

Université de Montréal

**Ingestion de produits de l'érable pendant l'exercice : effets
sur l'appréciation, les sensations de goût des boissons et la
perception d'effort**

par Lorianne Lavoie

École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique
Faculté de médecine

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès sciences
en sciences de l'activité physique
option physiologie de l'exercice

Avril 2019

© Lorianne Lavoie, 2019

Résumé

L'utilisation de glucides exogènes dans le but d'améliorer les performances a fait l'objet de plusieurs études et revues de littérature. Quelques mécanismes sous-jacents à l'amélioration de ces performances ont été identifiés, mais plusieurs restent incertains. Des recommandations concernant l'apport ainsi que la composition de produits pour sportifs ont été émises. Quelques auteurs ont rapporté que les éléments composant les boissons influencent la perception de ces dernières. Ainsi, quelques travaux, dont celui-ci, se sont attardés à l'évaluation des caractéristiques sensorielles de boissons pour sportifs dans un contexte d'exercice. Le but de ce projet est de comparer des produits pour sportifs à base d'érable (eau et sirop) avec un placebo, une solution de glucose, et une boisson commerciale pour identifier les différences au niveau de l'évaluation sensorielle, de la perception d'effort lors d'une épreuve en endurance ainsi que de la performance sur un contre-la-montre de 20 km. Un total de 76 hommes actifs, âgés entre 18 et 45 ans ont complété le protocole. L'eau d'érable fut perçue comme l'une des boissons les plus sucrées, mais fut moins appréciée que le sirop d'érable (pré : $6,6 \pm 1,6$ vs $4,5 \pm 1,6$ et post $6,2 \pm 2,0$ and $4,1 \pm 1,8$; $p < 0,05$, pour le sirop d'érable et l'eau d'érable selon l'échelle d'appréciation). Les sujets ayant reçu l'eau d'érable ont toutefois rapporté une perception d'effort plus faible à 120 min d'exercice en comparaison avec ceux ayant reçu le placebo ($14,1 \pm 2,2$ vs $16,0 \pm 2,0$, respectivement, selon l'échelle de Borg). Enfin, aucune boisson n'a présenté d'avantage sur la performance au contre-la-montre. En résumé, les produits à base d'érable sont appréciés lors d'un effort de longue durée et semblent être une alternative raisonnable aux produits couramment utilisés.

Mots-clés : produits acéricoles, palatabilité, cyclisme, perceptions sensorielles

Abstract

Several studies and reviews have addressed the use of exogenous carbohydrates to improve performance. A few underlying mechanisms were identified, but many remain unclear. Recommendations regarding carbohydrate intake and beverage composition have been issued. Some authors have reported that perceptions of sports drinks are influenced by their composition. A few studies, including this one, have assessed sports drinks sensory characteristics during exercise. The aim of the current study is to compare maple-based products (maple water and syrup) with a placebo, a glucose solution and a commercial drink to identify differences in sensory characteristics, in perceived exertion during an endurance task and in performance during a 20 km time trial. A total of 76 active males, between the age of 18 and 45 have completed the task. Maple water was rated as one of the sweetest drinks, but was significantly less appreciated than maple syrup (pre : 6.6 ± 1.6 vs 4.5 ± 1.6 and post 6.2 ± 2.0 and 4.1 ± 1.8 ; $p < 0.05$, for maple syrup and maple water, according to hedonic scale). Furthermore, subjects who received maple water reported a lower perceived exertion at 120 min of exercise in comparison with those who received the placebo (14.1 ± 2.2 vs 16.0 ± 2.0 , respectively, according to Borg scale). At last, there was no significant difference in the time-trial performance for any of the conditions. In summary, maple-based sports drinks are well appreciated during prolonged exercise and appear to be viable alternatives to more common sources of carbohydrates.

Keywords : maple sugar, palatability, cycling, sensory perceptions

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures	vi
Liste des sigles	vii
Liste des abréviations	viii
Remerciements.....	x
Chapitre 1 : Introduction	1
Chapitre 2 : Les glucides comme aide ergogène	3
2.1 Les mécanismes d'action	3
2.1.1 Préservation de réserves de glycogène musculaire.....	4
2.1.2 Disponibilité et oxydation des glucides	4
2.1.3 Mécanismes centraux.....	5
2.2 Lignes directrices concernant l'apport des boissons pour sportifs.....	6
2.3 Composition des boissons pour sportifs	7
2.3.1 Le type de glucides contenu dans les boissons pour sportifs.....	8
2.3.2 Le contenu en électrolytes des boissons pour sportifs.....	12
Chapitre 3 : Autres facteurs influençant la formulation de boissons pour sportifs.....	14
3.1 Les caractéristiques sensorielles.....	14
3.1.1 Types d'outil pour mesurer les caractéristiques sensorielles des boissons	14
3.1.2 Évaluation des caractéristiques organoleptiques et impact sur la consommation....	17
3.1.3 Caractéristiques organoleptiques et performance.....	22
3.2 Autres facteurs	24
3.2.1 Ingestion volontaire versus stratégie d'hydratation planifiée	24
3.2.2 Température des boissons et température externe.....	27
3.2.3 Effet sur la perception d'effort	28
3.2.4 Autres facteurs.....	29
Chapitre 4 : Article.....	31

Ingestion of maple-based sports drinks, effect on perceived exertion, palatability and time-trial performance: an interventional study.....	31
Abstract.....	31
Background.....	32
Methods	33
Subjects.....	33
Experimental protocol	34
Measurements	36
Statistical Analysis	36
Results	37
Sensory Characteristics.....	37
Beverage Appreciation	38
Perception of effort.....	40
Time-trial performance.....	41
Discussion.....	41
Conclusions.....	44
Declarations	45
References.....	46
Chapitre 5 : Discussion générale	49
5.1 Analyse des questionnaires sensoriels.....	49
5.2 Effet des conditions expérimentales sur la perception d’effort.....	51
5.3 Effet des conditions expérimentales sur la performance au contre-la-montre.....	52
5.4 Limites et forces de l’étude.....	54
5.5 Implication	55
5.6 Conclusion	55
Bibliographie	57

Liste des tableaux

Tableau I.	Tiré de Thomas et coll. 2016. Recommandations pour l'apport en glucides dans le cadre d'efforts en endurance de durées différentes.	7
Tableau II.	Tiré de Baker et Jeukendrup. 2014. Recommandations concernant le contenu en glucides, électrolytes et l'osmolarité de différents types de boissons de réhydratation.....	8
Tableau III.	Pouvoir sucrant relatif de différents types de glucides.	9
Tableau IV.	Résumé d'études ayant évalué les caractéristiques organoleptiques	16

Liste des figures

Figure 1. Tirée de Baker et Jeukendrup. 2014. Mécanismes proposés pour l'absorption de l'eau et d'autres molécules.	11
Figure 2. Tirée de Passe et coll. 2004. Moyenne \pm erreur-type pour l'appréciation générale des différents types de boissons (échelle hédonique à 9 points).....	18
Figure 3. Tirée de Passe et coll. 2004. Moyenne \pm erreur-type pour la consommation totale des différents types de boissons.....	18
Figure 4. Tirée de Passe et coll. 2000. Appréciation générale des boissons à l'état de repos et à la suite de 90 min et 180 min d'exercice.	20
Figure 5. Tirée de Passe et coll. 2000. Quantité totale de liquide consommé (g) entre 30 et 180 min d'exercice.....	20
Figure 6. Tirée de Ali et coll. 2011. Changement relatif de la perception du goût sucré au courant de l'exercice pour les différentes conditions expérimentales.	22
Figure 7. Tirée de Desbrow et coll. 2007. Données individuelles sur la performance au contre-la-montre.....	23
Figure 8. Tirée de Pitts, Johnson, et Consolazio. 1944. Effet des différentes stratégies d'hydratation sur la température rectale lors d'une marche de 6 h dans la chaleur.....	25
Figure 9. Tirée de Kenefick. 2018. Études ayant observé une diminution de la performance lorsque le taux de déshydratation est \geq à 2% de la masse corporelle totale.....	26
Figure 10. Tirée de Backhouse et coll. 2005. Perception de l'effort lors de 120 min d'exercice avec (CHO) et sans (PLA) ingestion de glucides.	28
Figure 11. Tirée de Maughan et Murray. 2000. Appréciation de différents emballages et apport total (g).	30

Liste des sigles

ACSM : American College of Sports Medicine

Liste des abréviations

°C : degré Celsius

g : gramme

g/h : gramme par heure

g/min : gramme par minute

h : heure

km : kilomètre

min : minute

mL : millilitre

mM : millimolaire

mmol/L : millimole par litre

mmol · l⁻¹ · h⁻¹ : millimole par litre par heure

oz : once

s : seconde

vs : contre

W : watt

Je désire dédier ce mémoire à mes parents, Martine et Claude, qui ont su m'appuyer et m'encourager depuis le début.

Remerciements

Un gros merci à :

mon directeur de recherche, Jonathan Tremblay, sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Merci pour les bons conseils ainsi que pour l'opportunité.

tous les participants qui ont généreusement donné de leur temps.

Nicolas et Xavier d'avoir partagé une partie de cette aventure avec moi.

Jacob d'avoir été patient, à l'écoute, compréhensif et l'un de mes plus grands supporteurs.

Chapitre 1 : Introduction

Grâce à ses multiples papilles gustatives, l'être humain est capable de différencier cinq types de goûts primaires ; le goût sucré, salé, acide, amer et umami. Auparavant, la perception de ces goûts dans l'alimentation nous procurait de l'information sur la présence de nutriments ou de composés dangereux, voire toxiques (Guichard et al. 2016). Le goût sucré est souvent associé au contenu énergétique et à la présence de glucides dans les aliments (Guichard et al. 2016). C'est la molécule de saccharose qui est généralement impliquée dans la perception du goût sucré. Composé d'un glucose et d'un fructose, le saccharose est la molécule de référence lors de la comparaison des autres substances sucrées (Schiffman et Gatlin 1993). La perception du goût salé est plutôt associée aux aliments qui permettent de remplacer les pertes de sodium dans la sueur et l'urine (Guichard et al. 2016). Ce sont généralement ces deux types de goûts, sucré et salé, qui sont retrouvés dans les boissons pour sportifs (Maughan et Murray 2000).

Bien que la hausse de la consommation d'aliments sucrés soit en lien avec des problèmes de santé chez les populations occidentales, comme l'obésité et le diabète de type 2 (Guichard et al. 2016), il en est tout autre chez les athlètes. En effet, la consommation de glucides, particulièrement lors d'épreuves en endurance, est reconnue pour avoir un effet bénéfique au niveau de la performance sportive (Jeukendrup et Jentjens 2000; Karelis et al. 2010; Cermak et van Loon 2013; Stellingwerff et Cox 2014). L'activité physique influence aussi les types d'aliments qui sont perçus comme attrayants (Jarry 2016). L'activation du cortex cingulaire antérieur établit un lien entre le goût sucré et le contenu énergétique des glucides ce qui augmente leur attrait dans un contexte d'exercice. Cette partie du cerveau est associée aux réactions émotionnelles et comportementales à des stimuli alimentaires plaisants (Turner et al. 2014).

Localement, les produits de l'érable sont considérés comme une source naturelle de glucides et ne cessent de gagner en popularité. De source végétale, le sirop d'érable contient des composés phénoliques, tels que les flavonoïdes, qui attirent l'attention pour leurs propriétés antioxydantes (Thériault 2004). Grâce à sa composition unique, le sirop d'érable s'est ainsi taillé une place sur le marché local de produits de performance pour sportifs.

Le développement de produits pour sportifs a inspiré plusieurs travaux et ouvrages qui ont mené à la création de lignes directrices (Thomas, Erdman, et Burke 2016; Baker et Jeukendrup 2014). Il sera question de ces recommandations ainsi que des facteurs influençant la prise de boissons pour sportifs dans la revue de la littérature présentée dans le cadre de ce mémoire. Ce projet de recherche a comme objectif de déterminer comment les produits de l'érable se comparent à d'autres sources de glucides en termes de perception et d'appréciation des caractéristiques organoleptiques ainsi que leur effet sur la perception de l'effort et la performance lors d'une épreuve d'endurance.

Chapitre 2 : Les glucides comme aide ergogène

L'apport en glucides lors d'épreuves en endurance a déjà fait l'objet de multiples revues de littérature (Jeukendrup et Jentjens 2000; Karelis et al. 2010; Cermak et van Loon 2013; Stellingwerff et Cox 2014). Dès le début du 20^e siècle, Krogh et Lindhard ont commencé à observer l'impact de la consommation d'une diète riche en glucides sur la perception de l'effort. Les athlètes trouvaient qu'il était plus facile de s'entraîner après avoir consommé des glucides plutôt que des lipides (Krogh et Lindhard 1920). Depuis, certains travaux se sont concentrés sur l'identification des mécanismes sous-jacents à l'amélioration des performances (Carter, Jeukendrup, et Jones 2005; Stellingwerff et al. 2007; Karelis et al. 2010) et des éléments clés à inclure dans les boissons pour sportifs afin d'obtenir une composition optimale (Coombes et Hamilton 2000; Baker et Jeukendrup 2014). Des lignes directrices quant à l'apport en glucides à des fins de performance ont aussi été établies en fonction des résultats obtenus (Thomas, Erdman, et Burke 2016). Toutefois, peu de travaux ont porté sur l'appréciation des boissons ainsi que sur leur effet dans un contexte de performance (Murray et al. 1989; Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007). Il sera question de ces derniers dans le chapitre 3.

