



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

Bureau de Québec
1140, rue Taillon
Québec, Qc, G1N 3T9
Tel : (418) 643-8903
Fax : (418) 643-8350

Projet de recherche: Rapport final

Modification des propriétés du sirop d'érable pour des applications spécifiques par la modification biochimique de la sève.

Par: Johanne Dumont, chimiste

Élaine Colpron, technicienne

Collaborateurs : Roger Couture, microbiologiste

Pauline Hinse, technicienne

Collaborateurs en région : Richard Turmel, technicien agricole
Camille Desmarais, géographe



Résumé

Plusieurs produits dérivés du sirop d'érable, comme la tire ou le caramel à l'érable ont une courte vie de tablette par la tendance qu'a le saccharose à y cristalliser. Ce projet vise la mise au point d'une méthode de fabrication d'un sirop d'érable inversé, dont les propriétés gustatives ne sont pas altérées, qui permet la fabrication de produits dérivés sans cristallisation. Deux approches sont mises à l'essai : l'inversion du saccharose dans la sève concentrée par osmose inversée soit par l'action des levures qui y sont naturellement présentes ou par l'action d'une invertase commerciale. En laissant «maturer» le concentré d'osmose inversée, à la température ambiante ($< 10^{\circ}\text{C}$) pendant 10 à 20 heures, on obtient un faible taux d'inversion variant de 0 à 3,3%. Un compte de levures faible (10^2 à 10^4 ufc/ml) est certainement en cause. Le pH peu acide ou parfois alcalin (6,4 à 7,4) et les faibles températures n'ont pas favorisé le développement et l'action des levures. Dans les mêmes conditions de températures et de temps, l'inversion enzymatique du concentré d'osmose inversée par l'ajout d'une invertase commerciale, a donné de meilleurs résultats. Les taux d'inversion obtenus varient de 40 à 100% sans altération du pH. Les sirops obtenus à partir de ces concentrés invertis mélangés au réduct de la veille resté dans l'évaporateur ont un taux d'inversion variant de 0,8 à 8,5%. D'après l'évaluation des acériculteurs impliqués, cette méthode d'inversion n'apporte pas de mauvais goût au sirop. Le caramel produit avec le sirop le plus inversé obtenu (8,5% de sucre inversé) a eu moins tendance à cristalliser que le caramel témoin fabriqué avec un sirop non inversé. Pour obtenir un caramel stable, il faut cependant contrer l'effet de diminution de viscosité amené par l'utilisation d'un sirop inversé par une cuisson prolongée de quelques degrés. D'autre part, des essais parallèles à ce projet ont montré qu'un caramel préparé à partir de 50% d'un sirop inversé à 80% n'a pas cristallisé même après un an d'entreposage. La méthode d'inversion du sirop n'est cependant pas maîtrisée. La stabilité de ce caramel est une incitation à de nouveaux essais d'inversion enzymatiques de la sève en visant un taux d'inversion de 40 à 60 % dans le sirop.



Table des matières

Problématique	1
Objectifs du projet	1
Revue de littérature	1
Hypothèses	2
Protocole expérimental	2
Matériel et méthodes	2
Optimisation des conditions d'inversion en laboratoire	2
Essais d'inversion microbienne et enzymatique chez les producteurs.....	3
Fabrication de caramel chez les producteurs.....	3
Résultats et discussion.....	4
Optimisation des conditions d'inversion en laboratoire	4
Essais d'inversion microbienne et enzymatique chez les producteurs :	5
Fabrication de caramel chez les producteurs.....	9
Conclusion.....	10
Bibliographie.....	11
Formulation de caramel à l'érable avec du sirop inversé.....	12

Modification des propriétés du sirop d'érable pour des applications spécifiques par la modification biochimique de la sève.



Problématique

Plusieurs produits dérivés du sirop d'érable, comme la tire, ou le caramel à l'érable ont une courte vie de tablette par la tendance qu'a le saccharose à y cristalliser. Habituellement, une proportion variable de glucose est ajoutée à ces produits pour inhiber ou ralentir le phénomène de cristallisation, avec plus ou moins de succès. De plus, cet ajout a le désavantage d'en diluer le goût d'érable et de faire perdre au produit son image de produit d'érable pur.

