



Centre de recherche de développement et de transfert technologique en acériculture

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

**Mise au point d'un outil de mesure rapide
permettant d'évaluer la tendance d'une sève
à donner un sirop ayant un défaut de goût majeur**

Par: Johanne Dumont

Collaborateurs : Lucie Paré, Éleine Colpron
Carole Girouard, Joël Boutin
Janin Martineau, Jean Bergeron



Bon an mal an, l'industrie acéricole doit essayer des pertes de revenus liées au déclassement de sirop pour cause de goût indésirable. Les sirops trop foncés représentent eux aussi une cause de perte de revenus. L'objectif de ce projet était donc de développer des outils de mesure utilisables à l'érablière permettant d'évaluer la qualité microbiologique de la sève, comme indice de l'apparition de goût indésirable dans le sirop et permettant d'évaluer le taux de sucres invertis de la sève, comme indice de la tendance de la sève à donner un sirop foncé ayant un goût de sucre cuit (caramel) prononcé.

Des sèves dont le compte bactérien est supérieur à 10^7 ufc/ml peuvent donner des sirops sans défaut de goût. Le test à la résazurine donne trop souvent des faux-positifs tant pour évaluer le compte bactérien que pour prédire la présence de goût étranger dans le sirop. De même, nous constatons que la flore de la sève n'est pas toujours acidifiante et que les baisses de pH observées ne sont pas toujours suffisamment sensibles pour être détectables à l'aide de bâton indicateur. Cependant, au cours d'autres travaux, des cas extrêmes de baisse de pH de plus de 2 unités ont déjà été observés, les sirops correspondants étant indéniablement mauvais. On devra donc approfondir les connaissances concernant l'effet de la flore de la sève sur le goût du sirop, selon sa nature et/ou selon ses conditions de croissance.

La mesure de la teneur en glucose de la sève par le glucomètre s'est avérée être suffisamment sensible et précise pour être un indice valable de prédiction de la tendance du sirop obtenu à être caramélisé et plus foncé, bien que d'autres facteurs que la présence de glucose peut amener la production de sirops foncés. La facilité d'utilisation de cet appareil en fait un outil potentiel pour évaluer la qualité d'une sève et sa tendance à donner un sirop de qualité commerciale inférieure par sa couleur plus foncée et par son goût caramélisé qui masque alors les saveurs fines d'érable.



Problématique	1
Objectifs du projet	1
Revue de littérature et hypothèses	2
Protocole expérimental	4
Évaluation du glucomètre.....	4
Prélèvements d'échantillons.....	4
Caractérisation des sèves.....	5
Caractérisation des sirops.....	5
Résultats et discussion.....	6
Évaluation du glucomètre.....	6
Limite de détection et linéarité de la réponse du glucomètre	6
Vérification des hypothèses	8
Hypothèse 1	8
Hypothèse 2.....	10
Hypothèse 3.....	12
Conclusion.....	13
Bibliographie.....	14

Mise au point d'un outil de mesure rapide permettant d'évaluer la tendance d'une sève à donner un sirop ayant un défaut de goût majeur



Problématique

Bon an mal an, l'industrie acéricole doit essuyer des pertes de revenus liées au déclassement de sirop pour cause de goût indésirable. Les sirops trop foncés représentent eux aussi une cause de perte de revenus.

Ces défauts de goût sont d'origines diverses. Certains sont associés à de mauvaises pratiques de production (goût de produit de lavage, goût de boule à mites, goût de gras rance, par exemple) et peuvent donc être évités en suivant des pratiques de productions adéquates. D'autres défauts sont associés aux propriétés de la sève qui changent en fonction des conditions de coulée et de la période de coulée (goût d'écorce, goût de bourgeon, goût de fermenté, par exemple). De même, on reconnaît que la détérioration microbiologique de la sève est une cause courante de mauvais goût du sirop d'érable. Plusieurs groupes de producteurs ont exprimé le besoin d'avoir un moyen de qualifier une sève quant à son potentiel à produire un sirop ayant un défaut de goût majeur. Le développement d'un tel outil pourrait permettre d'éviter certaines pertes de temps et d'énergie, le producteur pouvant alors décider de ne pas bouillir des sèves donnant des sirops inaptes à être mis en marché.

D'autre part, outre les sirops comportant des défauts de goût, il y a une variation saisonnière du goût du sirop (Dumont, 1995) et généralement une intensification de la couleur et du goût de caramel en fin de saison. Cependant, plusieurs facteurs régissent le développement de la couleur, dont le taux de sucres invertis et le pH de la sève (Dumont et coll., 1993a). La mesure de ces propriétés de la sève peut être un indice de sa tendance à donner un sirop foncé ayant un goût de sucre cuit (caramel) prononcé.



Objectifs du projet

Développer un outil de mesure utilisable à l'érablière permettant :

- d'évaluer la qualité microbiologique de la sève, comme indice de l'apparition de goût indésirable dans le sirop;
- d'évaluer le taux de sucres invertis de la sève, comme indice de la tendance de la sève à donner un sirop foncé ayant un goût de sucre cuit (caramel) prononcé.



Les principaux défauts de goût du sirop qui peuvent être liés à la variation des propriétés de la sève, sont : (Dumont, 1995)

- le goût d'écorce, habituellement observé en début de saison;
- le goût de bourgeon, observé en fin de saison;
- le goût de fermentation ou contamination microbiologique, souvent difficilement identifiable;
- le goût de sucre cuit prononcé.

Le goût d'écorce est un phénomène particulier observé en début de saison mais dont les causes ne sont pas définies. Il y aurait lieu d'acquérir des connaissances sur les causes de ce mauvais goût et sur les propriétés de la sève donnant ces sirops avant de pouvoir élaborer un outil de terrain permettant la caractérisation de cette sève. L'acquisition de ces connaissances dépasse le cadre du travail proposé ici et constituerait un projet en lui-même.

Le goût de bourgeon est observé en fin de saison et on l'a associé à la présence de composés aminés (Underwood, 1963). Cependant, le goût de bourgeon est souvent confondu au goût donné par la détérioration microbiologique de la sève. En effet, la sève de fin de saison, qu'elle contienne initialement ou non des composés aminés, aura souvent un compte bactérien élevé à cause de la température ambiante à la hausse (Edson et coll., 1912, Willits et coll., 1961).