2.1 Les mécanismes d'action

Plusieurs mécanismes expliquant l'effet des glucides sur la performance sont décrits dans la littérature. Toutefois, à cause de l'hétérogénéité quant à la durée et à l'intensité de l'exercice, ainsi qu'à la composition et l'administration des boissons, les mécanismes d'action ne semblent pas tout à fait clairs (Karelis et al. 2010; Cermak et van Loon 2013; Stellingwerff et Cox 2014). Il semble que des recherches supplémentaires soient nécessaires afin d'obtenir une meilleure compréhension sur le sujet (Karelis et al. 2010). Les sections 2.1.1 à 2.1.3 font état des potentiels mécanismes impliquant la consommation de glucides lors des performances en endurance.

2.1.1 Préservation de réserves de glycogène musculaire

Le fait de consommer des glucides lors d'une épreuve d'endurance permettrait de limiter la diminution des réserves de glycogène musculaire, de retarder la fatigue ressentie et donc, d'améliorer la performance. C'est Bergström et Hultman qui ont émis cette hypothèse pour la première fois en 1967 (Bergström et Hultman 1967). Au courant des années 80, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'effet de la supplémentation en glucides lors d'épreuves de longue durée sur l'utilisation du glycogène musculaire (Coyle et al. 1986; Fielding et al. 1985; Hargreaves et al. 1984; Mitchell et al. 1988; Björkman et al. 1984; Erickson, Schwarzkopf, et McKenzie 1987). Certaines de ces études vont dans le même sens que Bergström et Hultman (Hargreaves et al. 1984; Björkman et al. 1984; Erickson, Schwarzkopf, et McKenzie 1987) alors que d'autres infirment leur hypothèse (Coyle et al. 1986; Mitchell et al. 1988). En 2010, Karelis et coll. font une revue des travaux portant sur ce sujet et en concluent que le fait de consommer des glucides à l'effort ne permet pas d'épargner le glycogène musculaire (Karelis et al. 2010). Ils précisent qu'en soi, l'ingestion de glucides pendant l'effort ne permet pas de préserver les réserves de glycogène musculaire et ainsi, ce mécanisme ne peut pas expliquer l'amélioration de performance généralement observée (Karelis et al. 2010).

2.1.2 Disponibilité et oxydation des glucides

Un mécanisme dont l'effet est discuté dans la littérature est celui mettant en relation la quantité de glucides ingérés ainsi que leur oxydation pendant l'exercice et l'impact sur la performance. Plusieurs études ont rapporté que lorsqu'une quantité élevée de glucides est ingérée (1,8 - 2,4 g/min), et particulièrement sous forme de glucides à transporteurs multiples (combinaison de différents monosaccharides) (Jentjens et Jeukendrup 2005) le taux d'oxydation des glucides exogènes augmente (Jeukendrup et al. 2006; Rowlands et al. 2012; Correia-Oliveira et al. 2013; Smith et al. 2013; Roberts et al. 2014; Smith et al. 2010; Rowlands et Houltham 2017; Triplett et al. 2010; Currell et Jeukendrup 2008; Stellingwerff et Cox 2014) et les performances en endurance sont améliorées. L'utilisation de glucides à transporteurs multiples fait en sorte que différents types de transporteurs sont sollicités au niveau intestinal et qu'une quantité plus importante de glucides peut être absorbée et se rendre aux tissus. Ceux-ci sont illustrés à la section 2.3.1, page 11.

Dans le cadre de leur revue de littérature, Stellingwerf et Cox ont rapporté que l'utilisation de glucides à transporteurs multiples lors d'épreuves de durée supérieure à 2 h se traduisait par une amélioration de la performance de 8% en comparaison avec l'utilisation de glucose et de 19,5% en comparaison avec l'eau (Stellingwerff et Cox 2014). Toutefois, dans leur revue de littérature, Karelis et al. discutent de la complexité des mécanismes d'action en lien avec l'ingestion de glucides et les gains en performance (Karelis et al. 2010). En effet, pour l'ensemble des études révisées, une taille d'effet d'environ 0,4 fut observée pour le gain de performance avec ingestion de glucides (Karelis et al. 2010), ce qui se rapproche d'un effet moyen selon Cohen (Cohen 1977). L'effet est plus important pour l'exercice dont la durée est supérieure à 2 h que pour un effort de plus courte durée (Karelis et al. 2010).

2.1.3 Mécanismes centraux

Dans le cadre d'un exercice de durée égale ou inférieure à 60 min, plusieurs travaux ont rapporté que la performance, majoritairement testée à l'aide de contre-la-montre, pouvait aussi être augmentée sans augmenter la disponibilité des glucides (par une ingestion pendant l'effort ou la diète) (Stellingwerff et Cox 2014; Chambers, Bridge, et Jones 2009; Turner et al. 2014; Jeukendrup et Chambers 2010; Baker et Jeukendrup 2014; Karelis et al. 2010; Correia-Oliveira et al. 2013). Ces études précisent que les gains en performance sont présents grâce au rinçage de bouche avec une solution de glucides et qu'ils ont lieu via des mécanismes impliquant surtout une stimulation du système nerveux central. Dans leurs revues, Correia-Oliveira et coll. ont noté une amélioration de la performance allant de 2 à 3,7% lors de contre-la-montre (Correia-Oliveira et al. 2013) alors que Jeukendrup et Chambers ont noté une amélioration allant de 1,9 à 2,8% lors d'épreuves similaires (Jeukendrup et Chambers 2010). Dans ces cas-ci, la solution n'est pas avalée, les athlètes la sirotent pour se rincer la bouche et la rejettent ensuite. Quelques travaux ont étudié, en utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, l'effet du rinçage de bouche avec des solutions de glucose et de maltodextrine sur la performance (Chambers, Bridge, et Jones 2009; Turner et al. 2014). Ils ont déterminé que le contact des glucides avec les récepteurs buccaux permettait d'activer le cortex cingulaire antérieur, le striatum, le cortex orbitofrontal et l'insula, qui sont des régions du cerveau possiblement impliquées dans les systèmes de récompense et du contrôle moteur (Chambers, Bridge, et Jones 2009; Turner et al.

2014). Chambers et coll. avancent aussi que certains récepteurs oraux encore inconnus pourraient être impliqués. En effet, le rinçage de la bouche avec de la saccharine n'a mené à aucune amélioration de la performance (Chambers, Bridge, et Jones 2009).

2.2 Lignes directrices concernant l'apport des boissons pour sportifs

Des recommandations concernant l'hydratation et l'apport en glucides avant, pendant et après l'effort ont été établies par l'*American College of Sports Medicine* (ACSM) afin de maximiser les performances et de limiter les inconforts gastro-intestinaux chez les athlètes (Thomas, Erdman, et Burke 2016). Le tableau I présente ces dernières. Les recommandations émises sont différentes selon la durée de chaque événement. Il a été démontré que l'ingestion de glucides lors d'exercices brefs, dont la durée est inférieure à 45 min, ne présente pas d'effet notable sur la performance. Aucune ingestion n'est donc recommandée par l'ACSM. Lors d'efforts soutenus à haute intensité d'une durée d'environ 60 min, l'ingestion de petites quantités, incluant le rinçage de bouche, est préconisée. Comme il a été mentionné dans la section 2.1.3, le simple contact des glucides dans la cavité orale aurait un effet sur certaines parties du cerveau ainsi que sur le système nerveux central ce qui mènerait à un gain au niveau de la performance (Thomas, Erdman, et Burke 2016; Karelis et al. 2010). Pour l'exercice en endurance de durée comprise entre 1 et 3 h, incluant les exercices par intervalles, la recommandation établie par l'ACSM est de consommer de 30 à 60 g/h de glucides sous forme de glucides à oxydation rapide. Lorsque la durée de l'exercice est supérieure à 2,5 h, la consommation de glucides peut augmenter jusqu'à 90 g/h. Il devient alors pertinent de considérer les glucides à transporteurs multiples pour la composition des solutions ingérées puisque le taux d'oxydation des glucides totaux est plus élevé lorsque différents transporteurs sont utilisés (Thomas, Erdman, et Burke 2016; Baker et Jeukendrup 2014). Il est aussi intéressant de noter qu'il est possible d'entraîner l'intestin à tolérer des taux d'ingestion de glucides allant jusqu'à 120 g/h (Baker et Jeukendrup 2014; Cox et al. 2010). Cette stratégie doit être planifiée et testée à l'avance afin que les athlètes s'y habituent et afin de ne pas causer de troubles gastro-intestinaux.

Tableau I. Tiré de Thomas et coll. 2016. Recommandations pour l'apport en glucides dans le cadre d'efforts en endurance de durées différentes.

Event	Carbohydrate required for optimal performance and minimizing negative energy balance	Recommended intake	Carbohydrate type	Glu	Glu+Fru
<30 min	No CHO required	—	—	—	—
30-75 min	Very small amounts	Mouth rinse	Most forms of CHO	•	•
1-2 h	Small amounts	Up to 30 g/h	Most forms of CHO	•	•
2-3 h	Moderate amounts	Up to 60 g/h	CHO that are rapidly oxidized (glucose, MD)	○	•
>2.5 h	Large amounts	Up to 90 g/h	Only multiple transportable CHO		•

2.3 Composition des boissons pour sportifs

Il y a quelques années, Baker et Jeukendrup ont rédigé un article traitant de la composition optimale de différents types de solutions de réhydratation, dont les boissons pour sportifs (Baker et Jeukendrup 2014). Le tableau II, tiré de cet article, présente trois différents types de boissons ainsi que leur composition respective. Dans ce tableau, on remarque que les recommandations pour les contenus en glucides ainsi qu'en électrolytes sont très différentes selon les contextes d'exercice. Selon les auteurs, une boisson pour sportifs à prendre durant l'effort devrait contenir entre 6 et 8% de glucides afin de fournir de l'énergie tout en limitant les troubles gastro-intestinaux chez les athlètes. Ceci correspond aux recommandations de l'ACSM dont il était question dans la section précédente (Thomas, Erdman, et Burke 2016). L'ajout de 20 à 30 mmol/L de sodium et de 2 à 5 mmol/L de potassium dans les boissons pour sportifs est suggéré pour remplacer les électrolytes perdus dans la sueur (Baker et Jeukendrup 2014). De plus, les auteurs suggèrent qu'une telle concentration en sodium permet d'augmenter la palatabilité de la boisson ainsi que de stimuler l'apport volontaire (Baker et Jeukendrup 2014). Les boissons pour sportifs peuvent aussi contenir d'autres éléments, tels que d'autres minéraux, des acides aminés, de la caféine, etc. Les sections 2.3.1 et 2.3.2 traiteront principalement des différents types de glucides et du contenu en électrolytes pouvant entrer dans la composition des boissons pour les sportifs.

Tableau II. Tiré de Baker et Jeukendrup. 2014. Recommandations concernant le contenu en glucides, électrolytes et l'osmolarité de différents types de boissons de réhydratation.

	Sports drinks	Oral rehydration solution (WHO 2002)	Sodium loading for plasma volume expansion (AstroAde)
Carbohydrate	Moderate (~60-80 g/L)	Low (13.5 g/L)	Very low (<5 mg/L)
Sodium	Low to moderate (~10-35 mmol/L)	High (75 mmol/L)	Very high (157-164 mmol/L)
Chloride	Low (~10-12 mmol/L)	High (65 mmol/L)	High (76 mmol/L)
Potassium	Low (~3-5 mmol/L)	Moderate (20 mmol/L)	Very low (<0.1 mmol/L)
Osmolality	~280-380 mOsm/kg	245 mOsm/kg	253-270 mOsm/kg
Other potential ingredients	Minerals, protein, caffeine, others	Zinc	Citrate

2.3.1 Le type de glucides contenu dans les boissons pour sportifs

Différents types de glucides peuvent entrer dans la composition d'une boisson pour sportifs. Le type de glucides choisis afin de composer ces dernières a un impact sur l'équilibre des saveurs ainsi que sur la perception du goût sucré. Le tableau III, inspiré du livre Sports Drinks, de Maughan et Murray, précise l'intensité du goût sucré de différents types de glucides (Maughan et Murray 2000). Selon Stone et Oliver, le pouvoir sucrant a été déterminé à l'aide d'un seuil de détection et de comparaisons entre différents types de glucides (Stone and Oliver 1969). Les boissons commerciales pour sportifs sont habituellement composées de saccharose, glucose, fructose, de maltose et de maltodextrine. Ce type de boisson va rarement contenir des glucides complexes en raison de leur goût peu sucré et de leur sensation déplaisante en bouche (Maughan et Murray 2000). Narukawa et coll. ont rapporté le fait que le seuil de détection du saccharose était plus élevé après un exercice d'endurance (Narukawa et al. 2009). Au repos, les sujets ont dû identifier des échantillons contenant 40, 20, 10, 5, 2,5 et 1,25 mM de saccharose lorsque ces derniers étaient comparés avec de l'eau dans le cadre d'un test triangulaire. Les échantillons étaient présentés en suivant un ordre descendant. Après avoir complété un demi-marathon, les sujets ont dû identifier de nouveau les mêmes échantillons de saccharose. Le seuil de détection significatif avant l'effort était de 10 mM et il est passé à 5 mM après l'effort (Narukawa et al. 2009). De plus, Horio a rapporté que, lorsque comparée avec des glucides naturels, l'appréciation de glucides artificiels, comme la saccharine, n'augmente pas lors d'un

effort (Horio 2004). Comme il a été mentionné dans à la section 2.1.3, Chambers et coll. ont aussi remarqué que la saccharine n'avait pas le même effet que le glucose et la maltodextrine sur la performance sportive (Chambers, Bridge, et Jones 2009). Les caractéristiques organoleptiques des boissons ainsi que l'impact du goût sur la consommation seront discutés plus en détail dans le prochain chapitre de ce travail.

Tableau III. Pouvoir sucrant relatif de différents types de glucides.

Glucides	Pouvoir sucrant relatif
Fructose	180
Sirop de maïs à contenu élevé en fructose	105-130
Saccharose	100
Glucose (concentration de 2-10%)	50-70
Maltose	50

Note : Le saccharose est l'étalon à partir duquel le pouvoir sucrant relatif des autres glucides est évalué. Tableau inspiré de Maughan et Murray (2000).