Une autre approche pour diminuer la tendance de la tire à cristalliser est l'inversion du saccharose par l'action d'une enzyme. L'enzyme est alors ajouté au sirop et le tout est laissé quelques jours à la température de la pièce (C.P.V.Q., 1989). Cependant, la tire préparée avec ce sirop inversé a souvent un arrière goût.

Malgré ses problèmes de cristallisation, le caramel à l'érable est un produit dont la popularité est en croissance. Une conservation de longue durée est essentielle pour garantir son potentiel de commercialisation.



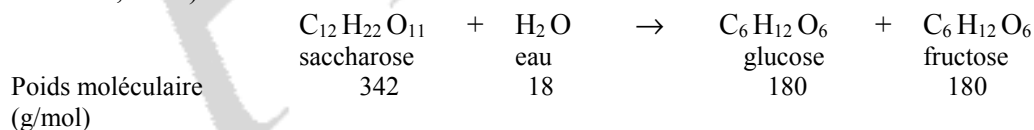
Objectifs du projet

Ce projet vise la mise au point d'une méthode de fabrication d'un sirop d'érable inversé, dont les propriétés gustatives ne sont pas altérées, permettant la fabrication de caramel à l'érable sans cristallisation.



Revue de littérature

Le sirop d'érable est constitué principalement de 63 à 67 % de saccharose et de 0,1 à 6,4% de sucres réducteurs dont principalement le glucose et le fructose (Edson et Jones, 1912, Dumont et al, 1993b). Le glucose et le fructose proviennent de l'inversion du saccharose, comme suit (Junk et Pancoast, 1973) :



Dans la sève, le processus d'inversion est lié à la présence de levures (Naghski et al, 1957).

Le glucose et le fructose étant plus solubles que le saccharose, les sirops fortement invertis auront des propriétés de cristallisation différentes des sirops peu ou pas invertis. Par exemple, ces sirops pourront demeurer exempts de cristaux à des concentrations en sucre plus élevées que les sirops peu invertis. À la température de la pièce, un taux d'inversion de 50% maximise la solubilité des sucres (Hoynak et Bollenback, 1966).

Il est possible d'obtenir un sirop d'érable inverti par l'action d'une enzyme commerciale (C.P.V.Q., 1989). Il est certainement possible d'invertir la sève ou le concentré d'osmose inversée par un procédé semblable en utilisant le même type d'enzyme commerciale. Pour des raisons d'ordre pratique, il est plus avisé d'invertir le concentré d'osmose inversée, réduisant ainsi le volume du réservoir utilisé pour le procédé d'inversion. Sous l'action de la chaleur, les protéines se dénaturent et précipitent. L'enzyme étant une protéine, elle devrait se retrouver dans la pierre de sucre de l'évaporateur. L'enzyme n'étant plus présente dans le sirop ainsi préparé, l'arrière goût lié à la présence de l'invertase peut être évité.



Hypothèses

- En laissant «maturer» le concentré d'osmose inversée, durant une nuit à température ambiante, le taux de sucre inverti augmentera par l'action de sa flore microbienne et on obtiendra après évaporation un sirop d'érable dont la teneur en sucre inverti est plus élevé que si la sève n'a pas «maturé».
- En ajoutant une invertase commerciale au concentré d'osmose inversée, on obtient après évaporation, un sirop d'érable sans défaut de goût dont le taux de sucre inverti est élevé.
- Un produit dérivé tel que le caramel, préparé avec ces sirops invertis aura moins tendance à cristalliser que le caramel préparé avec un sirop d'érable peu ou pas inverti.



