



HAL
open science

Le sirop d'érable - Partie 1 : Marché, Production et Physicochimie

Takoua Yacoubi, Ismail Fliss, Christophe B.Y. Cordella

► **To cite this version:**

Takoua Yacoubi, Ismail Fliss, Christophe B.Y. Cordella. Le sirop d'érable - Partie 1 : Marché, Production et Physicochimie. *Annales des falsifications, de l'expertise chimique et toxicologique*, 2023, 997, pp.73. hal-04183508

HAL Id: hal-04183508

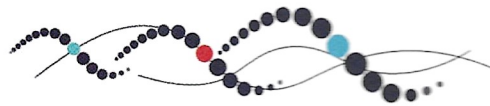
<https://hal.science/hal-04183508v1>

Submitted on 19 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



SECF

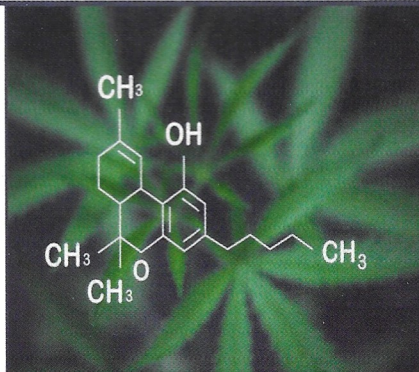
Société des Experts Chimistes de France

ANNALES DES FALSIFICATIONS, DE L'EXPERTISE CHIMIQUE ET TOXICOLOGIQUE

numéro

9 9 7

1^{er} Semestre 2023



La SECF a célébré ses 110 ans

Francisation,
un réel problème
français

Stupéfiants, enjeux
analytiques

SOMMAIRE

LE MOT DU PRÉSIDENT	2
LA VIE DE LA SOCIÉTÉ	
A/ Organisation et gouvernance de la SECF	5
B/ Evènements - Webinaires	7
ACTUALITÉ	
La SECF a fêté ses 110 ans.....	13
Freddy THOMAS, Annie MARCINCAL, Michel ROYER, La francisation, un réel problème français ? Compte rendu d'un webinaire SECF.....	22
Freddy THOMAS, EUROFINS, Quels sont les outils analytiques des laboratoires pour lutter contre la francisation et protéger les consommateurs et les producteurs français ?.....	33
Sandrine ESPEILLAC, AFNOR, La normalisation volontaire, un outil pour lutter contre les fraudes	43
SCIENCES ANALYTIQUES / CHIMIOMÉTRIE	
Frédéric SALTRON, SCL, Stupéfiants : enjeux analytiques, Colloque du 13 mars 2023.....	49
Mathilde AGRON, Romane MABILOTTE, M. GUILLAUME, Lona GUILLEMIN & Stéphane PIRNAY, Expertox, Content-container interactions for recycled/bio-sourced packaging.....	60
Arthur MICHEL, Zoé DEMANGE, Ludovic RACHOU, UNIVÉC, Cannabidiol (CBD) et autres extraits de chanvre : une filière française prometteuse.....	68
FOOD	
Takoua YACOUBI, Ismail FLISS, Christophe B.Y. CORDELLA, Institut de la Nutrition et des Aliments Fonctionnels, Université Laval, Québec, Le sirop d'érable, partie 1 : marché, production et physicochimie	73
DEUX PAGES D'HISTOIRE	
Claude MONNERET, Cannabidiol (CBD), opportunisme ou sérendipité	94
Olivier LAFONT, Pasteur et la naissance de la stéréochimie	100
NOS PARTENAIRES NOUS ECRIVENT	
L'AFTPVA communique.....	104

Le sirop d'érable

Partie 1 : Marché, Production et Physicochimie

Takoua YACOUBI^{1,2,3}, Ismail FLISS^{1,3}, Christophe B.Y. CORDELLA^{1,2,3}

¹. Département Sciences des Aliments, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois 2425, rue de l'Agriculture, Québec (Québec) G1V 0A6 Canada

². Laboratoire de Recherche et de Traitement de l'Information Chimio sensorielle – LARTIC, Département Sciences des Aliments, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois 2425, rue de l'Agriculture, Québec, QC G1V 0A6

³. Institut de la Nutrition et des Aliments Fonctionnels, Université Laval, Pavillon des Services, 2440 Bd Hochelaga Suite 1710, Québec, QC G1V 0A6

Résumé

Produit emblématique du Canada, le sirop d'érable est un produit édulcorant goûteux préparé à partir de la sève de nombreuses espèces d'érables à sucre. Comparativement à d'autres édulcorants naturels, le sirop d'érable a la préférence des nutritionnistes par rapport au sucre raffiné notamment pour sa forte concentration en composés phénoliques et sa teneur en minéraux. La présence d'acides organiques (acide malique), d'acides aminés et de quantités importantes de minéraux, tels que le potassium, le calcium, le zinc et le manganèse, rendent le sirop d'érable unique. Compte tenu de la demande croissante d'édulcorants d'origine naturelle au cours de la dernière décennie, cet article de synthèse traite et discute en détail des aspects les plus importants des analyses chimiques du sirop d'érable, en mettant particulièrement l'accent sur le marché, le procédé de production, la composition chimique et microbiologique et les paramètres sensoriels. Nous discuterons également du processus de classification des sirops d'érable pour leur entrée sur le marché et aborderons en détail les critères majeurs de cette classification qui conduit au déclassement d'une part de plus en plus importante de la production nationale au Québec. Cet article conclura sur les voies de valorisation des sirops déclassés. Une utilisation réussie du sirop d'érable déclassé dans l'industrie alimentaire reposera sur une meilleure

compréhension de sa sécurité, de son contrôle de la qualité, de son profil nutritionnel et des questions de durabilité.

Mots-clés : Sirop d'érable, analyse sensorielle, physicochimie, flore microbienne endémique

Abstract

Iconic Canadian product, maple syrup is a tasty sweetening product prepared from the sap of many species of sugar maple. Compared to other natural sweeteners, nutritionists prefer maple syrup over refined sugar, particularly for its high concentration of phenolic compounds and its mineral content. The presence of organic acids (malic acid), amino acids and significant amounts of minerals, such as potassium, calcium, zinc and manganese, make maple syrup unique. In view of the growing demand for natural sweeteners over the past decade, this review article covers and discusses in detail the most important aspect of chemical analyzes of maple syrup, with particular emphasis on the market, the production process, the chemical and microbiological composition, and the sensory parameters. We will also discuss the process of classifying maple syrups for their entry on the market and will discuss in detail the major criteria of this classification which leads to the downgrading of an increasingly large part of national production in Quebec. This article will conclude on the ways of recovering downgraded syrups. Successful use of maple syrup in the food industry will be based on a better understanding of its safety, quality control, nutritional profile, including food safety issues and sustainability.