D'un point de vue physiologique, quelques critères de sélection, comme le taux d'absorption des liquides ainsi que le taux d'oxydation des glucides, influencent la prise de décision quant à la formulation des produits et au choix des glucides utilisés (Maughan et Murray 2000; Baker et Jeukendrup 2014). En effet, ce ne sont pas tous les types de glucides qui sont oxydés à la même vitesse. Le fructose et le galactose ont tous deux des taux d'oxydation significativement plus faibles que le glucose (Burrelle et al. 2006). Ces différences sont dues, du moins en partie, à leur absorption intestinale qui est différente de celle du glucose et au fait qu'ils doivent être convertis en glucose par la néoglucogenèse dans le foie (Jeukendrup et Jentjens 2000; Baker et Jeukendrup 2014). Les glucides peuvent être catégorisés en deux groupes, selon leur taux d'oxydation. Le glucose, le saccharose et la maltodextrine font partie du premier groupe. Ces glucides ont des taux d'oxydation élevés pouvant atteindre 60 g/h. Le galactose et le fructose font partie du deuxième groupe. Leur taux d'oxydation est plus bas, pouvant atteindre environ 40 g/h (Cermak et van Loon 2013; Baker et Jeukendrup 2014). Ainsi,

une boisson composée majoritairement de fructose ne conviendrait pas aux sportifs, car en plus d'être absorbé lentement, cette source de glucides sera plus propice à causer des troubles gastro-intestinaux (Maughan et Murray 2000; Baker et Jeukendrup 2014). Ainsi, les boissons pour sportifs utilisant des glucides à transporteurs uniques devraient donc favoriser le glucose ainsi que de ses polymères afin de maximiser l'oxydation des glucides et de limiter les troubles gastro-intestinaux (Maughan et Murray 2000; Baker et Jeukendrup 2014).

Dans le cadre d'épreuves de longue durée, la présence de glucides (mono- ou disaccharides) à transporteurs multiples dans les boissons pour sportifs aide à atteindre la recommandation en glucides de l'ACSM qui est de 90 g/h. Dans les dernières années, plusieurs auteurs se sont penchés sur le fait d'utiliser des glucides à transporteurs multiples dans le but d'augmenter le taux d'oxydation des glucides exogènes (Hulston, Wallis, et Jeukendrup 2009; Jentjens, Achten, et Jeukendrup 2004; Jentjens et Jeukendrup 2005; Jentjens et al. 2005, 2006; Asker E. Jeukendrup et al. 2006; Rowlands et al. 2008).

Le glucose est absorbé via le transporteur sodium-glucose SGLT1 qui se retrouve dans la muqueuse intestinale de l'intestin grêle (Figure 1). Toutefois, ces transporteurs deviennent saturés lorsque la consommation de glucose atteint environ 60 g/h (Baker et Jeukendrup 2014). Le fructose est quant à lui absorbé de manière indépendante du glucose. Ce sont les transporteurs de type passif GLUT-5 qui en assurent l'absorption dans l'intestin (Figure 1) (Baker et Jeukendrup 2014). Certains travaux ont confirmé qu'une boisson composée de glucose et de fructose augmentait le taux d'oxydation en comparaison aux boissons contenant seulement du glucose (Asker E. Jeukendrup 2008, 2010; Jentjens et al. 2006; Jentjens et Jeukendrup 2005). Comme il a été mentionné à la section 2.1.2, plusieurs auteurs ont aussi remarqué une amélioration au niveau de la performance en endurance lorsqu'une boisson composée de glucides à transporteurs multiples était fournie aux participants (Currell et Jeukendrup 2008; Jeukendrup et al. 2006; Rowlands et al. 2012; Triplett et al. 2010; Stellingwerff et Cox 2014). Triplett et coll. ont rapporté un temps significativement plus rapide afin de compléter un contre-la-montre de 100 km lorsque les sujets avaient consommé une solution de glucose-fructose en comparaison avec une solution isocalorique de glucose ($204,0 \pm 23,7$ vs $220,6 \pm 36,6$ min respectivement, $p = 0,023$) (Triplett et al. 2010). De la même manière, Currell et Jeukendrup ont noté que les sujets ayant reçu une solution de glucose-fructose ont complété leur contre-la-montre 8% plus rapidement en développant une puissance plus importante que ceux ayant reçu

une boisson de glucose de même concentration (275 ± 10 vs 254 ± 8 W respectivement, $p < 0,05$) (Currell et Jeukendrup 2008).

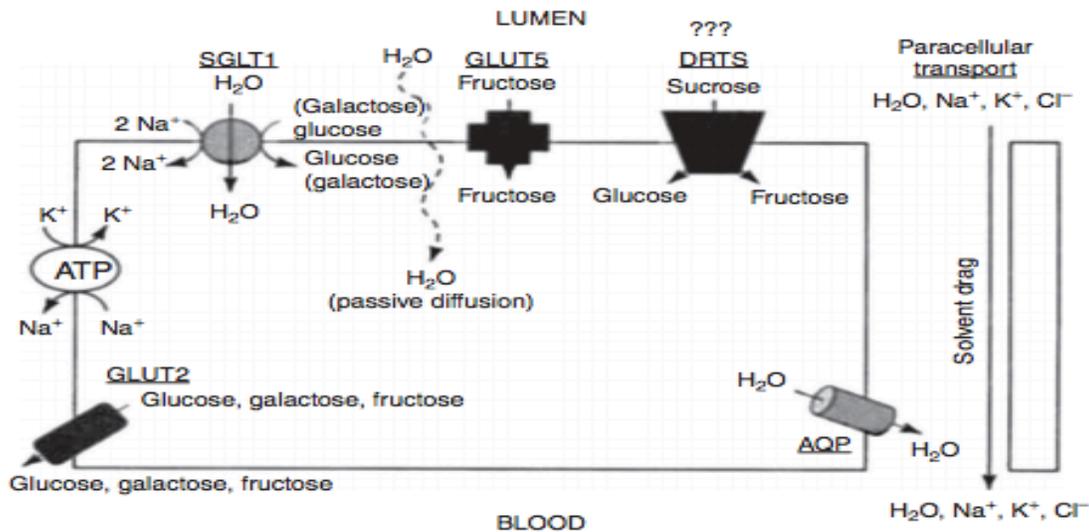


Figure 1. Tirée de Baker et Jeukendrup. 2014. Mécanismes proposés pour l'absorption de l'eau et d'autres molécules. On y représente les transporteurs SGLT1, GLUT5, GLUT2, DRTS, Na⁺-K⁺ ATPase et les aquaporines (AQP).

Selon Shi et Passe, les solutions contenant des glucides à transporteurs multiples (combinaison de différents monosaccharides) permettent aussi une meilleure absorption de l'eau par la paroi intestinale que les solutions de glucides simples. Ceci est explicable par le fait que l'eau est co-transportée à travers la paroi intestinale avec plusieurs des monosaccharides. Plus le nombre de transporteurs sollicité est élevé, plus la quantité d'eau absorbée sera grande. Ce raisonnement s'applique aussi à l'absorption du sodium par l'intestin (Shi et Passe 2010). Il sera question de la pertinence des différentes stratégies d'hydratation ainsi que de leur impact sur la performance dans le chapitre suivant.

2.3.2 Le contenu en électrolytes des boissons pour sportifs

L'ajout d'électrolytes dans les boissons pour sportifs est secondaire au contenu en glucides. Toutefois, le fait d'ajouter du sodium aux boissons de glucides favorise l'absorption de glucose et d'eau dans le petit intestin (Maughan et Murray 2000; Shi et Passe 2010; Sharp 2007). L'ajout de sodium permet aussi le maintien du volume plasmatique, particulièrement dans un contexte de chaleur, quand les pertes via la sueur sont élevées (Kenefick 2018). L'effet du maintien du statut hydrique sur la performance sera discuté ultérieurement à la section 3.2.1. La concentration de sodium recommandée dans les boissons pour sportifs est de 20 à 30 mmol/L. À cette concentration, le sodium permet de favoriser l'état d'hydratation tout en restaurant le volume plasmatique (Baker et Jeukendrup 2014). De plus, le fait d'inclure du sodium dans la composition d'une boisson pour sportif semble favoriser la consommation de liquide par des mécanismes réflexes (Maughan et Murray 2000). Par exemple, Wilk et Bar-Or ont comparé trois types de boissons, soit de l'eau, de l'eau aromatisée au raisin et de l'eau aromatisée au raisin contenant 6% de glucides et 18 mmol/L de sodium, avec de jeunes sujets s'entraînant dans un environnement chaud (Wilk et Bar-Or 1996). Leur conclusion fut que la consommation de la boisson contenant du sodium fut 91% plus importante que la consommation d'eau et 44,5% plus importante que l'eau aromatisée, prévenant ainsi l'état de déshydratation (Wilk et Bar-Or 1996). Vrijens et Rehrer ont aussi montré l'intérêt de consommer des boissons avec un contenu en sodium lors d'activités en endurance dans un environnement chaud (Vrijens et Rehrer 1999). Dix athlètes en endurance ont tenté de compléter 3h sur un ergomètre en consommant soit de l'eau ou une boisson commerciale pour sportifs contenant du 18 mmol/L de sodium. La conclusion de leur étude fut que de maintenir des concentrations plasmatiques de sodium en remplaçant les pertes causées par la sueur grâce à la consommation de la boisson commerciale permettait de prévenir l'hyponatrémie. La diminution de la concentration de sodium plasmatique chez les participants ayant consommé l'eau fut de $-2,48 \pm 2,25 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ alors que cette diminution était de $-0,86 \pm 1,61 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ chez ceux ayant consommé la boisson commerciale. La consommation d'une boisson contenant des glucides et du sodium a donc permis de prolonger la durée de l'exercice en comparaison avec la consommation d'eau ($2,7 \pm 0,4$ vs $2,5 \pm 0,6$ h, respectivement) avant d'atteindre l'épuisement. Toutefois, ces résultats ne sont pas significatifs (Vrijens et Rehrer 1999).

Pour les autres électrolytes comme le potassium et le magnésium, Maughan et Murray rapportent que les pertes sont minimales lors de déshydratation, soit environ 1% des quantités totales contenues dans le corps. Ils contestent donc la pertinence d'inclure ces deux électrolytes dans la composition des boissons de glucides ou de récupération. De plus, ni le potassium ni le magnésium ne semble augmenter la consommation de liquide durant l'exercice (Maughan et Murray 2000). Toutefois, selon Baker et Jeukendrup, inclure de 2 à 5 mmol/L de potassium et de 10 à 12 mmol/L de chlorure dans les boissons pour sportifs serait bénéfique pour remplacer les pertes dues à la sueur (Baker et Jeukendrup 2014). Au-delà des types d'électrolytes faisant partie de la composition des boissons, il semble que ce soit principalement l'osmolarité de ces dernières qui influencent l'absorption de l'eau et le maintien du volume plasmatique via un gradient de concentration (Baker et Jeukendrup 2014; Maughan et Murray 2000; Shi et Passe 2010).

Chapitre 3 : Autres facteurs influençant la formulation de boissons pour sportifs

Il est indéniable que la composition des boissons pour sportifs est d'une grande importance lorsque vient le temps d'établir une stratégie d'hydratation dans le but de performer. Toutefois, l'importance des caractéristiques sensorielles ainsi que de l'appréciation de ces boissons ne semblent pas occuper une place aussi significative dans la littérature. Le terme sensoriel est défini par le Larousse comme suit (Larousse 2018) :

“Qui se rapporte aux organes des sens, aux structures nerveuses qu'ils mettent en jeu et aux messages qu'ils véhiculent.”

Ces caractéristiques ne sont donc pas à négliger lors du choix de la boisson à utiliser. En effet, il a été rapporté à quelques reprises que le comportement de consommation est influencé par le goût (Baker et Jeukendrup 2014; Wilk et Bar-Or 1996; Passe, Horn, et Murray 2000; Passe et al. 2004). Les prochaines sections traiteront de l'évaluation des caractéristiques sensorielles de boissons pour sportifs, des travaux qui ont abordé ce sujet ainsi que des autres facteurs impliqués dans la prise de ces boissons.

3.1 Les caractéristiques sensorielles

3.1.1 Types d'outils pour mesurer les caractéristiques sensorielles des boissons

Quelques grandes lignes directrices ont été établies quant à l'évaluation des caractéristiques sensorielles, mais aucun outil standardisé n'a encore été développé. Selon quelques références, les échelles hédoniques à 9 points, allant généralement de “extrêmement déplaisant” à “extrêmement plaisant”, sont à prioriser pour évaluer l'appréciation des caractéristiques (Chambers et Wolf 1996; Jones, Peryam, et Thurstone 1955). Ce type d'échelle

a été utilisé dans plusieurs travaux portant sur la palatabilité (Murray et al. 1989; Passe, Horn, et Murray 2000; Passe et al. 2004; Horio et Kawamura 1998). Lorsque ce type d'échelle est présenté aux participants d'une étude, ces derniers doivent cocher la case correspondant à leur appréciation de la caractéristique évaluée. Lors de l'analyse des résultats, un chiffre allant de 1 à 9 est associé à chaque point sur l'échelle. Ce type d'échelle devrait comporter un nombre impair de catégories et devrait minimalement être composé de cinq catégories (Chambers et Wolf 1996).