Protocole expérimental

Matériel et méthodes

Optimisation des conditions d'inversion en laboratoire

Les conditions d'inversion du concentré d'osmose ont été optimisées en utilisant 3 invertases commerciales soit, Maxinvert (Produits Chimiques CCC Ltée.), Sucrovert (Aliments Grandma) et Bioinvert (Quest International). La quantité recommandée par le fabricant (2µl pour 15 ml) a été ajoutée à des tubes à essais contenant du sirop dilué à 6 °Brix, pour simuler le concentré d'osmose dont le pH a été ajusté à 5,5, l'activité des invertases étant optimum à pH légèrement acide, selon les fiches techniques des fabricants, ou laissé à pH neutre. Le taux de sucres invertis et le pH de ces différentes solutions sont vérifiés au départ et après 4 et 24 heures d'incubation à 10, 22 et 55 °C. Le taux de sucres invertis est déterminé par une analyse de la teneur en glucose et fructose par chromatographie liquide

(HPLC) selon une méthode développée dans nos laboratoires (Dumont et al, 1993a) et le pH est mesuré au pH-mètre.

Essais d'inversion microbienne et enzymatique chez les producteurs

De 2 à 3 essais d'inversion microbienne de la sève sont faits durant la saison chez chacun des producteurs. En fin de journée, de la sève préalablement concentrée par osmose inversée est laissée dans le réservoir pour toute la nuit laissant agir les levures présentes et n'est évaporée en sirop que le lendemain.

De même, de 2 à 3 essais d'inversion enzymatique de la sève sont faits durant la saison chez chacun des producteurs en alternance avec les essais d'inversion microbienne. L'invertase commerciale ayant eu le meilleur taux d'inversion pour la sève et le concentré d'osmose à faible température et à pH près de la neutralité est retenue pour les essais d'inversion enzymatique chez les producteurs. En fin de journée, 200 ml d'invertase sont ajoutés aux 1500 litres de sève concentrée par osmose inversée. Le processus d'inversion se poursuit durant la nuit et la sève invertie est évaporée en sirop le lendemain.

À chaque essai, la température de la sève dans le réservoir est notée et un échantillon de la sève avant inversion (témoin) et après inversion, juste avant son évaporation en sirop, est prélevé en duplicata et acheminée à nos laboratoires dans une glacière, dans un délai de 24 heures. Un échantillon du sirop obtenu est aussi recueilli en duplicata et identifié. Le reste de la production de sirop est conditionné à chaud en contenant métallique, identifié et gardé pour fabriquer les produits dérivés après la saison de coulée.

Le dénombrement de la flore microbienne, le pH, le Brix et le taux de sucres invertis de chaque échantillon de sève sont déterminés. Le compte total est fait sur PCA, incubé à 20°C 48 heures. Le compte de levure et moisissures est fait sur PDA acidifié, incubé à 20°C pendant 5 jours. Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre et le taux de solides solubles à l'aide d'un réfractomètre de table. Le taux de sucre invertis est mesuré par HPLC de la même manière que pour les essais d'inversion enzymatique en laboratoire.

Les différents sirops obtenus sont analysés selon la grille suivante : présence de mauvais goût, taux de lumière transmise à 560 nm (%T₅₆₀), (Gouvernement du Québec, 1992), pH, taux de sucre inverti et profil des acides organiques.

Le taux de sucre inverti est déterminé par HPLC de même que le profil d'acides organiques.

Les sirops les plus intéressants (plus haut taux d'inversion, goût et pH peu altérés) seront retenus pour des essais de fabrication de produits dérivés.

Fabrication de caramel chez les producteurs.

Le caramel à l'érable est le produit retenu pour les essais d'utilisation des sirops invertis parce qu'ils présentent le meilleur potentiel de commercialisation actuellement. Chacun des sirops retenus sert à fabriquer environ 5 douzaines de pots de caramel, fabriqué selon le procédé habituel du producteur. Des caramels témoins sont aussi fabriqués avec les sirops non invertis. Les caramels sont entreposés à la température de la pièce et à 37 °C. Une fois par mois, les caramels sont évalués pour l'apparition de cristaux ou la séparation de phase. Le suivi de conservation se poursuit tant que l'un des produits est stable. À la fabrication, les produits sont comparés au témoin pour leur goût, leur texture et leur viscosité. La viscosité est aussi mesurée au terme du suivi de conservation.

La mesure de viscosité est effectuée à l'aide d'un viscosimètre Brookfield en utilisant l'aiguille SSA 18 à une vitesse de rotation de 6 rpm.