Afin d'évaluer la contamination microbiologique de la sève, cause courante de mauvais goût du sirop, un test colorimétrique à la résazurine a été développé (Kissinger, 1969, Kissinger, 1974a). Selon nos essais préliminaires, ce test semble cependant avoir certaines limites. Il ne serait apte à détecter que les souches acidifiantes et en contrepartie peut donner des faux-positifs si une sève est naturellement plus acide. Ces limites sont donc à vérifier. Le test à la résazurine a aussi des limites pratiques d'application sur le terrain, nécessitant entre autres, un traitement thermique pour que la réaction ait lieu, l'usage d'une solution fraîche de l'indicateur et un temps de réponse pouvant atteindre 2 heures (Kissinger, 1974b).

Au cours de la saison, la sève a tendance à s'acidifier (Laing et coll., 1971). L'acidification de la sève semble un bon indicateur de sa qualité microbiologique comme l'indiquent les données du tableau 1, obtenues dans le cadre d'essais préliminaires au printemps 1996. Avec ces quelques producteurs d'une même région, un pH de moins de 6 pourrait être une indication valable d'un compte bactérien élevé ($\log > 7$). Selon des données obtenues lors de nos récents travaux (non publiés), rares sont les sèves ayant un pH inférieur à 6,5 en début de saison. De plus, la mesure de pH pourrait être une bonne indication de la détérioration microbiologique de la sève, c'est-à-dire de l'effet qu'ont eu les micro-organismes sur la sève, même s'ils ne sont plus vivants.

Tableau 1. Variation du pH et du compte microbiologique de la sève au cours de la saison chez quatre producteurs de la région des Appalaches.

Producteurs	Date de l'échantillonnage	pH de la sève	log du compte microbiologique
R.L.	26-03-96	7,59	4,23
	18-04-96	6,59	6,04
	25-04-96	5,99	7,04
R.P.	26-03-96	7,03	6,07
	18-04-96	6,72	6,27
	25-04-96	5,77	7,25
A.C.	26-03-96	7,49	5,81
	18-04-96	7,07	5,23
	25-04-96	6,86	7,00
J.R.B.	26-03-96	7,13	5,14
	18-04-96	6,55	5,69
	25-04-96	5,69	6,41

L'usage d'un pH-mètre n'étant pas pratique en érablière, le choix d'un indicateur changeant de couleur à pH inférieur à 6, comme le vert de bromocrésol ou le rouge d'éthyle (CRC, 1976) ou l'usage de bâton indicateur de pH, pourraient être proposés comme indication de la détérioration microbiologique de la sève. Ces alternatives au test à la résazurine doivent aussi être évaluées en condition réelle et leur fiabilité doit être déterminée en considérant la variabilité du pH de la sève d'une érablière à l'autre et le potentiel acidifiant de la flore microbienne.

Le goût de caramélisation prononcé, qu'on peut aussi appeler goût de sucre cuit prononcé ou goût de sucre brûlé est habituellement associé à des sirops foncés, ayant un taux de lumière transmise à 560 nm inférieur à 27%. Dans un projet antérieur (Dumont et coll., 1993a), nous avons observé que les principaux facteurs influençant le développement de la couleur du sirop sont :

- la durée du traitement thermique;
- le pH de la sève de départ;
- la teneur de la sève en sucre réducteur.

Pour un même traitement thermique, à une même teneur en sucre réducteur dans la sève de départ, un pH alcalin favorise la caramélisation. Tel que mentionné précédemment, la sève s'acidifie au cours de la saison. Les sirops foncés étant souvent produits en fin de saison, malgré la baisse de pH observée, la teneur en sucre réducteur est sans doute, dans ces cas, le facteur dominant favorisant la caramélisation (Naghski et Willits, 1957).

Dans le cadre d'une étude de la caractérisation physico-chimique du sirop d'érable, (rapport en préparation) nous avons observé une relation entre le taux de sucre inverti et le taux de lumière transmise à 560 nm (%T₅₆₀), les sirops foncés ayant une teneur en glucose supérieure à 1 %. En posant un facteur de concentration de 40, une teneur en glucose de 0,025% détectée dans la sève pourrait être un indice

d'une tendance à la caramélisation. En laboratoire, il est possible de détecter des concentrations de glucose aussi faible que 0,01% par HPLC. Un outil utilisable en érablière devra avoir une limite de détection semblable pour donner un indice suffisamment précis de la tendance de la sève à la caramélisation. Le glucomètre Accu-Chek (Boehringer Mannheim) mis au point pour détecter le glucose dans le sang pour l'usage des personnes souffrant de diabète, est aussi utilisé en agroalimentaire (Coleman et coll, 1993). Des concentrations en glucose aussi faibles que 0,02 % peuvent être détectées. Il serait donc un outil intéressant pour détecter le glucose dans la sève, comme indicateur de la tendance de cette sève à donner un sirop foncé ayant un goût caramélisé prononcé.



Hypothèses

- 1) Le test à la résazurine est un indice fiable de la contamination microbiologique de la sève, toujours positif lorsque le compte bactérien $>10^7$ ufc/ml, cette réponse positive étant corrélée avec l'apparition de goût étranger indésirable dans le sirop d'érable.
- 2) L'acidification de la sève de 1 degré de pH par rapport à son pH en début de saison est un indice de sa détérioration microbiologique et est corrélé avec l'apparition de goût étranger indésirable.
- 3) La mesure de la teneur en glucose d'une sève par le glucomètre Accu-Chek est suffisamment sensible et précise pour être un bon indice de la tendance d'une sève à donner un sirop foncé ayant un goût de sucre cuit (caramel) très prononcé.



Protocole expérimental

Évaluation du glucomètre

Le glucomètre modèle Accu-Chek Advantage (Boehringer Mannheim) a été choisi pour la mesure du glucose dans la sève d'érable. À l'aide de solutions étalons de glucose, les données suivantes sont vérifiées :

- la limite de quantification du glucose
- la linéarité de la réponse du glucomètre dans le domaine de concentration visé
- l'écart entre la lecture du glucomètre et la réponse obtenue au HPLC

À partir des mesures faites sur des sèves à l'érablière et au laboratoire, on vérifie aussi :

- les interférences possibles avec les autres sucres présents dans la sève
- l'influence de la température de la sève sur la réponse donnée par le glucomètre.

Prélèvements d'échantillons

Pendant la saison de coulée 1997, des prélèvements de sève et de sirop sont effectués chez 12 producteurs. Ces producteurs ont été choisis pour leurs bonnes pratiques de production afin d'éviter tout biais provenant de l'utilisation inadéquate de produits de nettoyage. Les prélèvements sont faits 2 fois par semaine, pendant toute la saison, soit pendant 5 à 7 semaines. Chaque prélèvement est constitué de :

- un échantillon de sève dans une bouteille stérile (100 ml), prélevé juste avant l'alimentation de l'évaporateur

- le sirop correspondant, en duplicata (2 bouteilles de 250 ml).