Selon Chambers et Wolf, les échelles graphiques (ex. échelle visuelle analogique de 100 mm) sont les mieux adaptées lorsqu'on désire évaluer des caractéristiques descriptives d'un produit (Chambers et Wolf 1996) et plusieurs travaux ont utilisé différentes variantes de ce type d'échelle (Narukawa et al. 2010; Passe, Horn, et Murray 2000; Passe et al. 2004; Ali et al. 2011; Appleton 2005). Ces échelles sont généralement composées d'un trait sur lequel les extrémités ont été identifiées et dont la longueur est connue. Il peut s'agir d'une version graduée ou non. Les participants inscrivent une marque à l'endroit désiré en fonction de leur perception de la caractéristique évaluée. Ce type d'échelle dépend de la longueur initiale du trait. Il est donc nécessaire de mesurer la distance du point de départ au point final sur l'échelle afin d'obtenir le résultat (Chambers et Wolf 1996)

En parcourant la littérature, il est possible d'observer que quelques auteurs se sont intéressés aux caractéristiques sensorielles de boissons ingérées lors d'expérimentations (Passe, Horn, et Murray 2000; Passe et al. 2004; Ali et al. 2011; Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007; Murray et al. 1989; Appleton 2005; Wilk et Bar-Or 1996). Les caractéristiques évaluées ainsi que le type d'échelle utilisé diffèrent d'une étude à l'autre. Le tableau ci-dessous permet de résumer quelques travaux se concentrant sur l'évaluation des caractéristiques organoleptiques.

Tableau IV. Résumé d'études ayant évalué les caractéristiques organoleptiques

Auteurs	Année	Conditions expérimentales	Participants et état nutritionnel	Caractéristiques évaluées et type d'échelle utilisé
Murray et coll.	1989	Solutions à 6%, 8%, 10% (saccharose + électrolytes) et placebo (eau édulcorée)	7 hommes et 5 femmes, moyennement actifs Alimentation non contrôlée	Échelle hédonique à 9 points : appréciation générale Échelle à 5 points : intensité du goût sucré
Passe, Horn et Murray	2000	Gatorade saveurs différentes (10) et eau.	33 hommes + 16 femmes, athlètes récréatifs À jeun 2h avant expérimentation Alimentation non contrôlée	Échelle hédonique à 9 points : appréciation générale Échelle descriptive non structurée à 100 points : Intensité du goût sucré et de la saveur
Passe et coll.	2004	Jus d'orange dilué, boisson sportive maison (6% + électrolytes), Gatorade et eau.	34 hommes + 16 femmes, athlètes récréatifs Alimentation non contrôlée	Échelle hédonique à 9 points : appréciation générale, du goût sucré, de la saveur Échelle descriptive non structurée à 100 points : intensité du goût sucré, de l'acidité. Sensation désaltérante
Desbrow, Minahan et Leveritt	2007	Powerade "Lemon-Lime" + "Mountain Blast" et cola + électrolytes.	8 hommes, athlètes Alimentation contrôlée 24h avant l'expérimentation	Échelle descriptive à 20 points : appréciation générale, intensité du goût sucré et de la saveur
Ali et coll.	2011	4 solutions à 1,3% ou 7,5% (saccharose + maltodextrine) + électrolytes et eau	14 hommes, athlètes récréatifs À jeun 3h avant expérimentation et restrictions alimentaires 24h à l'avance	Échelle descriptive non structurée à 100 points : appréciation générale, intensité du goût sucré. Sensation désaltérante

3.1.2 Évaluation des caractéristiques organoleptiques et impact sur la consommation

Dans leur étude menée en 2004, Passe et coll. ont évalué l'impact des caractéristiques organoleptiques sur la consommation de certaines boissons (Passe et al. 2004). Les boissons évaluées étaient du jus d'orange dilué, une boisson pour sportifs maison, une boisson pour sportifs commerciale et de l'eau. Toutes les conditions expérimentales à l'exception de l'eau avaient une concentration de glucides à 6%. Les sujets ont dû compléter 75 min d'exercices sous forme d'intervalles de 15 min. Ils avaient accès à une boisson durant 60 s, après 30 et 60 min d'exercice. Les questionnaires évaluant les caractéristiques sensorielles étaient distribués immédiatement après chaque consommation (Table IV, p.16). Les résultats présentés dans la figure 2 indiquent que la boisson commerciale est celle ayant reçu la meilleure évaluation au niveau de l'appréciation générale, de l'appréciation du goût sucré, de la saveur et de la sensation rafraîchissante. La figure 3, tirée du même article, démontre que la boisson commerciale est aussi celle qui fut la plus consommée (Passe et al. 2004). De plus, les sujets ayant consommé la boisson commerciale sont restés mieux hydratés. Comme il a été mentionné à la section 2.3.2, le sodium présent dans ce type de boisson aide au maintien du volume plasmatique à l'exercice. Ainsi, sachant que la boisson commerciale est celle ayant été la plus consommée, ce résultat est attendu. À la suite d'analyses statistiques, les auteurs ont trouvé une relation faible, mais fiable, entre l'appréciation de la saveur, l'appréciation du goût sucré et l'appréciation générale sur la consommation du breuvage ($R= 0,19; 0,19; 0,21$, respectivement, $p < 0,05$) (Passe et al. 2004).

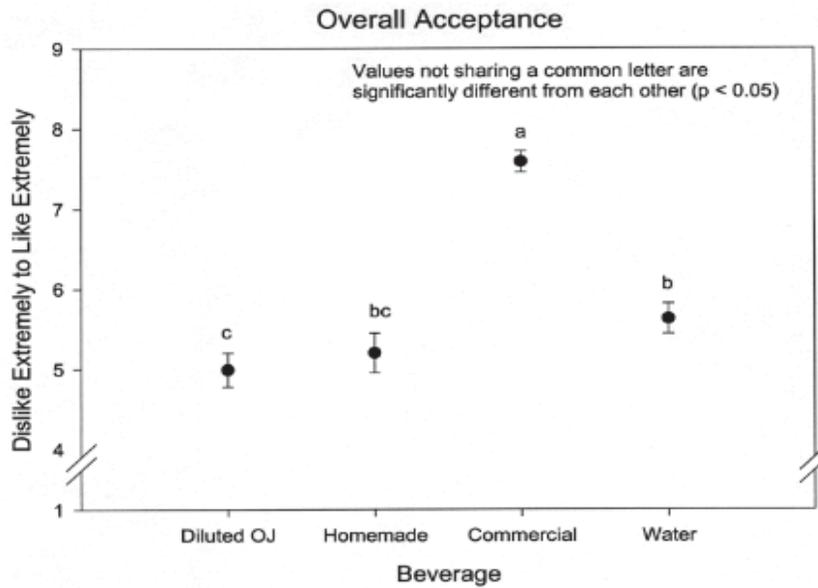


Figure 2. Tirée de Passe et coll. 2004. Moyenne \pm erreur-type pour l'appréciation générale des différents types de boissons (échelle hédonique à 9 points).

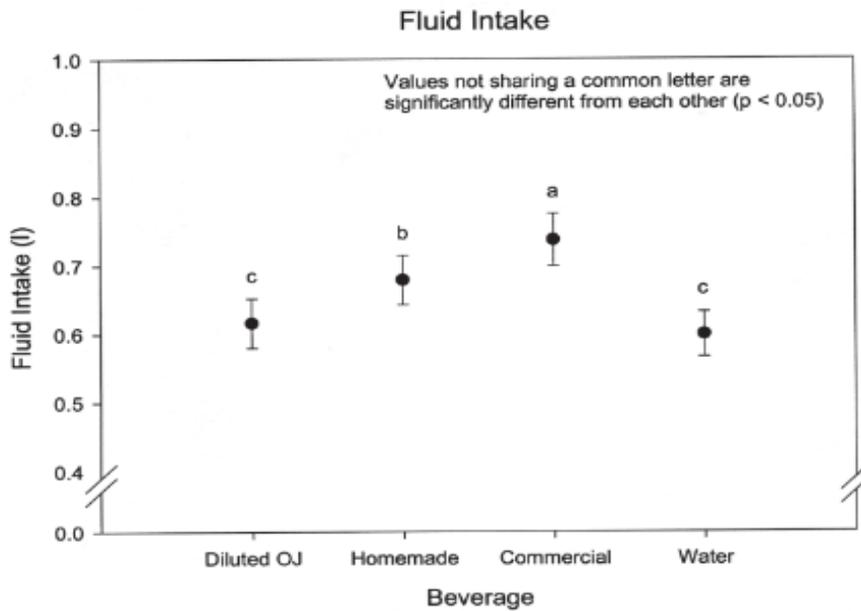


Figure 3. Tirée de Passe et coll. 2004. Moyenne \pm erreur-type pour la consommation totale des différents types de boissons.

Ces résultats vont dans le même sens que l'étude de Passe et coll. publiée quelques années auparavant (Passe, Horn, et Murray 2000). Cette étude évalue l'impact de l'appréciation d'une boisson sur sa consommation ainsi que l'effet de l'exercice sur l'appréciation. Lors d'une rencontre préliminaire, les participants ont dû identifier la boisson la plus appréciée (« M ») ainsi que celle la moins appréciée (« L ») parmi 10 choix de boissons commerciales de saveurs différentes (raisin, pomme, melon d'eau, citron, lime, fruits tropicaux, citron-lime, framboise, orange, punch aux fruits) avec un contenu en glucides (60 g/L) et en électrolytes identiques (110 mg de sodium et 30 mg de potassium pour 8 oz). Le protocole de l'étude consistait à effectuer un total de 180 min d'activité sous forme d'intervalles de 15 min. Aucune pause n'était accordée entre les intervalles à l'exception du temps nécessaire pour changer de station. Les boissons M, L ainsi que de l'eau (« W ») étaient distribuées selon une distribution par carré latin. Les participants avaient la possibilité de boire ad libitum et la quantité ingérée était notée tous les quarts d'heure. Les questionnaires sur les caractéristiques sensorielles (Table IV, p.16) ainsi que sur l'état de fatigue étaient administrés après 90 et 180 min d'exercice. L'appréciation de la boisson L a significativement augmenté entre l'état de repos et après 90 min d'exercice, venant même à être plus appréciée que W (Figure 4). La situation inverse a été observée pour les boissons M et W. La boisson M est toutefois restée la plus appréciée de toutes jusqu'à la fin de l'exercice (Figure 4). Au niveau des autres caractéristiques organoleptiques, la perception du goût sucré a augmenté pour les boissons M et L entre l'état de repos et après 90 min d'exercice. Tout au long de l'exercice, la perception du goût sucré et de la saveur était significativement plus élevée pour les boissons M et L que pour W. La boisson M fut celle consommée en plus grande quantité avec un total de 2355 ± 136 g (Figure 5). Toutefois, les auteurs rapportent que ce résultat n'est pas significatif après 180 min d'exercice en comparaison avec la boisson L. Les apports des boissons L et W furent de 2228 ± 120 g et 2034 ± 129 g, respectivement (Passe, Horn, et Murray 2000). Comme ce fut le cas dans l'étude de Passe et coll. (Passe et al. 2004), la boisson la plus appréciée est celle ayant été la plus consommée durant l'exercice. De plus, le fait qu'un changement au niveau de l'appréciation ait été observé sous-entend qu'un effet de l'exercice sur la perception du goût est existant. Plusieurs travaux, dont ceux de Horio et Kawamura (Horio et Kawamura 1998) et d'Appleton (2005) ont aussi rapporté cette relation entre l'exercice et le goût que Cabanac nomme "utilité physiologique" (Cabanac 1971). Jarry a

aussi effectué une revue de littérature traitant de l'effet de l'exercice sur la perception des goûts et l'appréciation (Jarry 2016).

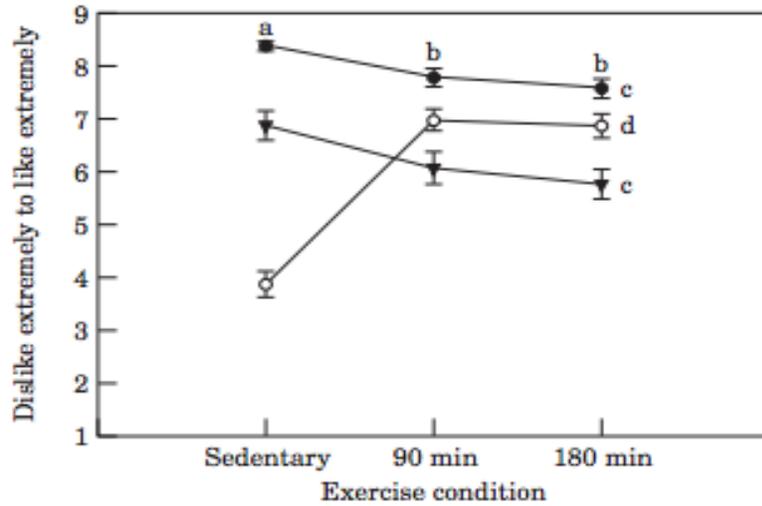


Figure 4. Tirée de Passe et coll. 2000. Appréciation générale des boissons à l'état de repos et à la suite de 90 min et 180 min d'exercice.

Boisson la plus appréciée (-●-), la moins appréciée (-○-) et de l'eau (-▼-)

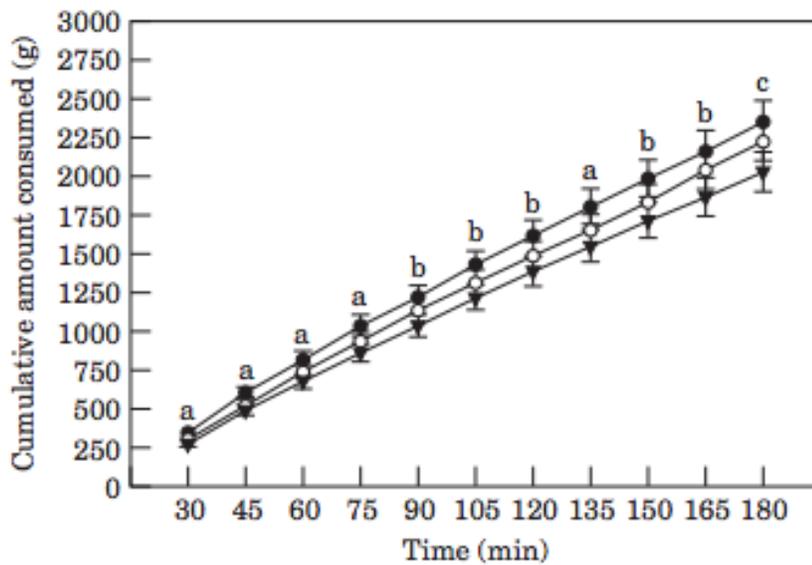


Figure 5. Tirée de Passe et coll. 2000. Quantité totale de liquide consommé (g) entre 30 et 180 min d'exercice.