Résultats et discussion

Optimisation des conditions d'inversion en laboratoire

Le tableau 1 rapporte les résultats d'inversion enzymatique fait en laboratoire sur le sirop dilué à 6 °Brix pour simuler le concentré d'osmose inversée. À 10 °C et à pH neutre, les enzymes Maxinvert et Bioinvert offrent des performances semblables après 4 heures d'incubation. Après 24 heures d'incubation, Maxinvert offre la meilleure performance.

Tableau 1. Essais d'inversion enzymatique d'une solution à 6 °Brix, en conditions contrôlées.

PRODUIT	PH		TEMPS D'INCUBATION (HEURES)		
			0	4	24
	initial	final	Taux d'inverti (% p/p)	Taux d'inverti (% p/p)	Taux d'inverti (% p/p)
Température d'incubation : 10 °C					
Maxinvert	7,3	7,3	<0,02	2,9	5,9
Sucrovert	7,3	7,0	<0,02	1,6	5,3
Bioinvert	7,3	6,5	<0,02	2,6	3,4
Maxinvert	5,5	5,6	<0,02	6,0	5,5
Sucrovert	5,5	5,7	<0,02	2,9	5,9
Bioinvert	5,5	5,6	<0,02	3,8	6,1
Température d'incubation : 22 °C					
Maxinvert	7,3	6,8	<0,02	3,4	5,9
Sucrovert	7,3	7,2	<0,02	1,2	4,9
Bioinvert	7,3	6,9	<0,02	1,4	5,9
Maxinvert	5,5	5,6	<0,02	2,8	6,2
Sucrovert	5,5	6,2	<0,02	4,4	5,8
Bioinvert	5,5	6,0	<0,02	3,8	6,5
Température d'incubation : 55 °C					
Maxinvert	7,3	6,0	<0,02	1,2	2,8
Sucrovert	7,3	5,6	<0,02	1,0	1,0
Bioinvert	7,3	5,9	<0,02	0,4	0,4
Maxinvert	5,5	5,2	<0,02	7,0	6,4
Sucrovert	5,5	5,4	<0,02	5,2	4,8
Bioinvert	5,5	5,4	<0,02	6,0	5,8

À 10°C, on note aussi qu'un ajustement du pH à 5,5 accélère le processus pour les trois enzymes. L'augmentation de la température n'accélère l'inversion qu'à ce pH acidifié. On remarque que le pH du concentré à 7,3 au départ a tendance à s'acidifier, surtout à 55 °C.

En érablière, la température ambiante voisine 10°C et le pH de la sève est généralement autour de 7. Les performances de l'enzyme Maxinvert montrent qu'il est possible d'invertir le concentré d'osmose à basse température, sans modifier le pH naturel de la sève. L'enzyme Maxinvert a donc été retenu pour les essais d'inversion chez les producteurs.

Essais d'inversion microbienne et enzymatique chez les producteurs :

Le tableau 2 présente les résultats des essais d'inversion «microbienne» du concentré d'osmose inversée faits en érablière.

Tableau 2. Essais d'inversion «microbienne» du concentré d'osmose inversée, en érablière.

	TEMPÉRATURE DU CONCENTRÉ (°C)		DURÉE DU SÉJOUR (HEURES)	PH		COMPTE DE LEVURES ufc/ml	BRIX	TAUX D'INVERTI FINAL (% p/p)
	initiale	finale		initial	final			
Érablière Beauvan								
96-03-14	14	1	23:00	7,4	7,6	2,7x10 ²	5,9	<0,02
96-03-19	4	2	19:00	6,9	7,1	5,3x10 ⁴	6,7	0,08
Érablière La Samare								
96-03-24	7	6	14:00	6,4	6,3	non disponibles	7,8	0,26
96-04-01	7	10	11:30	6,6	6,6	1,6x10 ⁴	7,9	0,17
96-04-09	5	3	11:00	6,9	6,9	5,7x10 ⁴	7,6	0,03

Malgré des durées d'entreposage pouvant atteindre 23 heures, les taux d'inverti des sèves sont demeurés très faibles, inférieurs 0,02% à 0,26 %. Ces faibles taux d'inverti sont liés aux faibles comptes de levures observés, de 10^2 à 10^4 ufc/ml, beaucoup plus faibles que les comptes de bactéries qui atteignent souvent 10^7 ufc/ml (résultats non rapportés). En début de saison, les pH alcalins (>7) et les températures froides ne favorisent pas la prolifération des levures.