Keywords: Maple syrup, sensory analysis, physicochemistry, endemic microbial flora

INTRODUCTION

Les érables (*Acer* spp., Famille des *Aceraceae*) font partie des essences feuillues les plus importantes d'Amérique du Nord. L'érable à sucre, cultivé uniquement en Amérique du Nord, présente l'un des plus importants feuillus dans les provinces maritimes et dans le sud de l'Ontario et du Québec. Il est la principale source de sirop d'érable du Canada [1]. Le nombre d'entailles d'érable a triplé au cours des 30 dernières années pour passer d'environ 17 millions à 47 millions d'entailles. En 2018, le Canada produisait environ 40 millions de litres de sirop d'érable, pour une valorisation de 384 millions de dollars [2]. L'industrie canadienne du sirop d'érable assure environ 71 % de la production mondiale de sirop d'érable. À ce titre, le Canada est le premier producteur mondial de produits de l'érable, 91 % provenant du Québec, 5 % de l'Ontario et 3 % du Nouveau-Brunswick [2]. Le sirop

d'érable est produit par évaporation thermique de la sève aqueuse recueillie à la fin du printemps. Lors de cette transformation, le sirop développe des caractéristiques de saveurs bien particulières qui en font un produit à part qui ne ressemble ni à un miel ni à un sirop issu de l'industrie sucrière[3]. Chaque année, d'énormes quantités de sirop d'érable dit « non classé » sont produites. Ces défauts ont diverses origines que nous explicitons dans cet article parce qu'ils constituent une problématique majeure de la filière acéricole canadienne. En moyenne, 27 % des sirops classés par la Fédération des Producteurs Acéricoles du Québec (FPAQ) comportent de tels défauts [4]. A titre d'exemple, l'industrie du sirop du Québec a chiffré une perte de l'ordre de 5,5 millions de dollars US en chiffre d'affaires de 2008 à 2017 en raison de sirops filants. Ce type de sirop présente une viscosité indésirable et souvent irréversible. Le ministère de l'Agriculture, de la Pêcherie et de l'Agroalimentaire du Québec évalue à plus de 12 millions de livres (~5 500 t) la quantité de sirop déclassé chaque année [5]. Ces déclassements constituent donc un enjeu économique majeur pour l'industrie acéricole canadienne, ce qui l'a conduit à établir dans ses principales orientations de recherche une priorité dite « Nouvelle génération de l'érable 2020 » visant à valoriser les sirops déclassés.

Le présent article est une synthèse bibliographique des connaissances sur les sirops d'érable qui participent aujourd'hui à la mise en place d'un référentiel de qualité des sirops d'érable au Québec et sur lequel s'appuie la filière acéricole Québécoise pour classer ou déclasser les sirops en fonction de leurs éventuels défauts sensoriels. Nous présentons ici une synthèse des connaissances sur les sirops d'érable et une première partie abordera les aspects économiques relatifs au marché du sirop d'érable, les définitions réglementaires, le procédé de production, la composition chimique et la flore microbienne ainsi que les paramètres sensoriels. Une seconde partie sera consacrée à la problématique de classification, de contrôle des sirops dans l'industrie acéricole canadienne ainsi que les limites actuelles de la valorisation des sirops lorsqu'ils sont déclassés.

1. Le sirop d'érable : un produit phare au Canada bien apprécié aux US et en Europe

Le sirop d'érable est un produit traditionnel faisant partie de l'identité culturelle et gastronomique québécoise. L'industrie canadienne du sirop d'érable présente environ 71 % de la production mondiale de sirop d'érable. À ce titre, le Canada est le premier producteur mondial de produits de l'érable, 91 % provenant du Québec, 5 % de l'Ontario et 3 % du Nouveau-Brunswick [6].

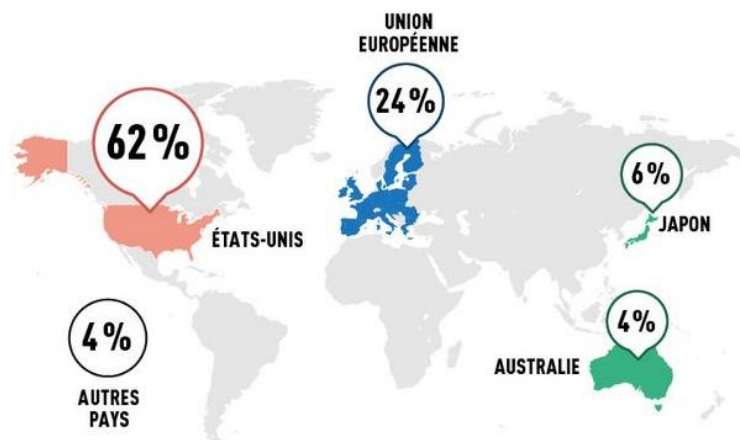


Figure 1 : Destinations majeures des opérations relatives à l'export des produits de l'érable [6]

En 2018, le Canada affichait une production d'environ 40 millions de litres de sirop d'érable, représentant une valeur de 384 M\$ CA[2]. Le taux de production des sirops d'érable a continué de croître pour atteindre plus de 54 millions de litres de sirops en 2020. Ce chiffre est en hausse de 8,3 % par rapport à la récolte record de 2019 qui affichait une production de 50 millions de litres de sirops. Parallèlement, une augmentation de 7,9 % était observée en 2020 au niveau des volumes de vente totalisant 558,5 M\$ CA [7]. Sur le plan mondial, les produits de l'érable québécois sont très demandés (Figure 1), le Québec exporte principalement son sirop d'érable aux États-Unis (62 %), vers l'Union européenne (24 %), au Japon (6 %) et en Australie (4 %)[6].

2. Sirop d'érable : une richesse insoupçonnée

2.1. Définitions

Selon le règlement sur les produits de l'érable, « Le sirop d'érable est le sirop obtenu exclusivement par concentration de la sève d'érable ou par dilution ou dissolution, dans de l'eau potable, d'un produit de l'érable. » [8]. Selon la FAO, « Le sirop d'érable est produit par ébullition, à pression atmosphérique, de la sève d'érable dans un évaporateur ouvert. On obtient du sucre d'érable en poursuivant l'évaporation jusqu'à ce que le sirop cristallise. » [9]. Enfin, le Codex *Alimentarius* définit également le sirop d'érable comme un « aliment pur et naturel obtenu par concentration et traitement thermique de la sève, communément appelée eau d'érable, provenant exclusivement des arbres du genre *Acer* lors de leur période de dormance » [10].

2.2. Processus de production

Après la récolte de la sève d'érable au moyen de tubulures, l'eau de l'érable subit une opération de concentration afin d'aboutir à un sirop. Grâce au réseau tubulaire, la sève arrive dans de grands bassins en acier inoxydable et est ensuite dirigée vers un système d'osmose inversée¹ où elle subit une forte pression qui élimine une partie de l'eau contenue dans la sève. L'acériculteur obtient ainsi une eau d'érable plus concentrée en sucre [11].

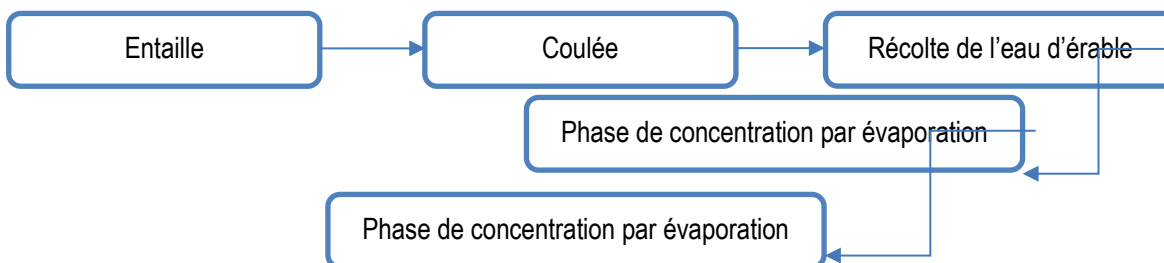


Figure 2 : Les étapes de production du sirop d'érable [11].