Boisson la plus appréciée (-●-), la moins appréciée (-○-) et eau (-▼-).

Dans le même ordre d'idée, Ali et coll. ont effectué une étude dans laquelle le but était d'observer les changements au niveau de la perception et de l'appréciation des boissons avant, pendant et après l'exercice, ainsi qu'à différents moments durant l'exercice (Ali et al. 2011). Les participants ont dû compléter 4 fois le même protocole, qui consistait à effectuer 60 min de course à vitesse constante sur un tapis. Quatre conditions expérimentales furent utilisées : une boisson à contenu élevé en glucides et en électrolytes (HiC-HiE), une boisson à contenu élevé en glucides, mais faible teneur en électrolytes (HiC-LoE), une boisson faible en glucides, mais à haute teneur en électrolytes (LoC-HiE) et de l'eau. Dans ce protocole, la première boisson était distribuée au repos, 30 min avant le début de l'exercice. Par la suite, une boisson était distribuée par intervalles de 30 min jusqu'à 120 min d'exercice. Les deux dernières boissons étaient prises en période de récupération. Le questionnaire sensoriel (Table IV, p.16) devait être rempli après chaque ingestion. Concernant l'évaluation des perceptions avant, pendant et après l'exercice, les résultats indiquent que l'évaluation de la perception du goût sucré est restée la même avant et après l'exercice, avec une augmentation durant l'effort, pour toutes les boissons sauf l'eau. Un phénomène semblable s'est produit pour la perception du goût salé, mais avec une diminution de la perception durant l'exercice. Toutes les boissons ont été notées plus sucrées et plus salées que l'eau. Aucune différence ne fut notée au niveau de l'effet désaltérant ni de l'appréciation générale (Ali et al. 2011). Pour ce qui est de l'évaluation des perceptions à différents moments durant l'exercice, les résultats démontrent une augmentation de la perception du goût sucré pour toutes les boissons plus l'exercice progresse. La hausse était particulièrement marquée pour la boisson LoC-HiE (Figure 6). Un phénomène similaire peut être observé dans l'étude d'Appleton, où ce dernier note une augmentation marquée de l'appréciation pour les boissons de faible osmolarité à l'exercice (Appleton 2005). L'effet désaltérant et l'appréciation générale ont aussi augmenté pour toutes les conditions durant la période d'exercice. La perception du goût salé a, quant à elle, diminué au cours de l'exercice. Encore une fois, toutes les boissons ont été notées plus sucrées et plus salées que l'eau (Ali et al. 2011).

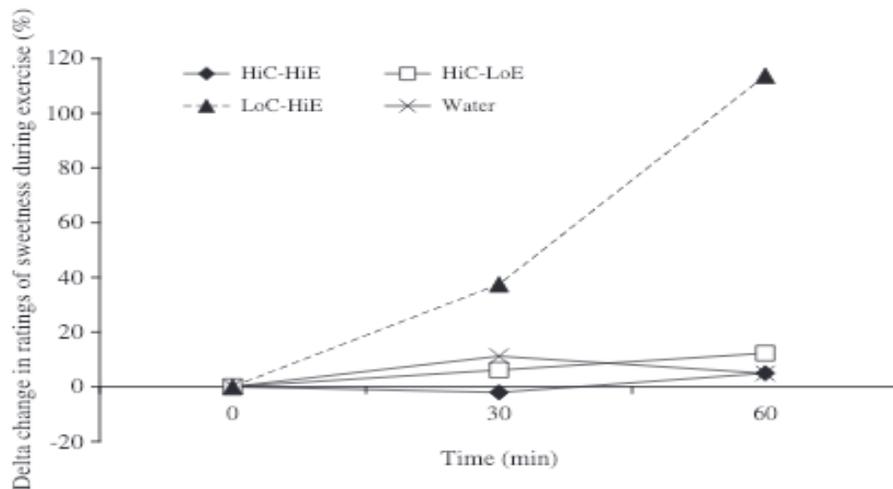


Figure 6. Tirée de Ali et coll. 2011. Changement relatif de la perception du goût sucré au courant de l'exercice pour les différentes conditions expérimentales.

3.1.3 Caractéristiques organoleptiques et performance

Quelques travaux ont traité de l'évaluation des caractéristiques organoleptiques dans un contexte de performance. C'est ce qu'on fait Desbrow et coll. dans leur étude en 2007 (Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007). Le but de cette étude était de voir s'il y avait un lien entre le goût et la performance sur un contre-la-montre. Huit athlètes ont complété trois séances durant lesquelles ils devaient effectuer 120 min d'exercice à une puissance constante suivi d'un contre-la-montre. Un repas standardisé et boisson commerciale pour sportifs leur était servi 2 h avant le début de l'exercice. Dès le début de l'exercice, la même boisson était consommée par intervalles de 20 min jusqu'à 60 min. De 60 à 120 min, les participants pouvaient recevoir la même boisson commerciale, une boisson commerciale de saveur différente (AFSD) ou une boisson de type cola enrichie en électrolytes et sans caféine. Le volume servi et la composition en glucides et en électrolytes étaient les mêmes tout au long de l'exercice. Un questionnaire d'évaluation devait être rempli par les sujets après chaque consommation (Table IV, p.16). Les résultats au niveau des caractéristiques sensorielles indiquent que la boisson AFSD et la boisson de type cola étaient perçues comme étant plus sucrées que la boisson commerciale fournie de 0 à 60 min. Ce résultat va dans le même sens que les résultats de Ali et coll., qui avaient souligné

une augmentation de la perception du goût sucré avec l'exercice (Ali et al. 2011). Lors du changement de boisson ayant lieu à la moitié du protocole, les participants ont apprécié recevoir une boisson commerciale de saveur différente. La boisson de type cola est celle ayant reçu la réponse la plus partagée (Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007). Aucun effet du changement de boisson ne fut noté sur la perception de l'effort. Un résultat similaire peut être observé au niveau du contre-la-montre (Figure 7). L'effet d'un apport en glucides sur la performance a déjà été démontré (Stellingwerff et Cox 2014; Thomas, Erdman, et Burke 2016; Jeukendrup et Jentjens 2000; Maughan et Murray 2000), mais il semble que le goût et l'appréciation des boissons n'aient pas un impact aussi important sur la performance que l'apport en glucides *per se* (Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007).

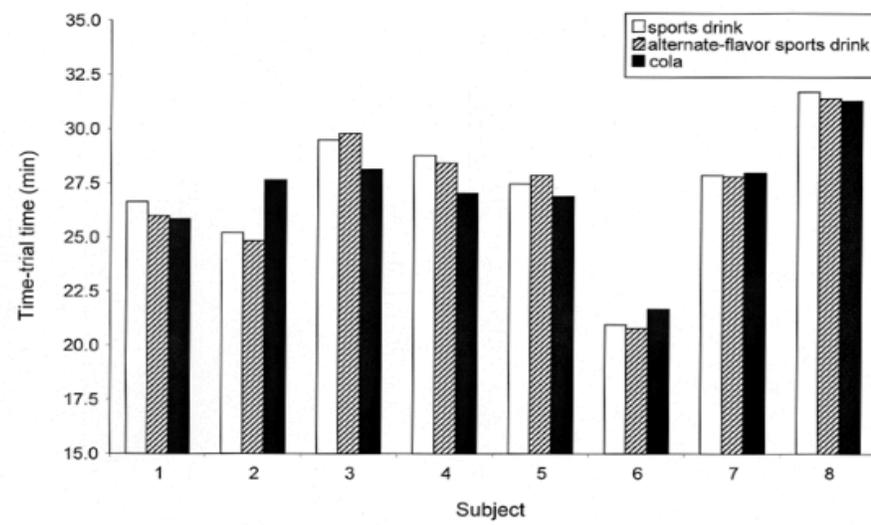


Figure 7. Tirée de Desbrow et coll. 2007. Données individuelles sur la performance au contre-la-montre.

Dans l'étude menée par Murray et coll., le but était d'évaluer s'il est possible de noter une amélioration de la performance lorsque le contenu en glucides des boissons fournies augmente et si la perception sensorielle en est changée (Murray et al. 1989). Les sujets devaient compléter trois segments de 20 min sur un ergomètre à 65% de leur puissance maximale suivi d'une épreuve de performance consistant à effectuer 1200 révolutions le plus rapidement possible. Les trois segments étaient entrecoupés d'une pause de 5 min. Le tout se déroulait dans

un environnement chaud (33,4°C). Les conditions expérimentales étaient des boissons de saccharose concentrées à 6%, 8%, 10% et un placebo (eau édulcorée). Une boisson était distribuée avant le début de chaque période d'exercice et le questionnaire sensoriel (Table IV, p.16) devait être rempli 5 min après le début de chaque segment. Au niveau de l'évaluation des caractéristiques sensorielles, les résultats indiquent que les participants ont su identifier l'augmentation de l'intensité du goût sucré. Les auteurs ont spécifié que l'appréciation générale de la boisson n'en fut pas influencée (Murray et al. 1989). Aucune autre différence significative n'a été notée entre les différentes boissons. Au niveau de l'épreuve de performance, la boisson concentrée à 6% a permis d'obtenir de meilleurs résultats que la boisson concentrée à 10% et que le placebo ($13,03 \pm 0,24$, $13,57 \pm 0,22$ et $13,62 \pm 0,33$ min, respectivement) (Murray et al. 1989). Depuis, Karelis et coll. ont mentionné dans leur revue de la littérature qu'il ne semble pas y avoir de relation dose-réponse significative entre la quantité de glucides ingérée et la performance à l'exercice (Karelis et al. 2010). Toutefois, cette relation a été rapportée par plusieurs autres auteurs comme ayant un effet positif sur la performance lors d'épreuves d'endurance (Currell et Jeukendrup 2008; Jeukendrup et al. 2006; Rowlands et al. 2012; Triplett et al. 2010; Correia-Oliveira et al. 2013; Stellingwerff et Cox 2014; Smith et al. 2013; Roberts et al. 2014; Smith et al. 2010; Rowlands et Houltham 2017).

3.2 Autres facteurs

Outre les caractéristiques sensorielles et l'appréciation des boissons, d'autres facteurs peuvent influencer la consommation de boissons pour sportifs. Les sections 3.2.1 à 3.2.4 traiteront de ces derniers.

3.2.1 Ingestion volontaire versus stratégie d'hydratation planifiée

Il fut longtemps accepté qu'une déshydratation supérieure à 2% du poids total corporel nuisait aux performances (Sawka et al. 2007). Toutefois, ce constat fut remis en question (Valenzuela et al. 2018; Sawka et Noakes 2007). En effet, certains mentionnent que le fait d'être déshydraté ne nuit pas aux performances en endurance et prônent l'ingestion ad libitum lorsque la soif est ressentie (Valenzuela et al. 2018; Goulet 2012, 2011; Wall et al. 2015; Sawka et

Noakes 2007). À l'inverse, d'autres soutiennent que la déshydratation affecte négativement les performances et qu'il est préférable d'établir une stratégie d'hydratation au préalable (Kenefick 2018; Cheuvront et Kenefick 2014; Sawka et Noakes 2007).

Ce sont les militaires américains qui ont été les premiers à évaluer la prise de liquides dans un contexte de chaleur au courant des années 1940 (Pitts, Johnson, et Consolazio 1944). Après avoir testé trois différentes stratégies d'hydratation, soit la prise d'aucun liquide, l'ingestion volontaire et l'apport en liquide calculé pour remplacer les pertes dues à la sueur, ils en sont venus à la conclusion que la dernière était la meilleure pour diminuer la température rectale ainsi que la fréquence cardiaque (Figure 8). Ils ont aussi remarqué que lors de la consommation ad libitum, les sujets ne remplaçaient que le $\frac{2}{3}$ de leurs pertes dues par la sueur (Pitts, Johnson, et Consolazio 1944).

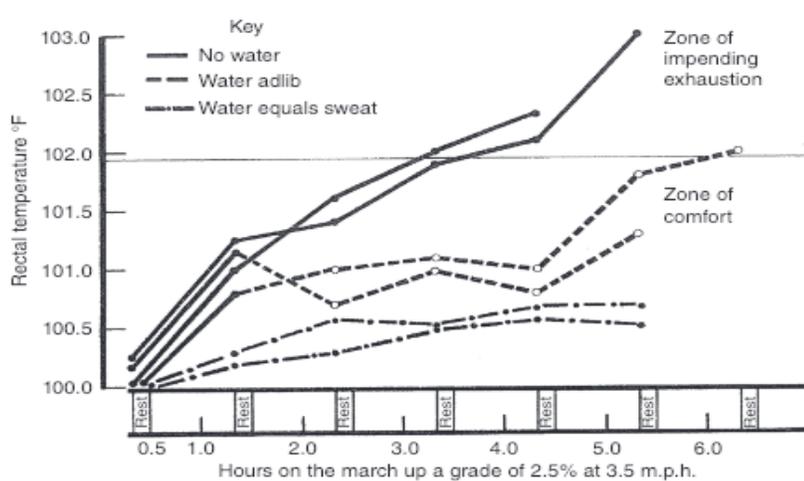


Figure 8. Tirée de Pitts, Johnson, et Consolazio. 1944. Effet des différentes stratégies d'hydratation sur la température rectale lors d'une marche de 6 h dans la chaleur.