Le tableau 3 présente les caractéristiques des sirops obtenus (%T₅₆₀, pH, taux de sucre inverti) à partir des concentrés d'osmose ayant subi cette inversion «microbienne», de même que les sirops témoins, obtenus des mêmes sèves avant «maturation».

Tableau 3. Caractéristiques des sirops obtenus (inversion microbienne).

ÉRABLIÈRE BEAUVAN			
96-03-14	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	58,8	8,8	<0,02
sirop «après traitement »	53,6	8,9	<0,02
19-03-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	72,0	6,5	0,90
sirop «après traitement »	70,6	7,7	<0,02
ÉRABLIÈRE LASAMARE			
24-03-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop « avant traitement »	65,4	7,6	<0,02
sirop « après traitement »	67,4	7,5	<0,02
01-04-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	61,5	7,1	0,34
sirop «après traitement »	51,2	6,9	0,27
09-04-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	30,7	6,0	2,96
sirop «après traitement »	27,5	6,2	2,27

Pour chacun des essais, le taux de lumière transmise (%T₅₆₀) des sirops «avant traitement » et «après traitement» sont comparables. Lorsque le pH diffère, le sirop le plus acide (pH plus faible) a tendance à être moins foncé, sauf pour l'essai du 1er avril où le sirop le plus foncé est aussi le plus acide. Bien que les pH alcalins favorisent le développement de la couleur, d'autres facteurs comme la durée du traitement thermique, l'influence aussi (Dumont et al, 1993b).

Le sirop obtenu à partir de ces sèves est très peu inversi, les taux d'inverti variant de <0,02% à 2,96%. De plus, la «maturation» de la sève n'a pas fait augmenter le taux d'inversion, pour aucun des essais par rapport au sirop «avant traitement » correspondant.

Les profils d'acides organiques (résultats non illustrés) des sirops avant et après traitement sont demeurés sensiblement les mêmes, aucun des acides issus de fermentation (acide lactique et acétique) pouvant altérer le goût du sirop n'a été détecté. L'acide malique y est toujours majoritaire avec une teneur variant de 0,27% en début de saison à 0,59 % en fin de saison.

Le tableau 4 présente les résultats des essais d'inversion enzymatique du concentré d'osmose inversée faits en érablière.

Tableau 4. Essais d'inversion enzymatique du concentré d'osmose inversée, en érablière.

	TEMPÉRATURE DU CONCENTRÉ (°C)		DURÉE DU SÉJOUR (HEURES)	PH		BRIX	TAUX D'INVERTI FINAL (% p/p)
	initiale	Finale			initial	final	
Érablière Beauvan							
96-03-18	12	2	20:00	7,1	7,5	7,1	2,9
96-03-24	8	9	13:45	6,6	6,6	8,4	9,3
96-04-04	2	2	19:00	6,4	6,5	6,4	8,2
Érablière La Samare							
96-04-08	7	6	12:00	6,7	6,6	8,7	9,4
96-04-15	13	10	10:00	6,9	7,0	7,8	6,6

On remarque d'abord que le taux d'inverti final (total des teneurs en glucose et fructose) est voisin de la valeur du Brix, sauf pour le premier essai. Dans ce cas, l'inversion n'atteint qu'environ 50% du taux de solides solubles. On écarte la possibilité que le glucose ait été fermenté, le profile des acides organiques et le goût de ce sirop étant normaux. Deux facteurs peuvent avoir ralenti le processus d'inversion dans ce cas : une température trop basse (la température finale n'est que de 2 °C) et un pH légèrement alcalin. Le pH peut être retenu comme facteur principal, puisque l'essai du 4 avril s'est aussi déroulé à 2 °C mais à un pH de 6,4 à 6,5 et l'inversion y est complète. De plus, pour l'essai du 15 avril, où le pH est voisin de 7, on note un taux d'inverti légèrement inférieur au Brix, indiquant une inversion incomplète, même si la température avoisinait les 10-12 °C. En général, l'inversion enzymatique du concentré d'osmose est satisfaisante.