La température d'ébullition établie dans l'évaporateur est de 104°C. La sève d'érable est ainsi bouillie pendant plusieurs heures jusqu'à ce que le taux de sucre contenu dans le sirop d'érable atteigne 66 °Bx². **En moyenne, 40 litres d'eau d'érable sont nécessaires pour obtenir un litre de sirop** [13]. Lors de l'évaporation, des réactions de Maillard permettent au sirop de développer ses propriétés caractéristiques telles que sa couleur, son arôme et ses saveurs ainsi que son pouvoir antioxydant. La phase de concentration terminée, le sirop est filtré une dernière fois, puis transféré dans les contenants pour la vente au détail [11].

2.3. Composition chimique

Initialement, la sève d'érable est une eau sucrée contenant 2 à 3 % de saccharose, des composés organiques et des minéraux tels que le calcium, le magnésium et le potassium [12]. Les composés organiques les plus abondants dans la sève sont les acides aminés, les protéines et les composés phénoliques [13]. À la suite de la phase de concentration de la sève par évaporation, un sirop riche en sucres est obtenu avec près de 70% de saccharose, accompagnés d'un faible pourcentage de glucose et de fructose (0.2-0.3%). En plus des

¹L'osmose est un principe physique utilisé dans les systèmes de filtration d'eau. L'eau comportant naturellement des solutés et notamment des sels, si deux solutions de concentrations différentes sont placées de chaque côté d'une membrane de filtration le phénomène d'osmose poussera l'eau à traverser la membrane de façon à équilibrer les concentrations des deux compartiments ou pour équilibrer la différence de pression osmotique entre les compartiments. Dans le cas de l'osmose inverse, on exerce une pression hydrostatique, dans un des compartiments, qui dépasse la pression osmotique, on force l'eau à quitter le compartiment sous pression malgré l'augmentation de concentration en soluté qui s'y produit, et de la dilution qui se fait dans l'autre compartiment.

²Le degré Brix (°Bx) mesure la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble.

sucres, le sirop contient une grande variété de composés organiques ou minéraux tels que des acides organiques, des acides aminés, des polyphénols et quelques vitamines à des proportions inférieures à 1% [12, 14].

Cependant, la composition du sirop peut varier en fonction de la localisation géographique, du traitement et de la manipulation de la sève. Une étude faite sur 33 échantillons de sirop montre que le °Bx varie entre 61,6 et 70,2° avec une moyenne de 65,8°Bx pour les sirops issus de l'Amérique du Nord contre une moyenne de 68,5°Bx pour les échantillons originaires de la nouvelle- Écosse. Le pH des sirops oscille entre 6,0 et 7,4, variant ainsi d'un état légèrement acide à neutre.

Tableau 1 : Généralités sur la composition physicochimique des sirops d'érable provenant des différentes provinces/états d'Amérique du Nord [15].

Analyses	Province/ État							
	NE	NB	Ontario	Québec	NY	Vermont	Mc	NH
Nombres des échantillons	7	3	3	3	8	3	3	3
Brix (%)	68,5 ±1,0 8	67,5±1, 02	68,7±2, 20	67,3±0, 98	66,9± 2,35	68,1±0,5 4	65,8± 3,16	67,7±0, 80
pH	6,6± 0,34	6,9±0,1 8	6,7±0,4 3	7,2±0,1 7	6,7±0, 31	6,5±0,21	6,4±0, 31	6,7±0,3 7
T_560nm (%)	49,6 ±21, 88	68,3±2, 77	55,8±5, 96	67,6±16 ,64	70,1± 8,77	42,1±10, 20	48,1± 10,64	56,9±8, 58

NE : Nouvelle Écosse ; NB : Nouveau-Brunswick ; NY : New York ; Mc : Massachusetts ;
NH : New Hampshire

2.3.1. Sucres et acides organiques

Le saccharose est donc le sucre le plus abondant dans les sirops d'érable, avec une teneur variant entre 61,2 % à 65,8 %. La concentration des sucres invertis dépend particulièrement de l'activité microbienne de la sève avant application de tout procédé industriel de transformation. Cette dernière renferme des microorganismes aptes à l'hydrolyse du saccharose en glucose et fructose [16, 17]. Le sirop provenant du Québec présente des

concentrations réduites en glucose et fructose par rapport aux restes des sirops provenant de la Nouvelle-Écosse et de l'Amérique du Nord [15]. La concentration des acides organiques est légèrement variable selon la période d'écoulement. La teneur de quelques acides tend à augmenter au cours de la saison de récolte tels que l'acide acétique, l'acide fumarique, l'acide lactique et l'acide succinique. Leur concentration atteint un maximum en fin de saison. Cette élévation est statistiquement significative pour l'acide acétique (53,5 - 58,5 mg/g) et l'acide lactique (55,1 - 78,6 mg/g). Plusieurs paramètres, tels que l'emplacement de l'érablière, l'année d'échantillonnage ou les différences individuelles entre les érables, peuvent affecter la teneur de certains acides organiques. Cela peut expliquer en partie les valeurs minimales et maximales obtenues pour l'acide malique (Tableau 3)[16].

Tableau 2 : Marge de concentrations des acides organiques majeurs dans la sève d'érable en fonction de la période de récolte [16].

<i>Acide organique</i>	<i>Période</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Acétique</i>	0 %	11,7 ^b	6,3	<9,3	38,6
	25 %	16,1 ^b	13,6	<9,3	67,1
	50 %	14,5 ^b	7,2	<9,3	35,0
	75 %	22,9 ^b	34,5	<9,3	182,4
	100 %	53,5 ^a	58,5	<9,3	207,9
	Moyenne	24,2	35,0	<9,3	207,9
<i>Fumarique</i>	0 %	2,6 ^a	3,2	0,5	15,3
	25 %	4,7 ^a	6,6	0,6	33,4
	50 %	6,5 ^a	5,4	1,0	27,9
	75 %	12,9 ^a	24,0	1,9	105,5
	100 %	11,9 ^a	16,6	1,8	65,5
	Moyenne	7,9	14,2	0,5	105,5
<i>Lactique</i>	0 %	<5,7 ^b	0,0	<5,7	<5,7
	25 %	8,9 ^b	13,2	<5,7	70,1
	50 %	6,7 ^b	2,9	<5,7	17,0
	75 %	11,2 ^b	22,5	<5,7	118,4
	100 %	55,1 ^a	78,6	<5,7	300,4
	Moyenne	18,0	42,0	<5,7	300,4
<i>Malique</i>	0 %	213,5 ^a	298,6	<12,9	1285,8

	25 %	279,2 ^a	366,9	<12,9	1518,6
	50 %	386,2 ^a	559,7	<12,9	2283,6
	75 %	353,0 ^a	337,4	44,2	1463,2
	100 %	280,9 ^a	308,7	26,2	1246,9
	Moyenne	305,2	387,8	<12,9	2283,6
<i>Pyruvique</i>	0 %	5,4 ^a	7,1	<2,9	34,9
	25 %	8,4 ^a	10,7	<2,9	49,3
	50 %	8,7 ^a	8,0	<2,9	40,9
	75 %	14,6 ^a	22,6	<2,9	90,5
	100 %	14,4 ^a	14,6	<2,9	58,3
	Moyenne	10,4	14,1	<2,9	90,5

2.3.2. Minéraux

Le sirop d'érable comporte un ensemble de minéraux et d'ions métalliques. Le potassium, le calcium et le magnésium sont dominants, suivis du manganèse, du phosphore et du zinc [15]. La composition minérale du sirop d'érable est ainsi détaillée dans le tableau 4.