Dans sa récente revue de littérature, Kenefick rapporte qu'un niveau de déshydratation correspondant à 2% ou plus de la masse corporelle est susceptible de nuire aux performances sportives en endurance (Figure 9) (Kenefick 2018). Selon les lignes directrices de l'ACSM émises en 2007, les objectifs pour remplacer les pertes dues à la déshydratation sont une meilleure gestion de la température corporelle ainsi qu'une prévention des malaises cardiovasculaires, des troubles liés à la chaleur ainsi que de l'hyponatrémie (Sawka et al. 2007).

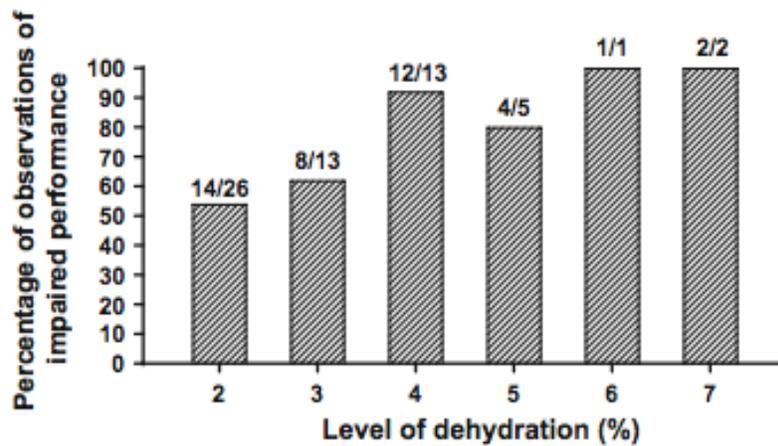


Figure 9. Tirée de Kenefick. 2018. Études ayant observé une diminution de la performance lorsque le taux de déshydratation est \geq à 2% de la masse corporelle totale.

Le seuil de déshydratation de 2% a été remis en question par certains auteurs (Wall et al. 2015; Valenzuela et al. 2018; Goulet 2012; Sawka et Noakes 2007). Ces derniers mentionnent que le taux de déshydratation peut atteindre 3 ou 4% sans avoir de répercussion sur la performance. Ils avancent aussi que le fait de boire selon la perception de ses signaux de soif permet un maintien du niveau d'hydratation adéquat pour la performance et la santé.

En contrepartie, Kenefick mentionne qu'en situation d'exercice, les signaux de soif sont moins bien perçus (Kenefick 2018). Cela fait en sorte que, même en ayant la possibilité de boire à volonté, le risque que les athlètes d'endurance ne consomment pas nécessairement assez de liquides est présent. Il précise aussi qu'il est intéressant de planifier une stratégie d'hydratation lorsque la durée prévue d'exercice est supérieure à 2 h, lorsque l'exercice a lieu dans un environnement chaud et/ou à haute intensité ou lorsqu'un taux d'ingestion des glucides précis est désiré (ex. 60 g/h) (Kenefick 2018). Toutefois, dans d'autres situations de plus courte durée, il mentionne que l'apport ad libitum serait suffisant.

3.2.2 Température des boissons et température externe

Selon les recommandations de l'ACSM, la température idéale pour la consommation de breuvages à l'exercice serait entre 15 et 21°C (Sawka et al. 2007). C'est d'ailleurs dans un contexte d'exercice que la température des boissons semble avoir le plus d'impact sur l'appréciation et la consommation (Burdon et al. 2012). En effet, Burdon et coll. ont déterminé que les boissons consommées froides, soit entre 0 et 10°C, lors d'un effort ou en récupération, étaient plus appréciées que celles consommées à une température légèrement plus élevée, soit entre 11 et 22°C. Toutefois, quelques études ont rapporté que, même si les boissons les plus froides étaient les mieux acceptées, la quantité totale consommée était supérieure pour les boissons entre 11 et 21°C (Boulze, Montastruc, et Cabanac 1983; Maughan et Murray 2000). Il semblerait donc que 15°C soit la température de service idéale (Boulze, Montastruc, et Cabanac 1983; Maughan et Murray 2000). Burdon et coll. rapportent aussi que la consommation de boissons fraîches chez les sportifs permet d'augmenter la quantité de liquide ingéré (Burdon et al. 2012). La déshydratation est ainsi limitée via une réduction des pertes de fluides d'environ 1,3% et les performances en seraient améliorées (Burdon et al. 2012). Toutefois, il est nécessaire de rester critique devant cette information étant donné que les conclusions concernant l'état d'hydratation et la performance ne sont pas encore claires (Sawka et Noakes 2007; Kenefick 2018; Valenzuela et al. 2018).

La température externe peut aussi influencer la prise de boisson. Lors d'un effort dans un environnement chaud, le sodium ajouté aux boissons pour sportifs peut augmenter l'attrait de ces dernières (Baker et Jeukendrup 2014). L'importance du sodium dans la composition des boissons pour sportifs a été discutée à la section 2.3.2. Les boissons contenant des glucides et des électrolytes sont consommées en plus grandes quantités dans un environnement chaud dans le but de maintenir le volume plasmatique (Wilmore et al. 1998; Wilk et Bar-Or 1996; Vrijens et Rehrer 1999).

3.2.3 Effet sur la perception d'effort

En parcourant la littérature, il est possible de remarquer que le fait de consommer une boisson contenant des glucides ne semble pas améliorer la perception de l'effort chez les athlètes en comparaison avec un placebo (eau édulcorée). En effet, en comparant une boisson de glucides avec un placebo lors d'un exercice d'une durée de 120 min, Backhouse et coll. (2005) ont remarqué que les participants ayant reçu la boisson de glucides avaient une perception d'effort inférieure à ceux ayant reçu le placebo, mais que cette donnée était significative seulement après 75 min d'exercice (Figure 10). Les auteurs ne s'expliquent pas quant aux résultats obtenus (Backhouse et al. 2005).

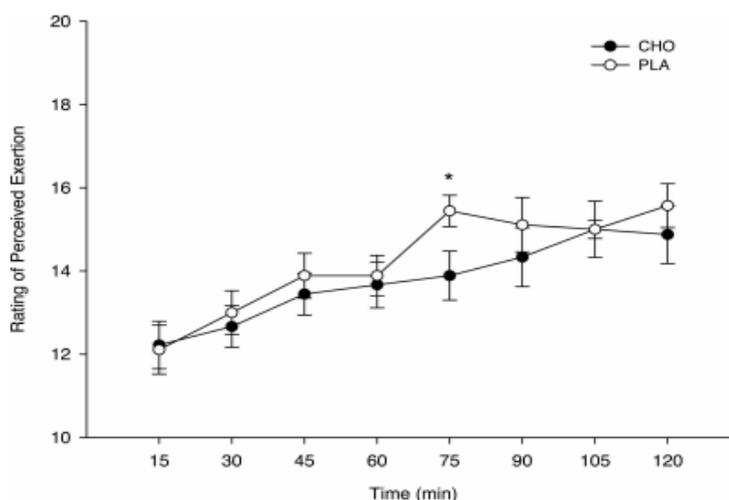


Figure 10. Tirée de Backhouse et coll. 2005. Perception de l'effort lors de 120 min d'exercice avec (CHO) et sans (PLA) ingestion de glucides.

Cette étude traitait aussi du plaisir que les participants ressentiaient à accomplir la tâche demandée. Les résultats indiquent que ceux ayant reçu la boisson de glucides ont ressenti plus de plaisir à l'exercice et lors de la récupération que ceux ayant eu le placebo (Backhouse et al. 2005). Dans le même ordre d'idée, Benton mentionne que la consommation d'aliments agréables au goût, comme les aliments à contenu élevé en glucides, est associée à la libération d'endorphines (Benton 2002). Les athlètes trouvaient donc que la tâche n'était pas plus facile, mais que cette dernière était plus plaisante lorsque des glucides étaient consommés pendant l'exercice.

Il est aussi possible de remarquer que, le fait qu'une boisson soit appréciée n'influence pas la perception de l'effort. En effet, dans leur étude où les boissons les plus appréciées et celles qui l'étaient moins étaient comparées entre elles et avec de l'eau, Passe et coll. n'ont noté aucun effet significatif au niveau de la perception de l'effort entre les conditions expérimentales (D. H. Passe, Horn, et Murray 2000). Il est possible d'effectuer le même constat dans plusieurs autres études. Un effet de temps est présent pour ce qui est de la perception de l'effort durant l'exercice, mais aucune différence n'est notée entre les différentes conditions expérimentales (Desbrow et al. 2004; Ali et al. 2011; Carter, Jeukendrup, et Jones 2005; Wilmore et al. 1998; Backhouse et al. 2007). Enfin, Jeukendrup et coll. ont remarqué que la perception de l'effort avait tendance à diminuer vers la fin de l'exercice chez les participants ayant consommé une boisson composée de glucides à transporteurs multiples en comparaison avec une boisson de glucose ou de l'eau. Cependant, ces résultats ne sont pas significatifs (Jeukendrup et al. 2006). À la lumière de ces informations, il est possible de statuer que l'amélioration de la perception de l'effort n'est pas un motif justifiant la prise de boisson pour sportifs. Toutefois, le plaisir associé au goût ou aux perceptions sensorielles pourrait influencer les athlètes quant au choix et à la prise volontaire (volume) de boisson.

3.2.4 Autres facteurs

Des facteurs qui ne sont pas reliés aux boissons elles-mêmes peuvent aussi influencer la quantité de breuvage qui sera consommée. En effet, le contenant dans lequel se trouvent les boissons peut avoir un effet sur l'appréciation et la consommation (Maughan et Murray 2000). La figure ci-dessous présente les résultats d'une étude comparant l'apport d'une même boisson dans un contexte d'exercice lorsque celle-ci est présentée dans différents contenants (Figure 11). Il est possible de remarquer que l'apport est plus important lorsque la boisson est présentée dans les bouteilles de 16 et 32 oz. Toutefois, ce sont les bouteilles de 16 oz (473 mL) qui ont été le mieux acceptées (Maughan et Murray 2000). Les sujets ont rapporté qu'il était facile de boire à partir de la bouteille de 32 oz (946 mL), mais que cette dernière était plus difficile à tenir. Les participants n'ont pas apprécié le format de la boîte de 250 mL ni le fait qu'une paille était nécessaire pour boire (Maughan et Murray 2000).

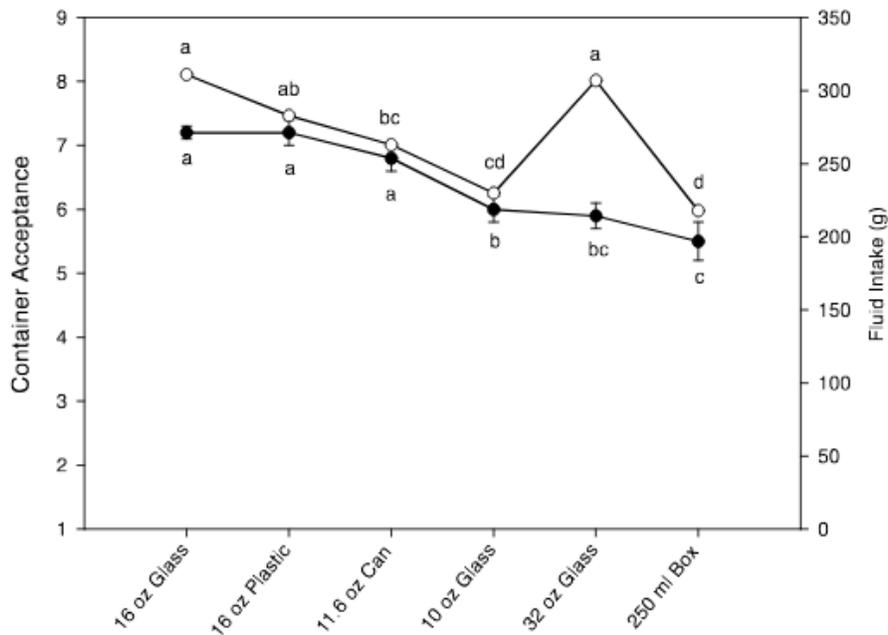


Figure 11. Tirée de Maughan et Murray. 2000. Appréciation de différents emballages et apport total (g). Échelle hédonique à 9 points : ● et quantité ingérée (g): ○

Le marketing utilisé par les compagnies peut aussi influencer la quantité de breuvage qui sera consommée. En effet, dans une étude effectuée par Plassmann et coll., les mêmes vins étaient administrés à deux reprises, mais en étant présentés comme différents (Plassmann et al. 2008). Les participants recevaient une information quant à la valeur de chaque produit. Après avoir noté les vins selon une échelle d'appréciation, il a été possible de remarquer que ceux plus dispendieux étaient associés à plus de plaisir. Grâce à l'utilisation d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, une activité plus importante au niveau du cortex orbitofrontal lorsque les participants consommaient les vins plus dispendieux fut observée. Cette partie du cerveau étant associée au plaisir, cela confirme que les participants ont trouvé plus plaisant de consommer un produit qu'ils croyaient plus dispendieux (Plassmann et al. 2008). Comme il a déjà été mentionné dans ce travail, une boisson qui est appréciée sera consommée en plus grande quantité qu'une autre qui l'est moins (Passe, Horn, et Murray 2000; Passe et al. 2004; Appleton 2005). Le marketing utilisé par les compagnies pourrait également avoir un impact sur l'ingestion volontaire. Cela demeure toutefois à être validé dans le cas du marketing utilisé pour les boissons sportives.

Chapitre 4 : Article

Ingestion of maple-based sports drinks, effect on perceived exertion, palatability and time-trial performance: an interventional study

Lavoie Lorianne¹, Leduc-Savard Nicolas¹, Tremblay Jonathan^{1*}.