Le tableau 5 présente les caractéristiques des sirops obtenus (%T₅₆₀, pH, taux d'inverti). Les sirops «avant traitement» correspondent aux sirops obtenus avec le concentré d'osmose qui n'a pas subi l'inversion enzymatique, alors que les sirops «après traitement» correspondent aux sirops obtenus avec les concentrés d'osmose qui ont été invertis.

Tableau 5. Caractéristiques des sirops obtenus (inversion enzymatique).

ÉRABLIÈRE BEAUVAN			
18-03-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	57,8	8,1	0,04
sirop «après traitement »	63,2	6,9	0,82
24-03-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	45,8	7,0	1,18
sirop «après traitement »	55,0	6,1	6,18
04-04-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	43,4	7,4	0,01
sirop «après traitement »	45,5	6,5	1,51
ÉRABLIÈRE LASAMARE			
08-04-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	53,3	6,7	0,52
sirop «après traitement »	47,3	6,4	4,31
15-04-96	%T ₅₆₀	pH	Taux d'inverti (% p/p)
sirop «avant traitement »	21,1	6,9	0,62
sirop «après traitement »	26,2	6,3	8,51

Le taux de lumière transmise (%T₅₆₀) d'un sirop «après traitement » est dans la plus part des cas semblables à celui du sirop «avant traitement» correspondant. Le sirop «après traitement» a tout de même tendance à être légèrement moins foncé que le sirop «avant traitement» correspondant. On remarque aussi que le pH du sirop «après traitement » est légèrement plus bas que celui du sirop «avant traitement» correspondant. Ce pH légèrement plus acide pourrait expliquer le taux de lumière transmise plus élevé, une étude antérieure rapportant qu'un pH élevé favorise le développement de la couleur du sirop dans l'évaporateur (Dumont et al, 1993b).

Les sirops obtenus des concentrés d'osmose non traités ont des taux d'inverti variant de 0,01 à 1,18 % alors que les sirops obtenus des concentrés d'osmose invertis ont des taux d'inverti variant de 0,82 à 8,51 %. Pour les sirops «après traitement », le taux d'inverti n'est pas aussi élevé qu'attendu puisqu'en fait, ils sont constitués du mélange du réduct de la veille resté dans l'évaporateur et du concentré d'osmose inverti. Pour obtenir un sirop avec un plus haut taux d'inverti, il aurait fallu un volume de sève invertie beaucoup plus important.

Les producteurs ont goûté à chacun des sirops qu'ils ont produits dans le cadre de ce projet, aucun de ces sirops ne présentait de goût étranger le rendant inadéquat pour la fabrication de caramel, bien que ceux de l'essai du 15 avril chez La Samare aient un goût prononcé.

Fabrication de caramel chez les producteurs.

Pour des raisons hors de notre contrôle et hors du contrôle des collaborateurs à ce projet, les sirops de l'Érablière Beauvan, n'étaient pas disponibles pour la fabrication de produits dérivés. Les sirops retenus pour les essais de formulation de caramel sont ceux de l'érablière La Samare fabriqués le 8 avril (inversion enzymatique), du 9 avril (inversion microbienne) et du 15 avril (inversion enzymatique), le sirop avant traitement servant à la fabrication du caramel témoin dans chaque cas. Le tableau 6 présente le suivi de conservation des caramels fabriqués avec ces sirops.

Tableau 6. Suivi de conservation des caramels fabriqués avec des sirops ayant différentes teneurs en sucre inverti.