Tableau 3: Concentration moyenne des minéraux dans les sirops d'érable provenant des différentes provinces d'Amérique du Nord [15].

Analyses	Province/ État							
	NE	NB	Ontari o	Québe c	NY	Vermo nt	Mc	NH
Nombres d'échantillons	7	3	3	3	8	3	3	3
Calcium (mg/L)	852,8	900,7	638,0	842,7	795,6	1101,2	1097,1	833,9
Potassium (mg/L)	2491,5	2965,1	2544,7	2463,0	2538,5	3055,0	2378,5	2986,2
Magnésium (mg/L)	165,83	160,67	215,73	90,73	129,35	183,20	137,67	175,60
Phosphore (mg/L)	12,29	10,87	7,60	7,00	5,35	3,93	10,00	7,67

Manganèse (mg/L)	23,09	29,00	6,80	3,20	13,54	21,20	19,93	17,40
Zinc (mg/L)	3,74	4,07	3,93	3,13	5,13	4,73	5,20	3,10

NE : Nouvelle Écosse ; NB : Nouveau-Brunswick ; NY : New York ; Mc : Massachusetts ;
NH : New Hampshire

D'autres études ont également confirmé que le potassium, le calcium et le magnésium sont les minéraux les plus abondants dans la sève d'érable. La concentration minérale globale dépend de la période de récolte. Elle augmente d'une manière significative vers la fin de la saison d'écoulement. Toutefois, la teneur de certains éléments minéraux reste invariable durant toute la période de récolte, c'est le cas du potassium, du calcium et du magnésium[16].

2.3.3. Polyphénols

Le sirop d'érable étant issu de la concentration de la sève, il renferme de nombreux composés phytochimiques et en particulier des composés phénoliques. Leur teneur varie selon la physiologie de l'arbre et des facteurs environnementaux tels que l'emplacement géographique, le type de sol, les différences climatiques saisonnières, les polluants microbiens, etc. [16]. Tout au long de la concentration de la sève en sirop, les composés phénoliques sont soumis à des transformations physicochimiques telles que l'oxydation, la dégradation et la polymérisation oxydative. Ces transformations génèrent une gamme des composés aromatiques, notamment des composés phénoliques, des pyrazines et des composés carbonylés qui apportent une saveur et une couleur spécifiques au sirop d'érable [17]. Il a été identifié plus de 40 composés phénoliques dans le sirop d'érable [18, 19]. La moyenne des composés phénoliques totaux varie assez fortement d'une province à une autre, entre 3,88 et 8,48 µg/g respectivement au Québec et au Massachusetts (Tableau 5) [15].

Tableau 4: Composition phénolique moyenne des sirops d'érable en Amérique du Nord($\mu\text{g/g}$)[15].

Analyses	Province/ État							
	NE	NB	Ontario	Québec	NY	Vermont	Mc	NH
Nombres des échantillons	7	3	3	3	8	3	3	3
Vanilline	0,74	0,30	0,19	0,47	1,42	0,32	1,65	0,71
Alcool coniférylique	1,99	1,22	1,12	1,04	0,86	1,95	1,64	2,17
Syringaldéhyde	0,70	0,60	0,31	0,66	1,12	0,59	1,34	0,91
Aldéhyde coniférylique	0,14	0,08	0,08	0,10	0,09	0,13	0,13	0,11
Sinapaldéhyde	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05
Acide protocatélique	3,69	2,08	2,83	0,84	0,73	2,75	2,44	2,64
Acide vanillique	0,16	0,09	0,13	0,07	0,09	0,12	0,13	0,11
Acide syringique	0,23	0,26	0,23	0,45	0,36	0,23	0,42	0,30
Acide paracoumarique	0,23	0,15	0,35	0,35	0,33	0,27	0,31	0,27

NE : Nouvelle Écosse ; NB : Nouveau-Brunswick ; NY : New York ; Mc : Massachusetts ; NH : New Hampshire

Les différentes études menées sur le sirop d'érable a permis de recenser 13 types de phénols dont l'acide homovanillique, l'acide férulique et l'acide érucique en sont les représentants mineurs. L'acide protocatélique, l'alcool coniférylique, la vanilline et le syringaldéhyde constituent les composés phénoliques majeurs. Les teneurs moyennes de l'aldéhyde coniférylique, de l'alcool coniférylique, des acides protocatéliqués et de l'acide vanillique retrouvées dans des échantillons provenant des régions acéricoles au Canada sont parmi les plus élevées [15].

2.4. Paramètres sensoriels

Le ministère d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) dirige, en collaboration avec le centre ACER, des recherches depuis 1998 afin de mettre en place des références solides détaillant les caractéristiques sensorielles des sirops d'érable et notamment la saveur [20].

Cette dernière est transmise à travers la perception de la saveur et de l'odeur du sirop. Elle est très variable d'un sirop à l'autre, ce qui génère une flaveur spécifique pour chaque sirop [21]. Le terme « flaveur », désigne toutes les perceptions organoleptiques perçues lors de la dégustation non seulement celle du goût qui englobe les saveurs de base : sucré, salé, acide, amer, et umami, mais aussi de l'odeur perçue grâce à la présence de composés aromatiques volatils, perçus par la voie rétronasale. Ainsi, une roue des flaveurs de l'érable a été développée afin d'exprimer les différentes composantes organoleptiques du sirop dans toutes ses nuances et rendre compte du spectre étendu des saveurs des produits de l'érable élaborés en Amérique du Nord. Cette roue des flaveurs constitue la base scientifique actuelle permettant de décrire les nombreuses composantes gustatives des sirops d'érable d'une manière standard et uniforme (Figure 5)[20].

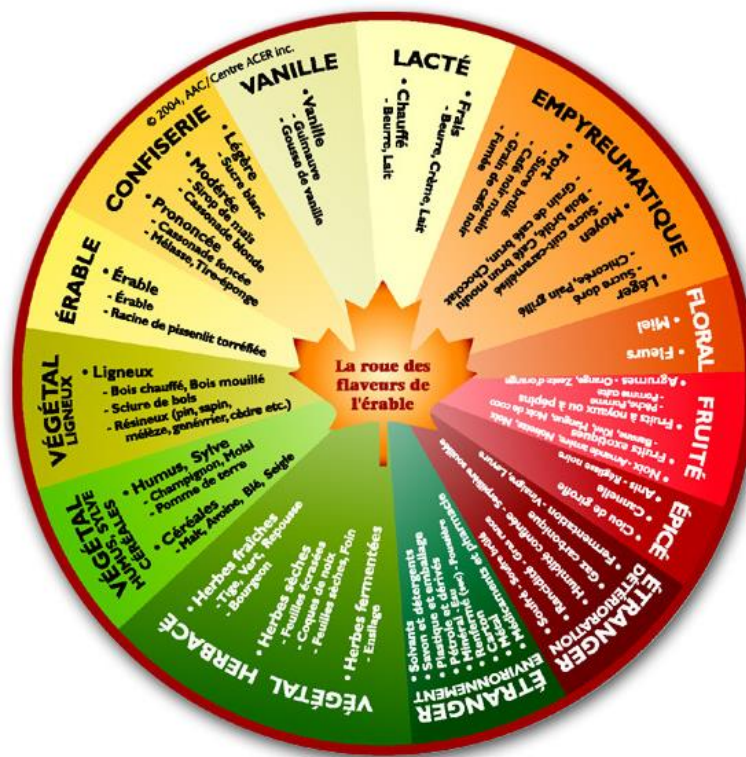


Figure 3 : Roue des flaveurs [20].