¹School of Kinesiology and Exercise Science, Faculty of Medicine, University of Montreal

lorianne.lavoie@umontreal.ca

nicolas.leduc-savard@umontreal.ca

jonathan.tremblay@umontreal.ca

*corresponding author

Article in preparation for submission to the Journal of the International Society of Sports Nutrition

Abstract

Background: The aim of the current study is to assess the palatability of maple-based sports drinks ingested during prolonged exercise and investigate their effect on perceived exertion (RPE) and performance compared to other carbohydrates drinks and a placebo.

Method: Male recreationally and competitively active subjects ($n = 76$, mass = 73.7 ± 10.3 kg, maximum rate of oxygen consumption (VO_{2peak}) = 4.4 ± 0.5 L/min, maximal aerobic power (MAP) = 309 ± 42 W) ingested either one of four carbohydrate solutions (concentrated maple water, diluted maple syrup, glucose or a commercial sports drink, all at 60 g/L) or a placebo (water sweetened with stevia) at every 30 minutes during 120 min of steady-state exercise (SSE) on a cycle ergometer at 66% MAP, followed by a 20 km time trial (TT). Ratings of perceived

exertion (RPE, Borg CR-10) was recorded at each 30 min throughout the SSE and at every 5 km of the TT. A questionnaire was administered to assess sensory characteristics (sweetness, acidity, thirst-quenching ability, and overall taste) and appreciation (sweet, acid and overall) 30 minutes before (immediately after the first ingestion) and immediately after SSE.

Results: Sweetness was reported to be higher for maple water than glucose and placebo (pre : 0.60 ± 0.19 , 0.51 ± 0.17 and 0.50 ± 0.17 and post : 0.69 ± 0.19 , 0.34 ± 0.18 and 0.48 ± 0.22 ; $p < 0.05$, respectively) and maple syrup scored higher than maple water for the appreciation of the sweet taste (pre : 6.5 ± 1.5 vs 4.6 ± 1.8 and post 6.8 ± 1.8 and 4.1 ± 1.8 ; $p < 0.05$, respectively). Furthermore, subjects that had ingested maple water, reported a significantly lower RPE than those with placebo at 120 min (14.1 ± 2.2 vs 16.0 ± 2.0 , respectively). There was no difference in TT performance in any of the conditions.

Conclusions: Maple-based sports drinks are well appreciated during prolonged exercise and appear to be viable alternatives to more common sources of carbohydrates.

Trial registration: Registered on <https://clinicaltrials.gov/>, #NCT02880124.

Keywords: maple, palatability, perceived exertion, sports drinks, time trial, endurance

Background

Fluid and carbohydrate intake during endurance events are known to play a major role in maintaining an adequate energy level for performance (1). Recommendations and guidelines with regard to the timing and the amount of carbohydrate intake in order to maximize performance (2), as well as the optimal beverage composition for adequate fluid balance (3) don't discuss human-related factors such as change in sensory perception induced by exercise nor the beverage's appreciation.

To our knowledge, only a few studies have investigated palatability in an exercise context. Beverage palatability is defined by Passe et al. as “[...] the hedonic evaluation of the sensory properties of the beverage, such as taste, smell, and texture” (4). A higher palatability

appears to lead to an increased fluid intake (4,5). In addition, pleasantness was reported to change over the exercise period itself (6,7). These factors could be related to the “physiological usefulness” of ingesting a beverage, as previously described by Cabanac (8).

When assessing the palatability of beverages, studies often compare commercial sports drinks containing mostly corn-derived carbohydrates (CHO) or simple CHO solutions with either mono-, di-, polysaccharides or a mix of isolated compounds (5,6,9,10). Very few studies have reported using “natural” CHO sources, such as honey (11) or maple sugar. Maple water and syrup are mostly produced in Quebec, Canada, draw attention for some of their unique characteristics. Maple syrup is produced by evaporating maple water until it reaches a CHO concentration of 66-67% (12,13). With a high CHO content, maple water and syrup organic content is around 97% sucrose, with only traces of glucose, fructose and polymers. Both also contain minerals (mainly potassium, calcium and magnesium), phenolic compounds and organic acids (12–14). Phenolic compounds found in maple syrup are known to have an antioxidant effect (13).

Due to its unique composition, the aim of this study was to compare the sensory characteristics and appreciation of maple water and syrup with other common CHO products during prolonged exercise. In addition, the effects of ingesting maple-based products on perceived exertion and time trial performance following 2h of steady-state exercise were investigated.

Methods

Subjects

Recreationally and competitively active males (see Table 1) between 18 and 45 years old gave their informed written consent to participate in this study, which was approved by the human health research ethics committee of the University of Montreal (certificate #16-088-CERES-P). Recruitment was mostly done on social medias through cycling and triathlon groups and by word of mouth. All subjects had normal plasma glucose concentrations after a 12-h fast (5.18 ± 0.45 mmol/L) as well as 120 min after ingestion of 75 g of glucose in 300 mL of water

(5.43 ± 0.92 mmol/L). Over the course of the study, participants were asked to maintain their regular activity level and to notify the investigators of any alteration in their habitual exercise. None of the subjects was a smoker, heavy drinker (<3 drinks per week), under medication, or taking recreational drugs.

Table I. Detailed information about participants sorted by experimental condition

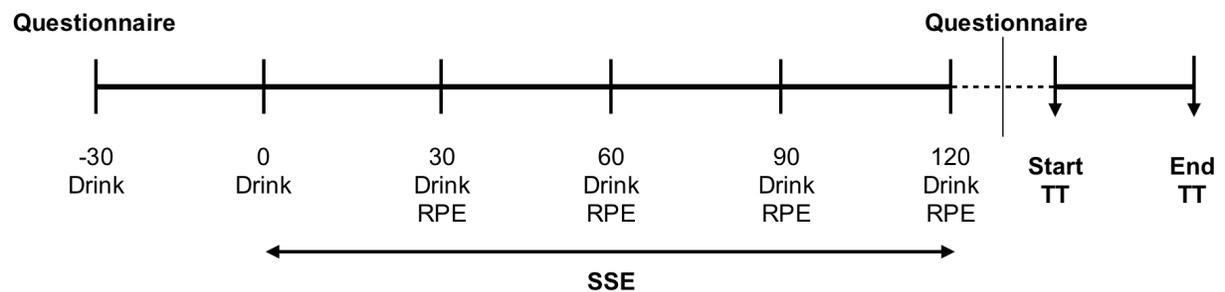
Condition	n	Body mass (kg)	Body fat (%)	VO₂peak (mL.kg⁻¹.min⁻¹)	MAP (W)
Placebo	15	72.4 ± 11	9.6 ± 4.8	62.1 ± 8	310 ± 44
Glucose	15	75.6 ± 8	11.8 ± 4.3	60.3 ± 8	319 ± 36
Sports drink	15	75.4 ± 12	10.0 ± 3.3	61.0 ± 7	308 ± 39
Maple water	16	72.4 ± 8	9.6 ± 3.6	59.9 ± 7	307 ± 51
Maple syrup	15	75.7 ± 12	10.1 ± 4.3	57.7 ± 6	303 ± 41

Experimental protocol

Fat-free mass (FFM) was measured using bioimpedancemetry (SBF-521; Tanita, Tokyo, Japan). Maximal oxygen consumption (VO₂max) and experimental workload on the cycle ergometer (Excalibur Sport, Lode BV, Groningen, Netherlands) were determined for each subject using open-circuit spirometry (Cardio-O2, MedGraphics, Saint Paul, MN, USA) during a preliminary test session. To avoid any effect of circadian variance and energy availability, the experiments were all performed between 8:30 and 11:30 a.m., after a standard dinner the day before, and breakfast (mixed diet: 92 kJ/kg/d; 55% CHO, 30% fat and 15% protein) ingested between 7:00 and 8:00 a.m. the morning of the trial. In the 48h preceding the experiment, subjects were asked to refrain from training or exhaustive exercise.

Following a simple randomization, the subjects were assigned to one of five beverage conditions during exercise: maple water, maple syrup, glucose, a commercial sports drink, or a placebo (water sweetened with stevia). The CHO content of the CHO solutions (maple water, maple syrup, glucose and the commercial sports drink) was standardized to 60 g/L. Maple water was provided by the Québec Maple Syrup Producers and had been concentrated to 60 g/L of CHO by reverse osmosis. Maple syrup and glucose were diluted in water the same concentration of CHO as in the commercial sport drink (60 g/L). Lemon juice (15 mL/L) and stevia (0.48 g/L) were added to water in the placebo condition to match the acid taste and the sweetness of the commercial sports drink. No electrolytes were added in any drinks. Stock solutions were all prepared in advance and stored in a freezer. All beverages needed for the day were prepared in the morning of the experimentation by diluting the stock solution. All drinks were served at approximately 4 °C, in opaque bottles. The exercise protocol consisted of 120 minutes of steady-state exercise (SSE) on the cycle ergometer at ~70% of the maximal power output (MAP; ~67% VO₂max). Beverages were ingested 30 minutes before (572 mL), immediately before the start and during the exercise period, at every 30 minutes (286 mL; total of 2 L) (Figure 2).

Figure 1. Scheme of the experimental protocol. Moments for beverage intake, questionnaires filling and RPE data collection are also shown.



Measurements

Rated perceived exertion (RPE) was recorded every 30 min by using modified Borg-10 scale (15). After completing the SSE, subjects were allowed off the cycle ergometer for ~5 min to void their bladder (if necessary). The ergometer was then set into linear mode (workload dependent upon cadence) after which the subjects began the simulated 20 km time trial (TT) on the same ergometer and were asked to complete the distance as quickly as possible. The only information provided during the TT was the cadence and, at every 5 km (25%), the percent of completed work. RPE was also recorded at every 5 km. No beverages were provided during the TT and subjects were not allowed to monitor their time, heart rate or power output.

Subjects had to fill a sensory assessment questionnaire pre- and post-SSE. As, to our knowledge, there is no published validated questionnaire to assess sensory perceptions, the questionnaire was home-made, inspired by what was done in previous studies (4–6, 9) and divided in two sections. The first assessed sensory characteristics (acid taste, sweet taste and thirst-quenching ability). These were measured using a 20 cm visual analogue scale labelled with markers appropriate for the sensory property being tested (e.g. “Not sweet” and “Very sweet” for the sweet taste) and then converted to percentages (4–6,16). Participants were told to draw a vertical line on each scale to rate the intensity of the sensory property (16). The other section assessed beverage appreciation (sweet taste, aroma, acid taste, overall appreciation). A 9-point hedonic scale was used. Scale categories varied from “Dislike Extremely” to “Like Extremely” and then converted to a score from 1 to 9 (4,9). Subjects were told to check the box corresponding to their appreciation (16).

Statistical Analysis

Palatability, appreciation and ratings of perceived exertion data were analyzed using a two-way ANOVA for repeated measures (condition x time). Time-trial performance was analyzed using a one-way ANOVA. Tukey’s HSD test was used for post-hoc comparisons. Significant differences were accepted when $P \leq 0.05$. All data are reported as mean \pm standard

deviation. Statistics were computed using the R language and Environment for Statistical Computing, version 3.5.1.

Results

Figures 3-6 show results for sensory data, RPE and time-trial performance. The aim of the current study is to assess the palatability of maple-based sports drinks ingested during prolonged exercise and investigate their effect on perceived exertion (RPE) and performance on a time-trial. Thus, the sensory data was compared from the state pre- to post-exercise, RPE was noted throughout SSE and time-trial performance were compared between conditions. To make the graphs easier to view, error bars were omitted for sensory characteristics and beverage appreciation.

Sensory Characteristics

Sweetness

Ratings of sweetness differed among drinks (main effect of treatment); maple water was perceived sweeter than glucose and placebo (pre : 0.60 ± 0.19 , 0.51 ± 0.17 and 0.50 ± 0.17 and post : 0.69 ± 0.19 , 0.34 ± 0.18 and 0.48 ± 0.22 ; $p < 0.05$, respectively), and sports drink was perceived sweeter than glucose (pre : 0.65 ± 0.14 and 0.51 ± 0.17 , post : 0.63 ± 0.19 and 0.34 ± 0.18) (Figure 3). In addition, an interaction of condition and time was also found. Ratings for glucose decreased from pre- to post-exercise (0.51 ± 0.17 and 0.34 ± 0.19) and ratings increased from pre- to post-exercise for maple water (0.60 ± 0.18 and 0.69 ± 0.20).

Refreshing

There was a main effect of treatment for the thirst-quenching rating, with glucose rated higher than maple water (pre : 0.66 ± 0.09 and 0.47 ± 0.20 and post : 0.56 ± 0.17 and 0.39 ± 0.19 ; $p < 0.05$) (Figure 3). A main effect of time was also found for the “refreshing” rating, it was higher before than after exercise ($p < 0.05$).

Acid

A main effect of treatment was found in which the commercial sports drink was perceived more acid than all other drinks ($p < 0.05$) (Figure 3). No time effect was found for acid intensity.