SIROP UTILISÉ ET SON TAUX D'INVERTI CARACTÉRISTIQUES DU CARAMEL	PRÉSENCE DE CRISTAUX	SÉPARATION DE PHASE	AUTRES REMARQUES
Témoin du 8 avril 0,52 % d'inverti Caramel : 80,8 °Brix Viscosité:85,9 mPa-s	Observée après 1 mois à 22 °C et à 37 °C	Observée après 1 mois à 37 °C	Produit de couleur pâle. La viscosité a diminué à 67 mPa-sec après 2 mois.
Inverti du 8 avril 4,31 % d'inverti Caramel : 80,3 °Brix Viscosité:69,1 mPa-s	Observée après 1 mois à 37 °C et après 2 mois à 22 et 37 °C	Observée après 1 mois à 37 °C	Produit de couleur ambrée. La viscosité a diminué à 45 mPa-sec après 2 mois.
Témoin du 9 avril 2,96 % d'Inverti Caramel : 80,9 °Brix Viscosité:90,7 mPa-s	Observée après 1 mois à 22 °C et à 37 °C	Observée après 1 mois à 37 °C	Produit de couleur ambrée. La viscosité a diminué à 73,5 mPa-sec après 2 mois.
Inverti du 9 avril 2,27 % d'inverti Caramel : 79,5 °Brix Viscosité:48,9 mPa-s	Observée après 1 mois à 37 °C et après 2 mois à 22 et 37 °C	Observée après 1 mois à 22 °C et à 37 °C	Produit de couleur ambrée. La viscosité a diminué à 40,7 mPa-sec après 2 mois
Témoin du 15 avril 0,62 % d'inverti Caramel : 81,0 °Brix Viscosité:87,3 mPa-s	Observée après 1 mois à 22 °C et à 37 °C	Observée après 2 mois à 37 °C	Produit de couleur foncée. La viscosité a diminué à 68,3 mPa-sec après 2 mois.
Inverti du 15 avril 8,51 % d'inverti Caramel : 79,8 °Brix Viscosité:50,4 mPa-s	Pas de cristaux observés après 2 mois	Observée après 1 mois à 22 °C et à 37 °C	Produit de couleur foncée. La viscosité a diminué à 42,3 mPa-sec après 2 mois

Le caramel le moins susceptible à la cristallisation est celui fabriqué avec le sirop inversé du 15 avril, le sirop le plus inversé de ces essais. Le caramel le moins susceptible à la séparation de phase est celui fabriqué avec le sirop témoin du 15 avril. Une plus grande viscosité devrait diminuer la tendance à la séparation de phase. On observe effectivement que les caramels dont la viscosité est demeurée plus élevée après 2 mois sont aussi ceux qui ont le moins tendance à la séparation de phase. Pour obtenir un caramel idéal, qui ne cristallise pas et qui ne se sépare pas, il faut donc trouver une balance entre le taux de sucres invertis et la viscosité, ajustée entre autres par une teneur en solide soluble (°Brix) plus élevée.

On trouvera en annexe une formulation de caramel qui est demeurée stable après un an d'entreposage à la température de la pièce, sans cristallisation et sans séparation de phase. Le caramel fabriqué a un taux de solide soluble de 85°Brix. Le sirop utilisé pour cette fabrication a été inversé à l'aide d'enzyme en traitant le sirop lui-même. Le taux d'inverti obtenu est d'environ 80%. En fabriquant le caramel, on note une mauvaise odeur du mélange lors de l'ébullition. La formation de mousse liée à la présence de l'enzyme (une protéine) est gênante. La méthode d'inversion du sirop n'est pas maîtrisée mais la stabilité de ce caramel est une incitation à de nouveaux essais d'inversion enzymatiques de la sève.



Conclusion

Nos résultats démontrent que la « maturation » du concentré d'osmose inversée, durant une nuit à température ambiante, n'est pas une méthode efficace d'Inversion du saccharose. Le compte de levures demeuré relativement faible est certainement en cause. Le pH peu acide de la sève et une température ambiante généralement basse (< 10°C) ne favorisent pas la prolifération des levures.

Par contre, en ajoutant une invertase commerciale au concentré d'osmose inversée, l'inversion du saccharose peut être complétée à la température ambiante à l'érablière (souvent moins de 10°C), sans modifier le pH et dans un délai de 10 à 20 heures. Le processus étant accéléré à pH légèrement acide (6,5 par exemple), on aura avantage à fabriquer ces sirops invertis après la mi-saison de coulée. En effet, en début de saison, le pH de la sève est souvent légèrement alcalin (<7), ce qui ralentit l'inversion enzymatique. Ce procédé d'inversion est d'autant plus intéressant qu'il ne semble pas induire de mauvais goût au sirop.