Lors du prélèvement des échantillons chez les producteurs, on notera :

- l'historique d'entreposage de la sève (durée et température) et sa teneur en glucose donnée par le glucomètre.

Caractérisation des sèves

À la réception des échantillons au laboratoire, les analyses suivantes sont effectuées sur les sèves :

- l'analyse microbiologique de la sève (compte total des bactéries)
- le test à la résazurine
- la mesure de pH au pH-mètre et à l'indicateur de pH
- le taux de solide soluble au réfractomètre
- le taux de glucose à l'aide du glucomètre Accu-Chek et au HPLC

Les comptes totaux de bactéries de la sève sont faits sur PCA.

Le test à la résazurine est fait selon la méthode 31.213 de l'AOAC (14^{ième} édition, 1984), en omettant l'ajout de lait. Le principe de la méthode est une réduction de la résazurine en résorufine proportionnellement à la contamination microbienne. La couleur de la solution passe ainsi plus ou moins rapidement du pourpre au rose fuchsia selon le taux de contamination. Nous avons considéré une réponse positive du test à la résazurine, soit un compte bactérien supérieur à 10^7 ufc/ml, lorsque le changement de couleur était observé dans un délai de 60 minutes ou moins.

Le réfractomètre utilisé est de marque Reichert Abbe Mark II, modèle de table digital. Le pH-mètre utilisé est de marque Radiometer-Copenhagen, modèle PHM82, muni d'une électrode combinée. La teneur en glucose est déterminée à l'aide du glucomètre Accu-Chek Advantage (Boeringer Mannheim) selon le mode d'emploi du fabricant, 1 mmol/litre de glucose étant équivalent à 0,018% p/v. La mesure du glucose au HPLC est faite selon une méthode développée dans nos laboratoires (Dumont et coll., 1993b).

Caractérisation des sirops

Le sirop est gardé congelé pour analyse ultérieure. Après la saison, les sirops correspondants aux sèves sont caractérisés par ces différentes analyses :

- la mesure du taux de lumière transmise à 560 nm, après centrifugation si nécessaire
- le pH mesuré au pH-mètre
- le taux de solide soluble au réfractomètre
- le taux de glucose donné par le glucomètre Accu-Chek et par HPLC
- l'évaluation sensorielle pour détection et identification de mauvais goût avec la participation du panel d'experts du LEAA.

La mesure du taux de lumière transmise est effectuée selon la méthode officielle (Règlement sur les aliments, 1992). Les autres analyses sont effectuées selon les méthodes décrites précédemment pour les sèves.

Le panel d'experts du laboratoire d'expertises et d'analyses alimentaires du MAPA a effectué les analyses sensorielles du sirop selon la méthode développée par ce laboratoire (méthode 02-M-FLAV). Les juges doivent indiquer la présence de défaut de goût et en identifier la nature se limitant le plus

souvent à «goût de bois», de «bourgeon» ou «caramélisé». Le cas échéant l'intensité de la caramélisation est notée ainsi :

- 1) légère caramélisation
- 2) caramélisation moyenne
- 3) caramélisation prononcée.

À défaut d'identification, le défaut de goût détecté est qualifié de goût étranger.



Résultats et discussion

Évaluation du glucomètre

Limite de détection et linéarité de la réponse du glucomètre

Le Tableau 2 rapporte des résultats de lecture de glucose obtenus au glucomètre Accu-Check Advantage pour des solutions étalons de glucose.

Teneur en glucose telle que préparée (%p/p)	Teneur en glucose telle que préparée (mmol/litre)	Lecture obtenue au glucomètre (mmol/litre) ¹	Écart relatif entre la lecture et la teneur réelle (%)
0,0182	1,02	« lo »	-
0,0228	1,27	« lo »	-
0,0243	1,35	0,83 (0,12)	-38,5
0,0270	1,50	0,90 (0,17)	-40,0
0,0360	2,00	1,70 (0,10)	-15,0
0,0456	2,54	2,30 (0,10)	-9,4
0,0540	3,00	2,83 (0,06)	-5,7
0,0720	4,00	4,37 (0,06)	+9,2
0,0912	5,08	6,00 (0,17)	+18,1
0,1080	6,00	6,90 (0,17)	+15,0
0,1441	8,00	9,77 (0,06)	+22,1
0,1825	10,15	13,23 (0,15)	+30,3

1. Le résultat rapporté est la moyenne de trois lectures.
2. Le chiffre entre parenthèses est l'écart type calculé.

On remarque qu'on obtient de lecture numérique, qu'à partir de la solution étalon correspondant à 1,35 mmol/litre de glucose (0,0243 %), ce qui situe la limite de détection à plus de 0,02% de glucose. L'écart relatif entre la lecture obtenue au glucomètre et la teneur réelle, telle que préparée, est plus important pour les plus faibles et les plus fortes concentrations, étant négatif jusqu'à 3,0 mmol/l et positif à partir de 4,0 mmol/l.

Le coefficient de corrélation linéaire entre la lecture obtenue au glucomètre et la teneur de la solution telle que préparée est de 0,9986. Cette corrélation élevée nous indique une bonne fiabilité de la lecture obtenue au glucomètre malgré des écarts relatifs parfois élevés.

Comparaison entre les résultats obtenus au glucomètre et par HPLC

La Figure 1 présente les résultats des mesures de la teneur en glucose des 82 échantillons de sève prélevés, soit les lectures au glucomètre faites à l'érablière et les lectures au glucomètre faites au laboratoire, comparées à la teneur en glucose mesurée par HPLC. Pour faciliter la mise en graphique nous avons rapporté les lectures du glucomètre «err» et «lo» comme étant numériquement égales à zéro. Les coefficients de corrélation linéaire entre la teneur en glucose mesurée au HPLC et les lectures obtenues au glucomètre faites en laboratoire et faites à l'érablière sont respectivement de 0,95 et de 0,91.