Une étude a montré qu'une diminution significative est remarquée pour le pH, la vanilline, l'odeur de vanille, le goût ligneux des plantes ainsi que leur odeur et la transmittance de la lumière, tout au long de la période de récolte. Parallèlement, une augmentation significative du goût empyreumatique, de l'odeur et du goût de confiserie, a été observée[22]. Chez l'homme, la saveur a tendance à être dominée par les arômes[23]. L'étude des composés volatils de quatre sirops d'érable typiques a montré que, bien que la plupart des composés

aromatiques détectés soient communs à tous les types de sirops, le profil aromatique de chaque type était différent. On note que parmi les composés détectés, 63 sont des composés aromatiques assez classiques : acides (1), alcool(3), aldéhydes (8), composés aromatiques (2), esters (1), dérivés furaniques (15), hydrocarbures (3), cétones (10), pyrazines (15) et substances diverses (5). Ainsi, 24 % d'entre eux étaient des pyrazines [24] dont on connaît le rôle qu'elles jouent dans la saveur des aliments[25]. Le seuil olfactif et les descripteurs olfactifs sont déterminant dans l'évaluation des caractéristiques sensorielles d'un composé odorant [26]. Dans le cas des pyrazines, ils sont très variables.

Tableau 5 : Seuils et attributs de la capacité odorante des pyrazines[27].

Composés	Seuil de perception olfactive	Descripteurs olfactifs
2-Methylpyrazine	60–100 ppm	Noix, cacao, vert, rôti, chocolat, odeur de viande
2,5-Dimethylpyrazine	7.5 ppm	Chocolat, noix grillées, terreux, saveur rappelant les chips
2,6-Dimethylpyrazine	400–1500 ppb	Chocolat, noix grillées, pommes de terre frites
2-Ethylpyrazine	4–22 ppm	Beurre d'arachide, moisi, noisette, boisé, odeur de beurre
2,3-Dimethylpyrazine	800–2500 ppb	Odeur de cacao de noisette, note verte
2-Ethyl-6-methylpyrazine	ND	Odeur sucrée grillée
2-Ethyl-5-methylpyrazine	16–100 ppb	ND
2-Ethyl-3-methylpyrazine	2 ppm	Forte odeur de pomme de terre crue, rôtie, odeur terreuse
2-Methoxy-3-(1-methylethyl) pyrazine	0.002–10 ppb	Terreux, poivron, pomme de terre crue, arôme de galbanum
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	15 ppm dans l'eau	Arachides grillées, du café, du bœuf grillé

Six alkylpyrazines (2,5-diméthylpyrazine, 2-éthyl-5-méthylpyrazine, triméthylpyrazine, 2,5-diéthylpyrazine, 3-éthyl-2,5-diméthylpyrazine et 2,3-diméthyl-5-éthylpyrazine), ont été

détectés dans des sirops d'érable et représentent 92% des composés de la famille des pyrazines[24]. Cependant, les pyrazines les plus abondantes trouvées dans le sirop d'érable sont la 2,6-diméthylpyrazine (34–43 %), la 2,5-diméthylpyrazine et la 2-méthylpyrazine[28].

2.5 Flore microbienne

Initialement stérile, la sève d'érable se charge en microorganismes à l'entaille et lors de son passage dans les tubulures[29]. La composition chimique de la sève d'érable, sa grande teneur en eau et sa faible viscosité en font un milieu propice à la croissance microbienne[30]. La grande majorité de la communauté microbienne de la sève d'érable est composée d'une flore aérobie [31], de bactéries psychrotrophes, et en particulier des espèces *Pseudomonas spp.* qui ont une présence prédominante et stable. C'est la raison pour laquelle on les retrouve sur chaque site de production tout au long de la saison de prélèvement[32]. La sève renferme aussi des levures et des moisissures[31]. La qualité microbiologique de la sève d'érable est directement à l'origine des caractéristiques du sirop. Cependant, les processus d'évaporation thermiques conventionnels utilisés pour la production des sirops d'érable améliorent souvent la qualité microbiologique de ce dernier, en éradiquant efficacement la grande majorité de la microflore viable, ce qui comprend toutes les bactéries, à l'exception des spores bactériennes capables de survivre et de surmonter la phase d'ébullition de la sève [33]. Par conséquent, seules les espèces fongiques, osmotolérantes sont généralement retrouvées dans le sirop d'érable final. Ainsi, la présence de ces organismes dans le sirop conduit à une non-conformité associée à une mauvaise maîtrise de la qualité [34]. Divers champignons sont responsables des masses visibles trouvées à la surface des échantillons. Des études ont montré que plus de 90 % des échantillons de sirop défectueux reçus entre 2010 et 2014 présentaient ce type de défauts. Des analyses ADN ont confirmé que la plupart des isolats fongiques appartenaient aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Wallemia*[34, 35]. Malgré l'amélioration des conditions sanitaires apportés durant la récolte, la survie de spores fongiques ou leur réintroduction pendant le conditionnement provoquent encore trop souvent une germination ultérieure[33].

Tableau 6 : Bioactivités du sirop d'érable et de ses extraits polyphénoliques [13, 36-40].

Activités	Auteur (s)	Extraction (solvant utilisé)	Méthode utilisée	Moyen (si présent)	Résultats
Antioxydant	(Thériault et al., 2006)	EtOAc	TBARS DPD décoloration		Inhibition de la peroxydation de 16,8-164,5% des lipides. Capacité de piégeage de 39,8-98,5% des radicaux libres.
	(Legault et al., 2010)	EtOAc	ORAC DCFH-DA (in-vitro)	WSI cellules normales	15±5µmol TE/mg ; IC ₅₀ =6 µg/ml
	(Li & Seeram, 2010)	BuOH	DPPH		Certains composés isolés (dérivés phénoliques) ont montré un pouvoir antioxydant plus intense que la vitamine C et BHT
	(Li & Seeram, 2011a)	EtOAc	DPPH		Extrait de sirop (IC ₅₀ = 77,5µg/ml), supérieur à BHT (IC ₅₀ = 660µg/ml)
Antiproliférative/ Anticancéreux	(Legault et al., 2010)	EtOAc	Cellules <i>in vitro</i>	Carcinome pulmonaire ; Adénocarcinome colorectal ; Fibroblastes	Modérément actif contre les cellules cancéreuses du poumon (IC ₅₀ = 42 µg/ml)
	(Legault et al., 2010)	Sirop dilué	Cellules <i>in vitro</i>	WSI cellules normales Poumon, Colorectal, Sein, Prostate, Cancer du cerveau	Inhibent à peine la croissance des cellules Inhibition de 28 à 74%
	(GonzálezSarrías, Li, Seeram, et al., 2012)	EtOAc ; BuOH ; MeOH	Cellules <i>in vitro</i>	Cellules humaines tumorigène et non tumorigènes du côlon	Tous les extraits étudiés étaient plus actifs contre les cellules tumorigène que les cellules non-tumorigène Activité antiproliférative
Anti-inflammatoire	(Y. Zhang et al., 2014)	EtOH suivi par EtOAc extrait	Cellules <i>in-vitro</i>	RAW 264.7 macrophages	Les extraits ont inhibé les niveaux de NO et PGE ₂ dans les macrophages
	(Legault et al., 2010)	EtOAc	Cellules <i>in-vitro</i>	RAW 264.7 macrophages	Inhibition de 75% de NO/25µg/ml extrait
Inhibition de l'enzyme α-glucosidase	(Apostolidis et al., 2011)	EtOAc ; BuOH	<i>In-vitro</i>		Inhibition des activités de la α-glucosidase chez le rat et de la α-amylase porcine. Potentiel de gestion du diabète de type 2
	(P. St-Pierre et al., 2014)	Sirop	<i>In-vivo</i>	Rats mâles	Réponses glycémiques et insulinémiques plus faibles par rapport au sirop de riz brun, sirop de maïs et dextrose.

