merci spécial à Raymond Bernier, conseiller acéricole du MAPAQ, pour sa contribution en temps et en expertise au projet.

Le Centre ACER tient à souligner le soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation du Québec à ces travaux.

DOCUMENTS DE REFERENCE

- Bureau de Normalisation du Québec. 2001. Norme Sirop d'érable – Caractéristiques et méthodes d'essais. 8280-005/2001. 35 p.
- Cuvelier, M.E. et Maillard, M.N. 2012. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL, 19(2), p.125-132. (DOI 10.1684/OCL.2012.0440).
- Fédération des producteurs acéricoles du Québec. 2017. Vérification de la qualité du sirop d'érable en vrac :
http://fpaq.ca/wp-content/uploads/2016/03/FPAQ_DepliantACER_Infographics_EPR02.pdf
- Martin, N. 2011. Ce qu'il faut savoir sur le contrôle du gonflement dans les casseroles par les antimousses. Fédération des producteurs acéricoles du Québec, Info-Sirop Hiver 2011, p.6-7.
- Martin, N. 2016. Essais et validation de deux nouveaux produits antimousses en production acéricole. Centre ACER, Rapport 4010170-FIN-300916.
- Martin, N. 2017. Optimisation du contrôle du moussage dans les casseroles de l'évaporateur en production acéricole. Centre ACER, Rapport 4010117-FIN-1102 V.2.
- Pelton, R. 2002. A review of antifoam mechanisms in fermentation. J. Ind. Microb. & Biotechnol., 29, 149–154.
- Santé Canada. 2013. Position de Santé Canada sur les huiles hautement raffinées dérivées de sources d'allergènes alimentaires, Bureau d'innocuité des produits chimiques. 9 pages.