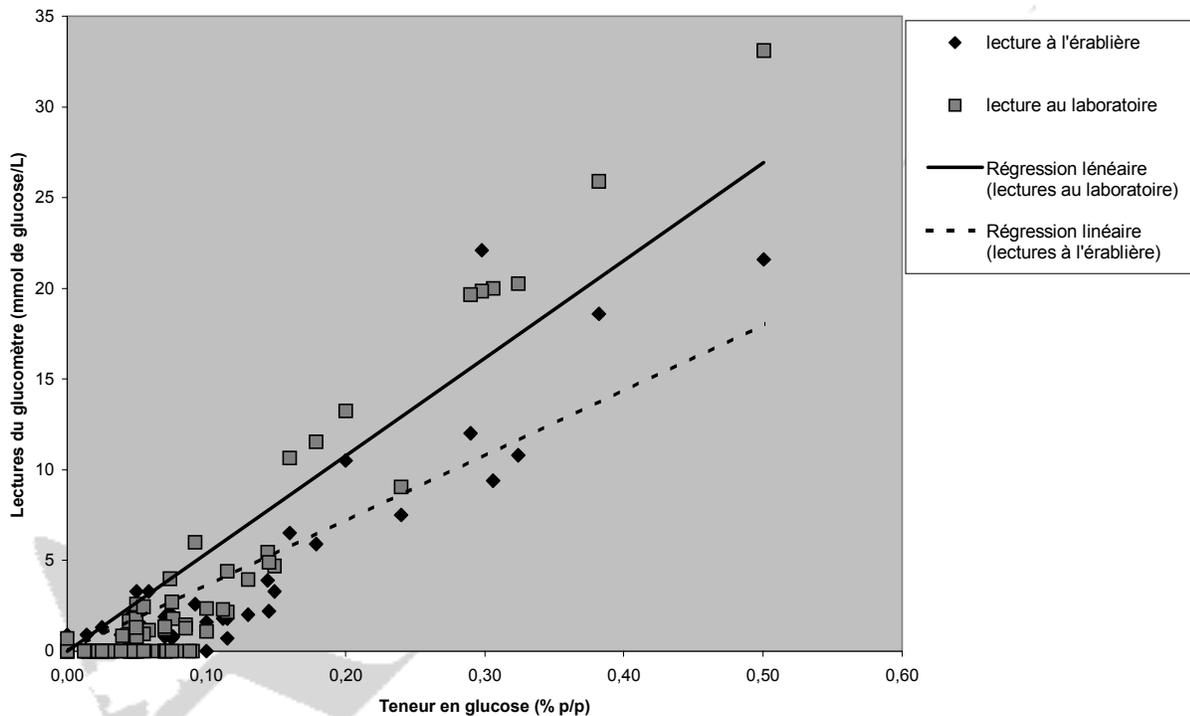


Figure 1. Relation entre la lecture au glucomètre et la teneur en glucose des sèves mesurée par HPLC.

Pour certains échantillons, les deux lectures de glucomètre ne sont pas en accord. En effet, les lectures faites au laboratoire ont tendance à être légèrement plus élevées que celles faites à l'érablière ce qui pourrait être lié à une légère inversion du saccharose de la sève durant le transport. Cette légère détérioration de la sève pourrait expliquer la plus faible corrélation obtenue pour les lectures faites à l'érablière.

La limite de quantification du glucomètre est donc évaluée à partir des lectures faites en laboratoire. Des 82 échantillons de sève, 22 nous donnent une lecture «err», dont 18 sont tout de même en accord avec la lecture obtenue en érablière. Leurs taux de glucose mesurés par HPLC se situe entre 0 (< 0,01%) et 0,09% avec une valeur médiane de 0,02% (1,1 mmol/litre). Vingt des 82 sèves ont donné une lecture «lo» en laboratoire, dont 15 ont la même lecture en érablière. Leurs taux de glucose mesurés par HPLC varient de 0 (<0,01%) à 0,10%, la valeur médiane étant de 0,05% soit 2,8 mmol/litre. Nous considérons cette valeur médiane comme étant la teneur la plus probable des sèves donnant une lecture «lo». À l'usage, pour la mesure du glucose dans la sève, la limite de quantification est donc évaluée à 2,8 mmol/ litre, soit 0,05%.

Le résultat obtenu au glucomètre étant généralement plus faible que celui obtenu par HPLC, on ne lui associe pas d'interférence possible des autres composés. L'écart entre le résultat obtenu par HPLC et la lecture du glucomètre se situe dans l'ordre de grandeur de la limite de quantification du glucomètre, soit un écart moyen de 0,03% (1,7 mmol/litre). Cet écart n'étant cependant pas constant, il n'est pas possible de fixer un facteur de correction. On considérera ainsi que la précision de la lecture est de l'ordre de grandeur de cet écart.

À l'usage, nous n'avons pas noté de mauvais fonctionnement de l'appareil avec des sèves froides. Cependant, l'appareil lui-même doit être à la température de la pièce puisqu'il a tendance à donner des signes de lenteur lorsqu'il est froid (moins de 15°C). Le fabricant recommande d'ailleurs l'usage entre 15 et 40°C.

Vérification des hypothèses

Hypothèse 1

Le test à la résazurine est un indice fiable de la contamination microbiologique de la sève, toujours positif lorsque le compte bactérien $>10^7$ ufc/ml, cette réponse positive étant corrélée avec l'apparition de goût étranger indésirable dans le sirop d'érable.

La Figure 2 illustre la distribution des logarithmes du compte bactérien de la sève selon la réponse du test à la résazurine et selon la présence de goût étranger dans le sirop correspondant. Pour être utile en érablière le test doit être rapide et doit pouvoir détecter des taux de contamination élevés susceptibles d'apporter des mauvais goûts. Pour tester notre hypothèse, nous avons donc adopté un mode d'étiquetage de nos résultats «positif – négatif». De toutes les sèves analysées, seulement 14 avaient un compte bactérien supérieur à 10^7 ufc/ml. Pour ces 14 échantillons, le test à la résazurine a répondu 13 fois correctement, le temps de virage du test inférieur à une heure évaluant le compte bactérien à plus de 10^7 ufc/ml. Des 13 sirops correspondants, seulement 4 avaient un goût étranger.