EtAc : acétate d'éthyle ; EtOH : éthanol ; BuOH: butanol ; NO : nitrite ; TBARS : substances réactives aux composés thiobarbituriques ; DPD : N, N-diéthyl-p-phénylènediamine; DPPH : diphenylpicrylhydrazyle; ORAC : capacité d'absorbance des radicaux oxygénés ; DCFH-DA : diacétate de 2', 7'-dichlorofluoresceine ; TE : équivalent trolox; IC₅₀ : concentration d'inhibition de 50 % du sujet d'intérêt ; BHT : hydroxytoluène butylé; PGE₂ : prostaglandineE2

3. Classification des sirops d'érable : le palais du consommateur décide toujours, *in fine*

3.1. Différentes catégories destinées à la consommation régulière

L'organisation des Producteurs et Productrices Acéricoles du Québec (PPAQ) confère à la Division Inspection du centre ACER la responsabilité de faire le classement du sirop d'érable produit en vrac au Québec. Il existe différentes classifications pour la distinction des différents types du sirop d'érable. En fait, la catégorisation des sirops extra clairs, clair, médium, ambré et foncé, du Canada et la répartition 1, 2 et 3 ainsi que les catégories A et B des États-Unis, ne sont plus valables. Cependant, il est indispensable d'uniformiser la définition du sirop d'érable, et ce, à l'échelle internationale. La grille de répartition du sirop a donc été mise à jour en créant quatre classes qui sont en lien avec la couleur et le goût du produit[36, 41]. La couleur est également

étudiée en se basant sur la transmission photométrique de la lumière à la longueur d'onde de 560nm, en considérant la glycérine comme référence (100 % de transmission de la lumière).

Tableau 7 : Les différentes classifications des sirops d'érable [36, 42].

Nouveau système de classement			Ancien système de classement		
Transmission de lumière (%)	Couleur	Goût	Transmission de lumière (%)	Grade	Couleur
>75,0	Doré	Délicat	>75,0	Canada NO.1	Extra clair
50,0- 74,9	Ambré	Riche	60,5- 74,9	Canada NO.1	Clair
25,0- 49,9	Foncé	Robuste	44,0- 60,4	Canada NO.1	Médium
<25,0	Très foncé	Prononcé	27,0- 43,9	Canada NO.2	Ambré
			<27,0	Canada NO.3	Foncé

Chaque année, d'énormes quantités de sirop d'érable dits « non classés » sont produites[43]. Ils correspondent à des sirops ayant une couleur plus foncée et un goût plus prononcé par rapport aux différentes catégories citées précédemment. Ils sont donc considérés de qualité inférieure et ne peuvent plus être vendus comme sirops de table. En conséquence, ces sirops d'érable déclassés s'accumulent année après année pour atteindre près de 6 millions de kilogrammes [44]ce qui devient un enjeu économique important pour l'industrie acéricole du Canada. Ce problème s'est amplifié suite une augmentation récente de la demande mondiale en sirop d'érable des dernières années[45]. Il devient ainsi indispensable de valoriser les surplus en sirop qui atteignent, depuis 2017, 38 % de la production totale de sirop d'érable (figure 4).

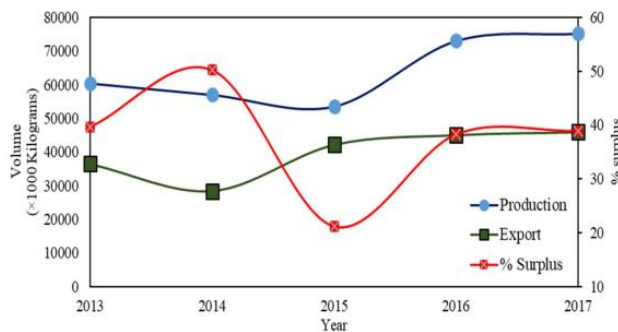


Figure 4: Évolution de la production, de l'exportation et du surplus entre 2013-2017[45].

3.2. Défauts sensoriels et déclassé des sirops

La fédération des PPAQ, responsable de la mise en marché des sirops en vrac au Québec, travaille à la caractérisation des défauts sensoriels des surplus déclassés en définissant 6 sous-classes de défauts pour mieux valoriser les « invendus » (Tableau 10).

Tableau 8: Les différentes catégories des sirops d'érable déclassés selon la FPAQ[46].

Type	Code	Description
Défaut d'origine naturelle	1	Bois (VR11), sève (VR12), brûlé et sur-caramélisé (VR13)
Défaut d'origine microbiologique	2	Moisissure et fermentation
Défaut d'origine chimique	3	Traces de résidus d'un contaminant chimique (souvent lié aux produits de lavage ou d'assainissement)
Défaut non identifié	4	Ensemble de mauvais goûts non identifiables (VR4 ou CT4), Métal (VR43)
Défaut bourgeon	5	Goût de bourgeon
Sirop filant	6	Sirop visqueux qui file de 10 cm (4 po) ou plus

La qualité du sirop d'érable, notamment la saveur et la couleur, dépend d'un ensemble de paramètres internes et externes. Le métabolisme de l'arbre, la composition chimique de la sève d'érable, le pH et la charge microbienne représentent les facteurs intrinsèques majeurs ayant un impact direct sur la qualité du produit final[30, 47]. En outre, les facteurs externes, englobent les conditions climatiques qui sont intimement liées à la production de la sève, de même que l'origine géographique [48], l'aération, l'exposition à la lumière, les matériaux utilisés, le nettoyage[49], les conditions d'entreposage de la sève, les procédés de transformation[47] et la post-contamination. En guise de conclusion, la qualité de la sève d'érable dispose d'une importance majeure par rapport à la qualité des sirops produits, car elle représente le maillon initial de la chaîne de production.

Tableau 9 : Classification du sirop d'érable selon la catégorie de défaut[50].

Année	Sans défaut	VR1	VR 2	VR4	VR5	Non conforme	Retenu	Total classé (tonnes)
2014	87,8 %	5,3 %	0,2 %	1,7 %	3,7 %	0,8 %	0,5 %	41 750,8
2013	93,3 %	2,5 %	0,2 %	1,4 %	1,9 %	0,5 %	0,2 %	45 485,2
2012	58,3 %	5,8 %	0,2 %	2,1 %	4,3 %	2,0 %	0,3 %	36 934,2

3.3. Processus de classification

C'est à la réserve stratégique mondiale ou chez l'acheteur autorisé que l'on prépare l'échantillonnage des barils. Une étiquette identifiant le sirop d'érable à son producteur sera apposée sur chacun des pots de verre afin d'assurer une traçabilité de chaque instant. Plus de 300 000 barils sont classés annuellement. La chaîne du froid doit être maintenue lors du transport jusqu'au moment du classement. Avant l'analyse, chaque échantillon est porté à la température ambiante et agité pour assurer son homogénéité [51]. Pour aboutir à une classification semi-automatique des échantillons, des mesures spectrophotométriques (fluorescence frontale) et un examen visuel de la limpidité sont réalisés afin de vérifier la présence ou l'absence de matière en suspension. La mesure du degré Brix vient compléter les deux caractérisations précédentes avec une limite supérieure admissible de 66 %. Concernant la qualité organoleptique, un dégustateur expert effectue une prise d'échantillon à partir des barils afin de confirmer l'absence de toute anomalie organoleptique. L'évaluation de la saveur et de l'odeur du sirop est d'une importance capitale lors du processus de classification. Parfois, les sirops peuvent avoir une saveur atypique avec un goût désagréable, ce qui camoufle la saveur normale de l'érable. La classification des sirops atypique dépend de l'intensité de la saveur en attribuant aux échantillons le symbole adéquat (tableau 12).