Cependant, pour obtenir des teneurs élevées de sucre inversé dans le sirop final (>50%), on devra s'assurer de traiter un volume de concentré suffisant pour déplacer tout le résidu demeuré dans l'évaporateur. Notons que l'utilisation d'invertase devra être spécifiée sur l'étiquette des produits élaborés avec ces sirops invertis.

Concernant la fabrication de caramel, l'utilisation d'un sirop inversé retarde l'apparition de cristaux mais diminue la viscosité du caramel, accélérant ainsi la séparation de phase. On peut contrer cette diminution de la viscosité en augmentant le taux de solides solubles, par une cuisson de quelques degrés supplémentaires.

D'autre part, des essais parallèles à ce projet ont montré qu'un caramel préparé à partir de 50% d'un sirop inversé à 80% n'a pas cristallisé même après un an d'entreposage. La méthode d'inversion du sirop n'est cependant pas maîtrisée. La stabilité de ce caramel est une incitation à de nouveaux essais d'inversion enzymatiques de la sève en visant un taux d'inversion de 40 à 60 % dans le sirop.



Bibliographie

- C.P.V.Q., 1989. Érablière. Produits dérivés du sirop d'érable. Gouvernement du Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- Dumont J., Saucier L., Allard G.B., Aurouze B., 1993a. Microbiological, physicochemical and sensory quality of maple syrup aseptically packaged in paper-based laminate. *Int. J. of Food Sc. and Tech.*, 28, 83-93.
- Dumont J., Allard G.B., Riendeau L., 1993b. Étude des facteurs les plus susceptibles de contrôler le développement de la qualité (saveur et couleur) du sirop d'érable. Rapport de projet 1a1-21360090-121. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire.
- Edson H.A., Jones C.H., 1912. Micro-organisms of maple sap. *Vermont Agri. Exp. Station bull.* 167.
- Gouvernement du Québec, 1992. Règlements sur les aliments. Chapitre 8. Produits d'érable et leurs succédanés, p.119.
- Hoynak P.X., Bollenback G.N., 1966. Solubility and related data. IN : *This is liquid sugar. Refined syrup and sugar inc.*, N.Y., p.219.
- Junk W.R., Pancoast H.M., 1973. Properties of invert and sucrose-invert liquids. IN : *Handbook of sugar.* Avi Publishing Co. Inc., Westport Connecticut, p.50.
- Naghski J., Reed L.L., Willits C.O., 1957. Maple syrup. X. Effect of controlled fermentation of maple sap on the color and flavor of maple syrup. *Food Res.* 22 (2), 176-181.



Formulation de caramel à l'érable avec du sirop inversé.

Ingrédients

sirop d'érable inversé	540 ml
sirop d'érable non inversé	540 ml
glucose à confiserie	400 ml
lait condensé sucré	375 ml (ou une boîte)

Procédure

- Verser le sirop d'érable et le glucose dans une casserole appropriée et enduire le haut des parois internes de la casserole d'une mince couche de gras (shortening végétal).
- Cuire ensemble le sirop d'érable et le glucose jusqu'à 85°Brix ou 23°F de plus que le point d'ébullition de l'eau.
- Retirer du feu, vaporiser le mélange d'eau froide jusqu'à l'arrêt complet de l'ébullition. Nettoyer les parois internes de la casserole à l'aide d'un linge humide pour enlever les cristaux.
- Laisser tiédir jusqu'à environ 180°F.
- Ajouter le lait condensé sucré tempéré et mélanger doucement sans incorporer d'air.
- Empoter à chaud dans des pots de verre fermant hermétiquement. Les couvercles de métal offrent habituellement la meilleure étanchéité.
- Si on utilise des pots de verre, on pourra les stériliser au four à 225°F pendant 30 minutes ou en utilisant un lave-vaisselle.
- Éviter les fluctuations de température à l'entreposage.
- Réfrigérer après ouverture.