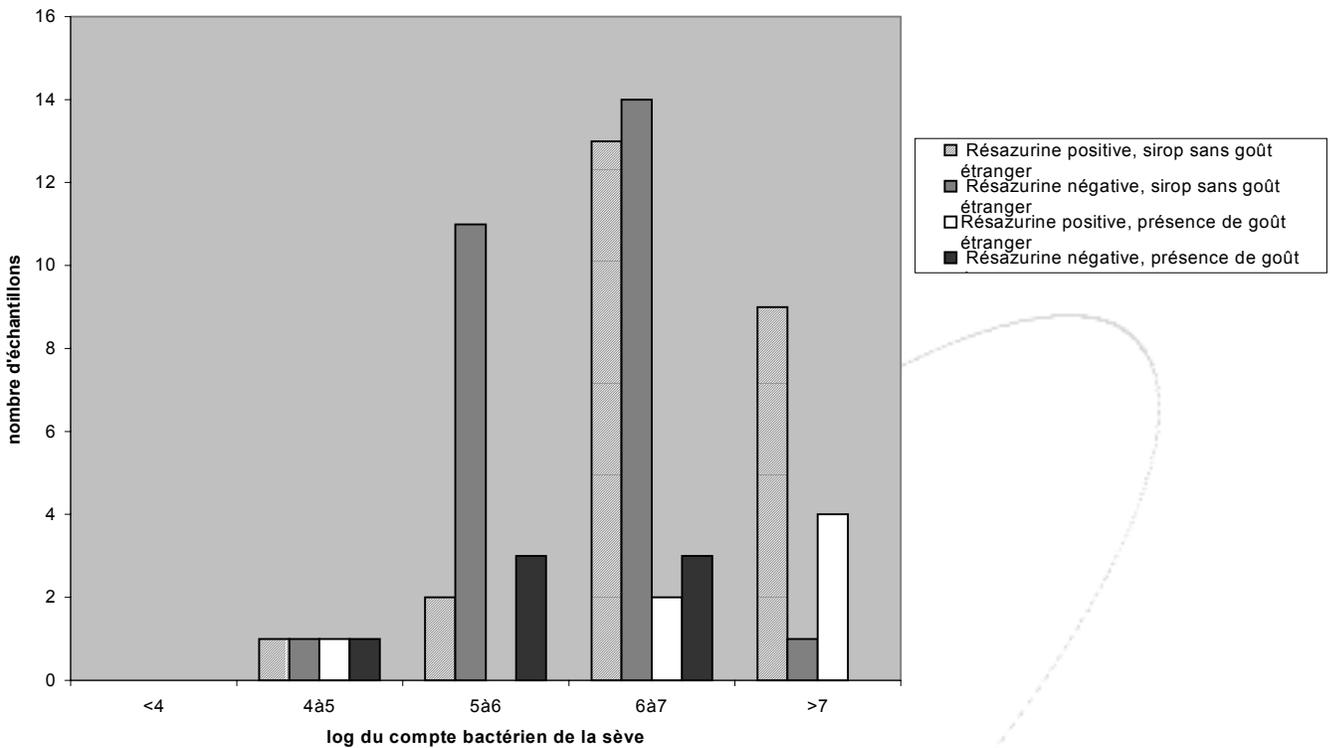


Figure 2. Distribution des logarithmes des comptes bactériens de la sève selon la réponse du test à la résazurine et la présence de goût étranger dans le sirop correspondant

Par contre nous observons 19 cas de faux-positifs, c'est-à-dire, 19 sèves pour lesquelles le test à la résazurine est positif mais dont le compte bactérien est inférieur à 10^7 ufc/ml. Le test à la résazurine comporte donc des possibilités d'interférences dont les causes sont difficiles à cerner. Ces faux-positifs ne sont pas liés à des pH de sèves acides, ces 19 sèves ayant un pH moyen d'environ 7. Les comptes de levures étant toujours environ 100 fois plus faibles que les comptes bactériens, la présence de levures ne peut être retenue comme cause d'interférence. Il faut certainement retenir que le test à la résazurine est davantage une mesure de «l'activité microbienne» qu'une mesure de la population bactérienne, c'est-à-dire que l'activité réductrice des bactéries est optimum lorsqu'elles sont en croissance.

Le test à la résazurine n'est pas non plus apte à prédire la présence de goût étranger dans le sirop d'érable. Des 32 sèves ayant donné une réponse positive au test à la résazurine, seulement 7 correspondent à des sirops ayant un goût étranger. « L'activité microbienne » détectée par le test à la résazurine de la sève n'est donc pas un indice valable de la présence de goût étranger dans le sirop correspondant. De plus, il y a 7 sirops ayant un goût étranger pour lesquels le test à la résazurine était négatif.

Le test à la résazurine détecte donc assez bien les comptes de bactéries supérieurs à 10^7 ufc/ml. L'hypothèse est donc en partie vérifiée. Cependant, les nombreux faux-positifs sont la lacune majeure de ce test et le rendent inutilisable. De plus, il n'est pas du tout corrélé avec la présence de goûts étrangers dans le sirop.

Hypothèse 2

L'acidification de la sève de 1 degré de pH par rapport à son pH en début de saison est un indice de sa détérioration microbiologique et est corrélé avec l'apparition de goût étranger indésirable.

La Figure 3 illustre la relation entre la baisse de pH de la sève (par rapport au pH de début de saison pour une érablière donnée) et le logarithme de son compte bactérien. Le coefficient de corrélation linéaire (r) de cette relation n'est que de 0,24 pour les échantillons de Bellechasse mais est de 0,71 pour les échantillons de la région de Thetford. Dans la région de Thetford, même si la corrélation est meilleure, la baisse de pH est moins sensible qu'attendue, retrouvant entre autre des baisses de pH d'un peu plus de 0,6 pour des comptes bactériens supérieurs à 10^7 ufc/ml. Dans ce cas, la baisse de pH étant faible, un bâton indicateur n'est pas suffisamment sensible pour la détecter. Dans la région de Bellechasse, plusieurs sèves avec des comptes élevés ont un pH normal. En effet, il est possible que la flore dominante de ces sèves ne soit pas acidifiante. La baisse de pH d'une sève ne permet donc pas d'évaluer le compte bactérien mais demeure une indication de l'effet de la flore sur la sève.