Tableau 10 : Symboles codant la qualité organoleptique des sirops déclassés[46].

Symbole	Intensité
√	Légère trace de goûts et/ou d'odeurs indésirables
VR	Saveurs et odeurs désagréables (VR1, VR2, VR4, VR5)
CT	Saveurs et odeurs fortes et désagréables qui affectent sévèrement la valeur commerciale du produit (CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6)

Dans le cas où un sirop renfermerait des défauts profonds d'origine chimique, organoleptique ou microbiologique et que le vérificateur de qualité a énoncé la non-conformité de l'échantillon à la consommation humaine ou aux règlements, l'échantillon est alors conservé pour des analyses plus approfondies. Si les résultats sont alignés avec ceux du premier classement, le sirop est alors automatiquement détruit. D'autres analyses vérifiant la conformité des sirops à la réglementation sont appliquées. Notamment le dosage de la teneur en plomb, iode et en sodium ainsi que la présence d'allergènes ou de formaldéhyde [46]. Sous certaines conditions, les producteurs acéricoles peuvent demander une révision de classification [46].

3.4. Valorisation des sirops d'érable déclassés

Les débouchés sont peu nombreux pour le sirop d'érable déclassé du fait de son coût relativement élevé à 1,80 CAD/livre en 2013, et de son goût désagréable. Par conséquent, les stocks de sirop ayant une qualité inférieure s'accumulent année après année. En réponse à ce problème, plusieurs recherches ont été menées pour la valorisation des sirops d'érable déclassés. L'industrie québécoise et canadienne de l'érable a fait de la valorisation des sirops déclassés l'une de ses principales priorités de ses orientations de recherche[44].

Des essais de valorisation par séchage des sirops déclassés par lyophilisation ont été tentés, mais l'effet du procédé sur les propriétés nutritionnelles et la stabilité lors du stockage à long terme, n'ont pas encore donné satisfaction [3]. Parmi les travaux de recherche qui ont été publiés, Aït-Aissa et al [43], ont opté pour un traitement aux charbons actifs afin de clarifier la couleur des concentrés et d'augmenter ainsi la valeur commerciale de ces derniers. Les pigments colorants du sirop d'érable ayant été adsorbés, il en résulte une réduction significative de la couleur et une augmentation de la transmittance des échantillons traités pouvant atteindre plus de 83%. Traités ainsi, les échantillons peuvent être reclassés comme extra clairs selon la classification canadienne du sirop d'érable[43]. Mais ce procédé de valorisation se limite à l'amélioration de l'aspect visuel (couleur) du sirop sans changement au niveau gustatif qui est le critère à l'origine du déclassement.

CONCLUSION

Nous avons parcouru les principaux critères de qualité des sirops d'érable (physicochimiques, microbiologiques, sensoriels) qui conduisent à l'établissement d'un référentiel de qualité fondé sur la recherche et la détection de défauts sensoriels rédhitoires pour la vente au détail. Cela pose alors la question de la valorisation des sirops déclassés et qui ne peuvent être vendus comme sirops de table et qui ne peuvent pas non plus être valorisés directement dans l'industrie agroalimentaire soit par manque d'information et l'impossibilité de bien définir le type de défaut sensoriel soit parce que le défaut sensoriel est si intense et mal accepté par les consommateurs que la production ne peut trouver de voie de valorisation acceptable et finit par être détruite. De nombreuses recherches ont donc focalisé leurs efforts sur l'origine des principaux défauts sensoriels sans avoir véritablement trouver de solution généralisable à tous les défauts sensoriels détectés. Les surplus de production déclassés s'accumulant d'année en année pour atteindre plusieurs milliers de tonnes par an, il devient urgent de trouver des solutions analytiques pour la caractérisation des différents défauts sensoriels de façon à soulager les acteurs du contrôle de la

filière acéricole canadienne et québécoise et à réduire les pertes annuelles et améliorer la durabilité de la production. C'est dans ce sens que travaille déjà depuis plusieurs années la fédération des Producteurs et Productrices Acéricoles du Québec en partenariat avec différentes universités canadiennes et en particulier l'université Laval à Québec.

BIBLIOGRAPHIE

1. Mamdouh M. Abou-Zaid., et al., *High-Performance Liquid Chromatography Characterization and Identification of Antioxidant Polyphenols in Maple Syrup*. *Pharmaceutical Biology* 2008. volume 46.
2. Canada, S. *Le sirop d'érable : une richesse de la nature*. 2019; Available from: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-627-m/11-627-m2019021-fra.htm>.
3. Bhatta, S., Développement d'ingrédients alimentaires à partir d'érables. Valorisation des extraits des écorces d'érables et du sirop de qualité inférieure. 2019, université Laval.
4. Herry, H., *Monographie de l'industrie acéricole du Québec*. 2011: Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation, Direction générale des politiques agroalimentaires, Direction du développement et des initiatives économiques, ressource en ligne, Collections de BANQ.
5. ACER, C., *Évaluation des avenues de traitement permettant la valorisation du sirop d'érable comportant des défauts de saveur de type bourgeon (vR5-NC5)*. 2014, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
6. Québec, G.d. *Production de sirop d'érable (acériculture)*. 2021 [cited 2021; Available from: <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/agriculture/industrie-agricole-au-quebec/productions-agricoles/production-sirop-erable-acericulture>.
7. Québec, G.d. *Produits de l'érable, 2020*. 2021; Available from: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/201210/dq201210e-fra.htm>.
8. ACIA. *Normes d'identité canadiennes : Volume 6 – Produits de l'érable*. 2021; Available from: <https://inspection.canada.ca/a-propos-de-l-acia/lois-et-reglements/liste-des-lois-et-reglements/documents-incorpores-par-renvoi/normes-d-identite-canadiennes-volume-6/fra/1521132920112/1521132920549?gf=undefined&wbdisable=true#wb-cont>.
9. FAO. *Règlement sur les produits de l'érable*. 2015; Available from: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/can80773.pdf>.
10. Perreault, B., *Définition du sirop d'érable*. 1998, Agri-Réseau.
11. PPAQ. *Les étapes de production du sirop d'érable*. 2021; Available from: <https://ppaq.ca/fr/production-acericole/production-du-sirop-erable/>.
12. Ball, D.W., *The Chemical Composition of Maple Syrup*. Chemistry for Everyone, 2007.
13. Legault, J., et al., *Antioxidant activity, inhibition of nitric oxide overproduction, and in vitro antiproliferative effect of maple sap and syrup from Acer saccharum*. *Medicinal Food*, 2010.
14. Sadiki, M. and N. Martin, *Solid-Phase Extraction and Procedure for Determination of Phenolic Compounds in Maple Syrup*. *Food Anal. Methods* 6:737–744, 2013.
15. Nimalaratne, C., J. Blackburn, and R.R. Lada, *A comparative physicochemical analysis of maple (Acer saccharum Marsh.) syrup produced in North America with special emphasis on seasonal changes in Nova Scotia maple syrup composition*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103573, 2020.
16. Lagace, L., et al., *Biochemical composition of maple sap and relationships among constituents*. *Food Composition and Analysis* 41 (2015) 129–136, 2015.
17. Perkins, T.D. and A.K.v.d. Berg, *Maple syrup-production, composition, chemistry, and sensory characteristics*. *Adv Food Nutr Res*. 2009;56:101-43., 2009.
18. Lada, R.a.N., K., *Nova Scotia Maple Production Informatics and Maple Syrup Chemical Analysis*. 2013: Nova Scotia maple research programme newsletter
19. Potter, T.L.a.F., I. S., *Phenolic compounds in maple syrup*, in *Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health*. 1992: Chem. Soc, Washington, DC. p. 193–199.