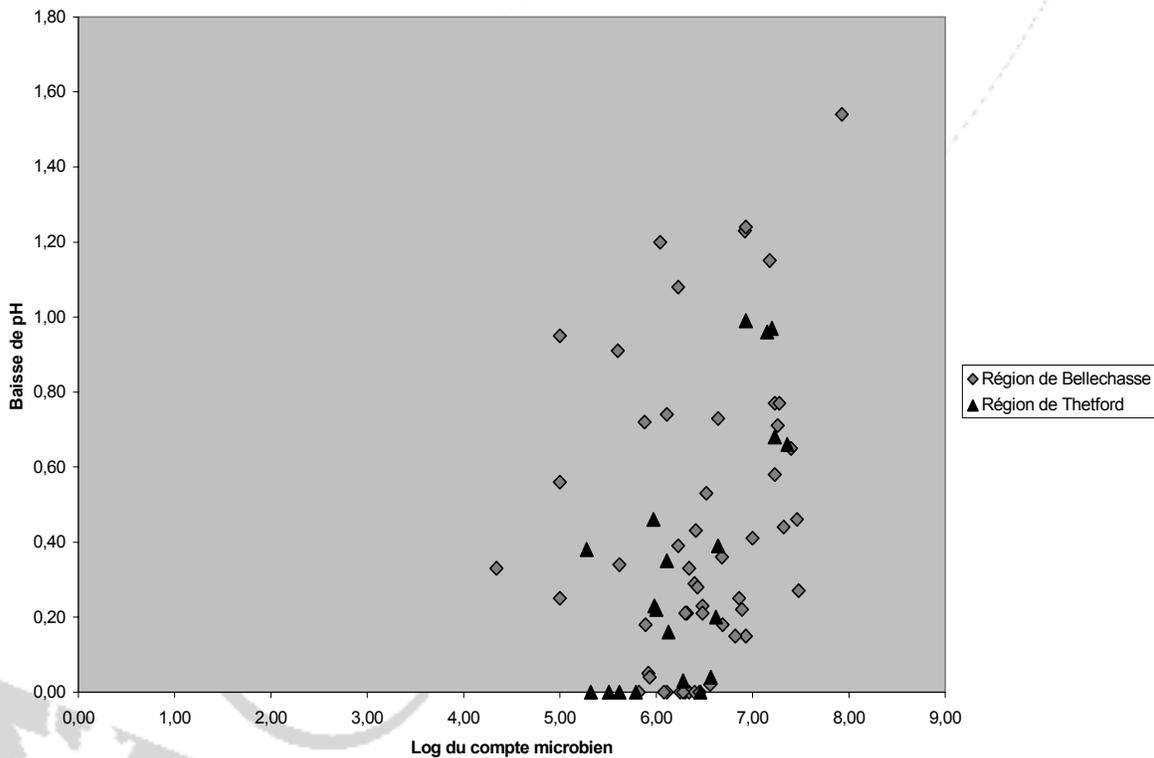


Figure 3. Relation entre le log du compte bactérien de la sève et la baisse de pH

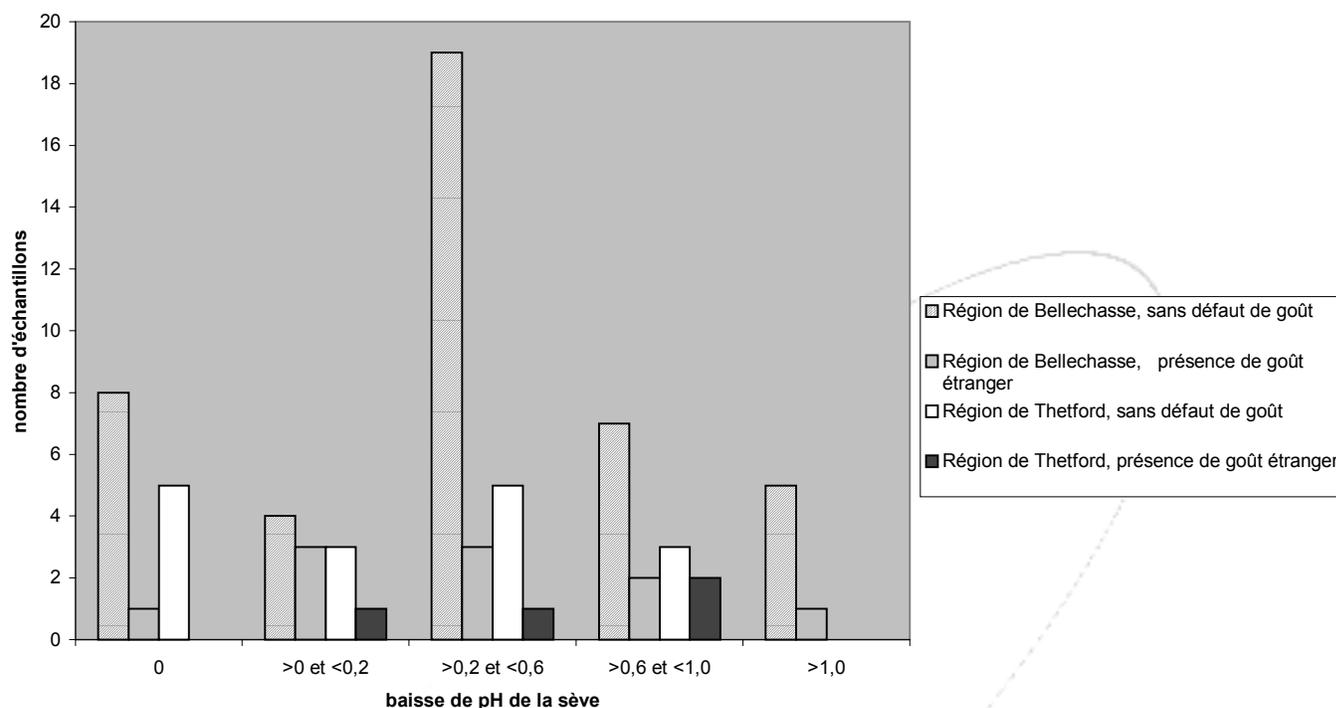


Figure 4. Distribution des baisses de pH des sèves par région, selon la présence ou non de mauvais goût dans le sirop

À la figure 4, la distribution des échantillons de sève selon leur baisse de pH montre d'abord une différence selon la région. Les échantillons de Bellechasse se situent majoritairement dans le groupe de baisse de pH $>0,2$ et $<0,6$ alors que les échantillons de Thetford sont distribués plus uniformément dans tous les groupes, mais ne sont pas présents dans le groupe à baisse de pH $>1,0$. Pour la région de Bellechasse, 6 sèves ont eu une baisse de pH supérieure à 1 unité mais un seul des sirops correspondants avait un goût étranger. Pour cette région, la baisse de pH de la sève de 1 unité n'est pas un bon indice pour prédire la présence de goût étranger dans le sirop. Pour la région de Thetford, en absence d'échantillons avec une baisse de pH $>1,0$ on note que des 5 sèves ayant subi une baisse de pH de plus de 0,6, 2 correspondent à des sirops ayant un goût étranger. Pour la région de Thetford, malgré une assez bonne corrélation entre le compte bactérien et la baisse de pH de la sève, la baisse de pH la plus accentuée observée dans cette région n'est pas un bon indice de l'apparition de goût étranger dans le sirop. Le faible nombre d'échantillons de sèves ayant subi une baisse de pH sensible ($>1,0$) est sans doute lié aux conditions de coulée lors de ce printemps. En effet, d'autres observations faites lors des saisons antérieures, montraient des baisses de pH pouvant atteindre 2 unités de pH et des sirops correspondants indéniablement mauvais.