20. Canada, G.d. *La recherche sur la flaveur du sirop d'érable*. 2021 [cited 2021; Available from: <https://agriculture.canada.ca/fr/nouvelles-dagriculture-agroalimentaire-canada/realisations-scientifiques-agriculture/recherche-flaveur-du-sirop-derable>.
21. Sabik, H., M. N., and Fortin, *Identification of potential impact odorants in four typical maple syrups using headspace solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry*, in *proceedings of the 12e international flavor conference*, C.e.M. Ho, Editor. 2010, Recent advances in food and flavor chemistry. p. C p.69-77.
22. Filteau, M., et al., *Maple sap predominant microbial contaminants are correlated with the physicochemical and sensorial properties of maple syrup*. *International Journal of Food Microbiology* 154 (2012) 30–36, 2012.
23. Nursten, H., *The Maillard reaction: chemistry, biochemistry and implications*. 2005, London, UK: The Royal Society of Chemistry.
24. Sabik, H., J. Fortin, and N. Martin, *Identification of pyrazine derivatives in a typical maple syrup using headspace solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry*. *Food Chemistry* 133(3):1006–1010, 2012.
25. Lorrain, B., et al., *Selection of potential impact odorants and sensory validation of their importance in typical Chardonnay wines*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006. 54 p. 3973–3981.
26. Delahunty, C.M., G. Eyres, and J.-P. Dufour, *Gas chromatography/olfactometry*. *Journal of Separation Science*, 29, 2107–2125., 2006.
27. Burdock, G.A., *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*. 2002, Boca Raton FL, USA: CRC Press.
28. Akochi-K, E., et al., *Quantitation of alkylpyrazines in maple syrup, maple flavors and non-maple syrups*. *Food Research International* 27 (1994) 451-457, 1994.
29. Morselli, M.F. and M.L. Whalen, *Aseptic tapping of sugar maple (Acersaccharum) results in light color grade syrup*. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(7), 999–1005., 1991.
30. Lagace, L., et al., *Prédiction rapide de la qualité du sirop d'érable et de la qualité sensorielle par estimation de la qualité microbienne de la sève d'érable à l'aide de la bioluminescence ATP* *Journal of Food Science*, 67 (5), 1851–1854, 2002.
31. Lagacé, L., et al., *Biofilm Formation and Biocides Sensitivity of Pseudomonas marginalis Isolated from a Maple Sap Collection System* *Food Protection*, 2006, 69(10), 2411–2416, 2006.
32. Filteau, M., et al., *Correlation of maple sap composition with bacterial and fungal communities determined by multiplex automated ribosomal intergenic spacer analysis (MARISA)*. *Food Microbiology*, 28(5), 980–989, 2011.
33. Jennifer, P. and F. Maria, *A Comprehensive Review of Maple Sap Microbiota and Its Effect on Maple Syrup Quality*. *Food Reviews International*, 2020.
34. Calder, B.L., et al., *Identification of Microbial Spoilage in Maple Syrup Samples*. *Maple Syrup Digest*, 2011.
35. Hopkins, K.M., et al., *Microbial Contamination in Maple Syrup*. *Maple Syrup Digest*, 2014.
36. Canada, G.d. *La Gazette du Canada, Partie I, volume 148, numéro 26 : Règlement modifiant le Règlement sur les produits de l'érable*. 2014; Available from: <https://gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2014/2014-06-28/html/reg1-fra.html>.
37. Apostolidis, E., et al., *In vitro evaluation of phenolic-enriched maple syrup extracts for inhibition of carbohydrate hydrolyzing enzymes relevant to type 2 diabetes management*. *Journal of functional foods* 3 (2011) 100-106, 2011.
38. Li, L. and N.P. Seeram, *Maple Syrup Phytochemicals Include Lignans, Coumarins, a Stilbene, and Other Previously Unreported Antioxidant Phenolic Compounds*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(22), 11673–11679, 2010.
39. Thériault, M., et al., *Antioxidant, antiradical and antimutagenic activities of phenolic compounds present in maple products* *Food Chemistry* 98 (2006) 490–501, 2006.
40. Zhang, Y., et al., *Chemical compositional, biological, and safety studies of a novel maple syrup derived extract for nutraceutical applications*. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62, 6687–6698, 2014.
41. Ministère de l'Agriculture, d.P.e.d.l.A. *De nouvelles catégories pour le classement du sirop d'érable*. 2014 [cited 2021; Available from: <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/aout2014/Pages/classementsirop.aspx>.

42. Aliments, A.c.d.i.d. *Recueil des normes canadiennes de classification : Volume 7 – Sirop d'érable: Exigences relatives aux catégories de sirop d'érable*. 2021; Available from: <https://inspection.canada.ca/a-propos-de-l-acia/lois-et-reglements/liste-des-lois-et-reglements/documents-incorpores-par-renvoi/recueil-des-normes-canadiennes-de-classification-v/fra/1521118355767/1521118356469?chap=2>.
43. Aït-Aïssa, A., et al., *Development of a Process for Color Improvement of Low-Grade Dark Maple Syrup by Adsorption on Activated Carbon*. Pubmed.gov, 2020.
44. Martin, N., *Évaluation des avenues de traitement permettant la valorisation du sirop d'érable comportant des défauts de saveur de type bourgeon (vR5-NC5)*. 2014, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).
45. Canada, A.a.A.-F., *Statistical Overview of the Canadian Maple Industry 2017*. 2018, Agriculture and Agri-Food Canada
46. PPAQ. *Vérification de la qualité du sirop d'érable en vrac*. 2021; Available from: https://ppaq.ca/app/uploads/2021/07/PPAQ_DepliantACER_Infographics_2021-final.pdf.
47. Dumont, J., G. Allard, and L. Riendeau, *Étude des facteurs les plus susceptibles de contrôler le développement de la qualité (saveur et couleur) du sirop d'érable*. . 1993, M.A.P.A.Q. et Agriculture Canada.
48. Rondeau, A., A., *L'acériculture face aux changements climatiques : inventaire des impacts potentiels et mesures d'adaptation*. 2007, Centre universitaire de formation en environnement- Université de Sherbrooke: Sherbrooke (Qc).
49. Morselli, M.F., M.L. Whalen, and K.L. Baggett, *Characteristics of Maple Syrup Processed from Bleach-Treated Sap*. Journal of Food Protection 48, 204-206., 1985.
50. Bois, Y. and C. Anecou, *Le classement du sirop d'érable. Les efforts se poursuivent en 2014*. 2014, Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole (ACER).
51. PPAQ. *La classification du sirop d'érable, gage de qualité*. 2021 [08-2021]; Available from: <https://ppaq.ca/fr/production-acericole/classification-du-sirop-erable-qualite/>.