Hypothèse 3

La mesure de la teneur en glucose d'une sève par le glucomètre Accu-Chek est suffisamment sensible et précise pour être un bon indice de la tendance d'une sève à donner un sirop foncé ayant un goût de sucre cuit (caramel) très prononcé.

L'évaluation du glucomètre présentée précédemment a confirmé la validité des résultats obtenus pour la mesure de la teneur en glucose de la sève. Il est cependant moins sensible qu'attendu, avec une limite de quantification de 2,8 mmol/l (0,05%). Les sirops d'érable ont donc été divisés en deux groupes selon une teneur en glucose dans la sève correspondante détectée (>2,8 mmol/l ou non détectée (<2,8 mmol/l). L'intensité du goût de caramel des sirops a été notée 1, 2 ou 3 soit, «caramélisation légère», «caramélisation moyenne» ou «caramélisation prononcée». Des 75 sirops analysés, les sirops ayant un fort goût étranger n'ont pu être étiquetés selon l'intensité de leur caramélisation, l'analyse suivante porte donc seulement sur 63 sirops. Le tableau 3 rapporte le %T₅₆₀ et l'intensité de goût de caramel des sirops selon une teneur en glucose de la sève correspondante détectée (>2,8 mmol/l) ou non détectée (<2,8 mmol/l).

Tableau 3. Effet de la présence de glucose dans la sève sur le %T₅₆₀ et l'intensité du goût de caramel du sirop correspondant.

Paramètres mesurés sur le sirop	Teneur en glucose de la sève correspondant au sirop	
	>2,8 mmol/l	<2,8 mmol/l
%T ₅₆₀	28,8 (16,2)	44,7 (16,2)
Intensité du goût de caramel	1,7 (1,1)	0,3 (0,6)

Les chiffres entre parenthèses représentent l'écart type calculé.

Une analyse de variance de ces résultats montre une différence significative entre le %T₅₆₀ et l'intensité du goût de caramel des deux groupes de sirop. Les sirops obtenus à partir de sève à teneur en glucose >2,8 mmol/l sont significativement plus foncés et ont un goût de caramel significativement plus intense que les sirops obtenus avec des sèves dont la teneur en glucose est < 2,8 mmol/l. Les écarts types importants indiquent que d'autres facteurs comme l'efficacité de l'évaporateur et la durée du traitement thermique influencent la couleur et le goût caramélisé d'un sirop.

La figure 5 illustre la distribution des sirops par classes de transmission de lumière selon la teneur en glucose de leur sève correspondante. On remarque que les sirops obtenus à partir des sèves dont la teneur en glucose est inférieure à 2,8 mmol/l se retrouve majoritairement dans la classe médium (44,0 à 60,5 %T₅₆₀) alors que les sirops obtenus à partir des sèves dont la teneur en glucose est supérieure à 2,8 mmol/l se retrouve majoritairement dans la classe foncée (%T<27,0). De plus, aucun sirop clair (60,5 à 75 %T₅₆₀) ni extra clair (%T>75) n'a été obtenu à partir de ces sèves à teneur élevée en glucose.

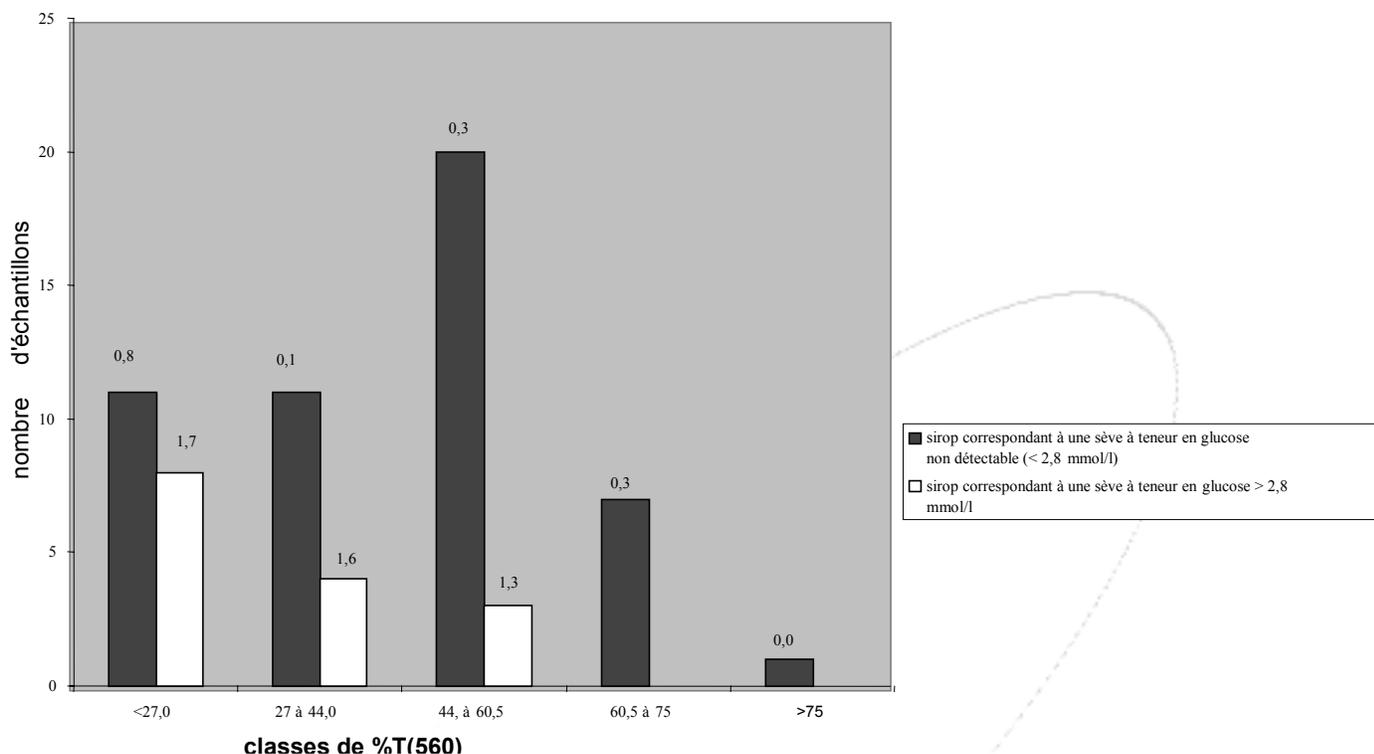


Figure 5. Distribution des sirops par classe de transmission de lumière selon la teneur en glucose de la sève, détectée (>2,8 mmol/l) ou non détectée (<2,8 mmol/l)

L'intensité moyenne du goût caramélisé est indiquée par groupe.

À la figure 5, on indique aussi l'intensité moyenne du goût de caramel pour chaque groupe. Pour chaque classe de transmission de lumière, une analyse de variance montre qu'une teneur en glucose de la sève supérieure à 2,8 mmol/l a un effet significatif sur l'intensité du goût de caramel pour les classes de sirops ambrés (27,0 à 44,0 %T₅₆₀) et médium (44,0 à 60,5 %T₅₆₀). Pour la classe de sirop foncé, l'effet est non significatif, mais les sirops obtenus à partir de sève à teneur élevée en glucose ont tendance à avoir un goût caramélisé plus intense.

Globalement, une teneur en glucose d'une sève supérieure à 2,8 mmol/l (0,05%) est un bon indice que le sirop correspondant aura tendance à être plus foncé et à avoir un goût caramélisé plus intense.



Conclusion

Le compte bactérien de la sève, qu'il soit mesuré directement sur plats de Pétri ou évalué par un test à la résazurine ne s'avère pas un indice fiable de l'apparition de goût étranger dans le sirop d'érable. En effet, des sèves dont le compte bactérien est supérieur à 10⁷ ufc/ml peuvent donner des sirops sans défaut de goût. On devrait donc approfondir les connaissances sur l'effet de la flore de la sève sur le goût du sirop, selon sa nature et/ou selon ses conditions de croissance. Quant à la résazurine, ce test donne

trop souvent de faux-positifs pour être utilisé tant pour évaluer le compte bactérien que pour prédire la présence de goût étranger dans le sirop.

De même, nous constatons que la flore de la sève n'est pas toujours acidifiante. La baisse de 1 unité de pH de la sève ne s'est donc pas avérée efficace pour évaluer le compte bactérien d'une sève. Nous avons aussi observé qu'une sève légèrement acidifiée ne conduit pas toujours à un sirop mauvais. La baisse de 1 unité de pH de la sève n'est donc pas un indice fiable pour prédire la présence de goût étranger dans le sirop. De plus, les baisses de pH observées ne sont pas toujours suffisamment sensibles pour être détectables à l'aide de bâton indicateur. Cependant, au cours d'autres travaux, des cas extrêmes de baisse de pH de plus de 2 unités ont déjà été observés, les sirops correspondants étant indéniablement mauvais. La mesure du pH de la sève à l'aide de bâton indicateur, ne peut être un outil de prédiction sensible de la qualité du sirop, mais devrait être testée comme outil de détection des cas extrêmes de contaminations acidifiantes qui modifient les propriétés du sirop.

La mesure de la teneur en glucose de la sève par le glucomètre s'est avérée être suffisamment sensible et précise pour être un indice valable de prédiction de la tendance du sirop obtenu à être caramélisé et plus foncé, bien que d'autres facteurs que la présence de glucose peuvent amener la production de sirops foncés. La facilité d'utilisation de cet appareil en fait un outil potentiel pour évaluer la qualité d'une sève et sa tendance à donner un sirop de qualité commerciale inférieure par sa couleur ou par son goût caramélisé qui masque alors les saveurs fines d'érable.



Bibliographie

- Method 31.213. Bacterial population of maple sap. IN : Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 14e edition, 1984. P. 600.
- Coleman W.K., Tai G.C.C., Clayton S., Howie M., Pereira A., 1993. A portable monitor for the rapid assesment of processing quality of stored potato tubers. American potato journal, pp.909-923.
- CRC, 1976. Handbook of chemistry and physic. 57eedition, pp. D-136-137.
- Direction des laboratoires d'expertises et d'analyses alimentaires. Module de biochimie et physico-chimie. Caractérisation de la flaveur du sirop d'érable par analyse sensorielle. Méthode 02-M-FLAV.
- Dumont J., Allard G.B., Riendeau L., 1993. Étude des facteurs les plus susceptibles de contrôler le développement de la qualité (saveur et couleur) du sirop d'érable. Rapport de projet # 1a1-22360090-121. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agroalimentaire.
- Dumont J., Saucier L., Allard G.B., Aurouze B., 1993. Microbiological, physicochemical and sensory quality of maple syrup aseptically packaged in paper-based laminate. International J. of Food Sc. And Tech., vol. 28, pp.83-93.
- Dumont J. 1995. Variation of the quality and flavour of maple sirup over the tapping season. IN : Tree sap. Proceeding of the international symposium on sap utilization. Bifuka, Japan.
- Edson H.A., Frank H.A., Bell R.A., 1912. Micro-organisms of maple sap. Vermont Agr. Exp. Station. Bull. 167.
- Gouvernement du Québec, 1992. Règlement sur les aliments. Chapitre 8. Produits de l'érable et leurs succédanés. P.119.
- Kissinger J.C., 1969. Maple products. Modified resazurin test for estimating bacterial population in maple sap. Journal of the A.O.A.C., vol. 52, no.4, pp.714-716.

- Kissinger J.C., 1974a. Collaborative study of a modified resazurin test for estimating bacterial count in raw sap. *Journal of the A.O.A.C.*, vol.57, no.3, pp. 544-547.
- Kissinger J.C., 1974b. A quick test for estimating bacterial count in raw maple sap. *Agr. Res. Service, U.S.D.A., ARS-NE-54.*
- Laing F.M., Marvin J.W., Morselli M.F., Racusen D.W., Arnold E.L., Malcolm E.G., 1971. Effect of high vacuum pumping on volume yields and composition of maple sap. *Vermont Agr. Exp. Station, Res. Rep. M.P.65.*
- Naghski J., Willits C.O., 1957. Maple sirup XI. Relationship between the type and origin of reducing sugars in sap on the color and flavor of maple sirup. *Food Res.*, vol.22, pp.567-571.
- Underwood J.C., 1963. Quick test for "buddy" flavor in maple sirup. *Agr. Res. Service, U.S.D.A., ARS-73-42.*
- Willits C.O., Frank H.A., Bell R.A., 1961. Maple sirup XIX. Flavor and color through controlled fermentation of maple sap. *Food Tech.*, vol.15, no.11, pp.473-474.