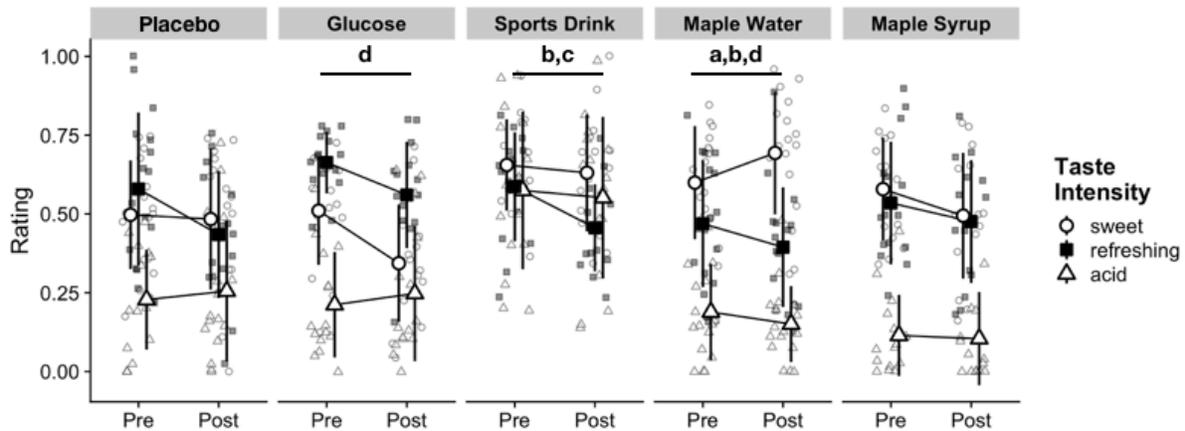


Figure 2. Mean ratings \pm SD of sweet, refreshing and acid intensity for each experimental condition, pre- and post-exercise (20 cm scale, converted to a fraction and represented from 0-1). Maple water is different than glucose for sweetness (a); maple water and sports drink are different than placebo for sweetness (b); sports drink is different than all other conditions for acid taste (c); there's an interaction of condition and time for glucose and maple water (d); there's a main time effect for refreshing taste.

Beverage Appreciation

Overall appreciation

There was a main effect of treatment for the overall appreciation, with maple water rated lower than all other drinks ($p < 0.05$) (Figure 4). There was also a main effect of time, with a greater appreciation before than after exercise ($p < 0.05$).

Sweet taste, acid taste and aroma

There was a main effect of treatment for the appreciation of sweet and acid taste, with maple syrup rated higher than maple water (sweet taste; pre : 6.5 ± 1.5 vs 4.6 ± 1.8 and post 6.8 ± 1.8 and 4.1 ± 1.8 and acid taste : pre : 5.2 ± 0.4 vs 4.8 ± 0.6 and post 5.3 ± 0.7 and 5.1 ± 0.4 for

maple syrup and maple water, respectively). No effect of time was found for sweet taste, acid taste nor aroma.

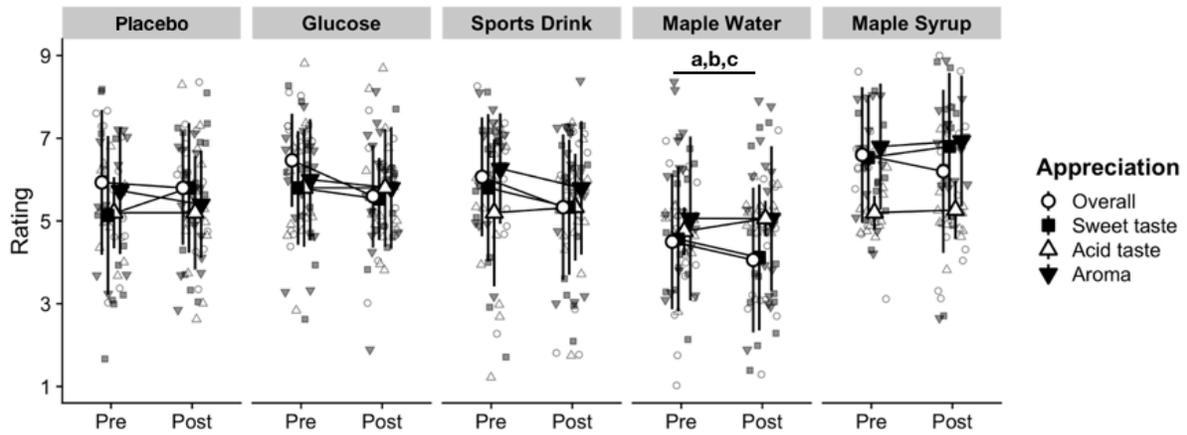


Figure 3. Mean ratings \pm SD of overall, sweet taste, acid taste and aroma appreciation for each experimental condition, pre- and post-exercise (9-point hedonic scale). Maple water is different than all other conditions for overall appreciation (a); maple water is different than maple syrup for sweet taste (b) and acid taste appreciation (c); there's a main time effect for overall appreciation.

Perception of effort

The ratings of perceived exertion increased over time during SSE for all conditions (main effect of time). There was also a main effect of treatment for RPE; while no difference was observed between placebo, glucose, the commercial sports drink and maple syrup, subjects ingesting maple water reported lower RPE than with placebo. Although, this result is only significant at 120 min (14.1 ± 2.2 and 16.0 ± 2.0 , respectively).

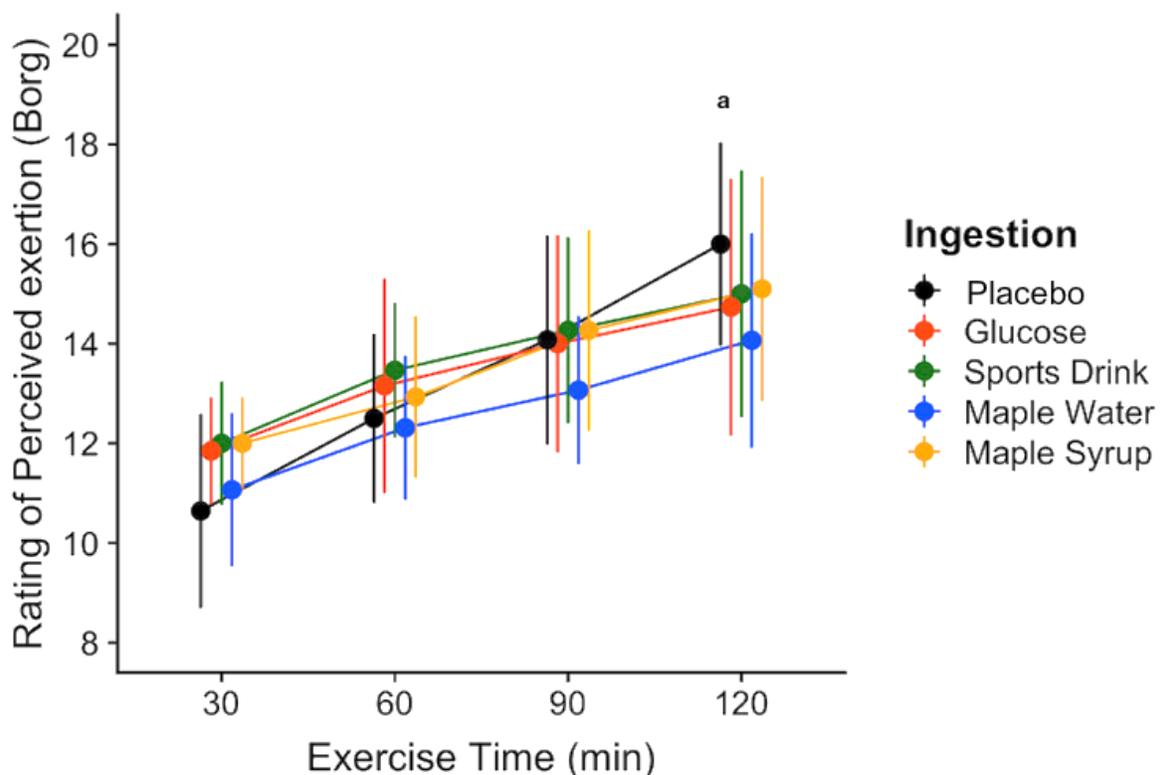


Figure 4. Mean \pm SD for RPE every 30 minutes of the SSE for each experimental condition (Borg scale). Maple water is different than placebo for RPE (a).

Time-trial performance

There was no significant difference in TT performance in any of the conditions.

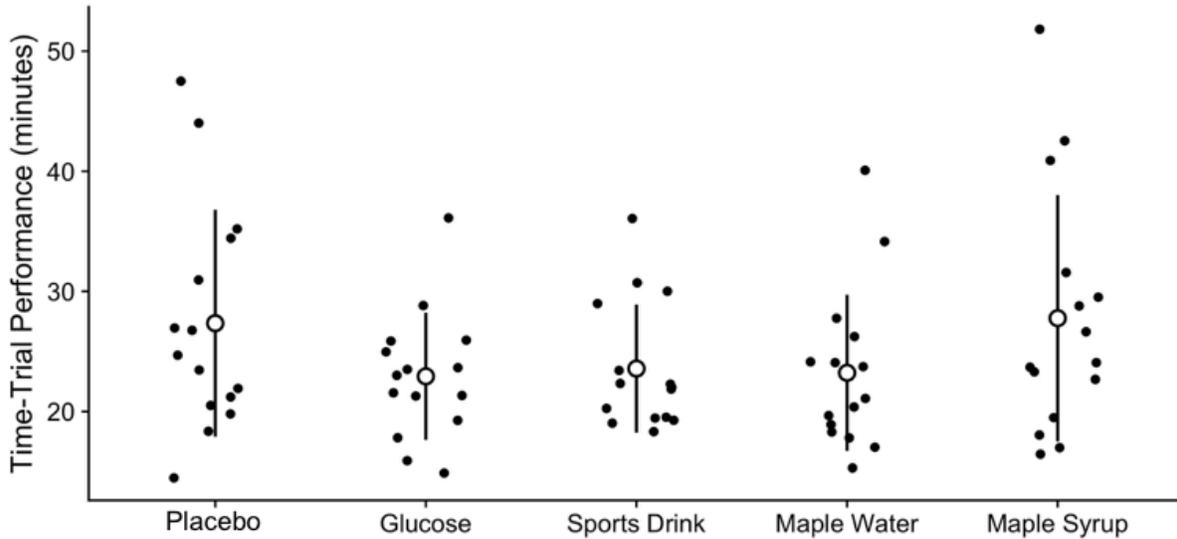


Figure 5. Individual subject time-trial data and means \pm SD per experimental group.

Discussion

The aim of the current study was to assess palatability of maple-based sports drinks and its effect on RPE and time-trial performance. The main findings were that maple water and commercial sports drink conditions were rated significantly sweeter than glucose and placebo (Figure 2). Maple syrup ingestion led to a greater overall appreciation compared to maple water (Figure 3). Despite its lower appreciation, subjects who received maple water reported a significantly lower RPE than with other conditions (Figure 4). Regarding performance, no condition seems to provide an advantage over a 20 km time trial (Figure 5).

The fact that all solutions were CHO-matched, except for the placebo, may suggest that the beverage composition has an impact on perceived sweetness. Narukawa and colleagues found an increased sensitivity threshold for sucrose during fatigue (17). As maple water and the commercial drink contain mainly sucrose (unpublished data from our lab), it could have

contributed to the fact that their sweetness was perceived higher than the glucose solution or the placebo. However, maple syrup is also mainly sucrose and this solution wasn't evaluated as sweet as the other ones with a high sucrose content (Figure 2). Maple syrup was rated higher than maple water for the sweetness, the aroma and overall appreciation despite a lower sweetness perception (Figure 3). The reason for these disparities between maple-based sports drinks remains unknown.

Following the analysis of the questionnaires results, there were only a few significant differences between the pre- and post-exercise ratings. The fact that overall appreciation decreased following the exercise period was also partly observed by Passe and al. (5). In fact, overall appreciation of the most acceptable drink and water decreased with exercise, but overall appreciation of the least acceptable drink increased. However, other studies suggest that exercise could have a positive effect on this characteristic (7,18). Ali and al. have also previously reported no pre- and post-exercise difference, but they also measured palatability during exercise. They reported that an increase in perceived sweetness for all types of drinks, except the placebo, during exercise (6).

Despite the fact that maple water was significantly less appreciated than other beverages, subjects who received this beverage reported a lower RPE than those who had the placebo, but this was significant only at 120 min (Figure 4). Passe and al. didn't report any difference in RPE between the most acceptable and the least acceptable drinks either (5), and many studies found similar results (6,10,19–21). They all found an effect of time for RPE during exercise, but no difference was found between any experimental conditions. What does seem to have an effect on RPE is the use of multiple transportable carbohydrate solutions during an endurance event (1,22–25). All these studies have reported an improvement in RPE when multiple transportable carbohydrate solutions were tested in comparison with single-transport carbohydrates. This may be due to a higher CHO oxidation rate, but this mechanism remains to be confirmed (26).

Results also show no detectable advantage on the TT performance for any beverage (Figure 5). This result suggests that natural compounds, such as those found in maple-based products, like phenolic compounds and organic acids, don't seem to confer additional benefits during exercise, at least at the concentration in which they are naturally found. Maughan and al.

reported a mild effect of ingesting polyphenols on a small number of untrained subjects (27) while Braakhuis and Hopkins reported performance enhancement in rats (28). Further investigations are needed to confirm whether phenolic compounds could benefit performance or not.

Subjects who received a CHO drink didn't perform significantly better than those who received a placebo. We could have expected a better performance in those who received carbohydrates as they are known to enhance performance (1,29–33). However, Desbrow and colleagues didn't find any significant difference during a time-trial performance between subjects who received a placebo or a 6% CHO-electrolyte solution either (34). The authors concluded that, when subjects followed pre-exercise nutrition guidelines, a 6% CHO-electrolyte solution had no effect on a 1h cycling time trial (34). Results on CHO ingestion during exercise and performance have confounding results and many studies administering doses of 60 g/h have reported little benefits on performance (31). Furthermore, in the placebo condition, stevia was used to match the commercial sports drinks' sweet taste. Several studies have found that oral exposure of CHO led to the stimulation of the central nervous system during events shorter than 60 min, including time trials, leading to an improvement of performance (3,30,31,35,36,37). Although stevia wasn't tested in those studies, it is possible that the sweet taste it provided in the current study contributed to an improvement in time-trial performance which would have attenuated the differences with the conditions with CHO ingestion.

One limitation of this study is that it was a single-blind trial. Subjects didn't know what condition they had, but we were aware of this information. The fact that we prepared the stock solutions ourselves made the double-blind difficult to achieve. The risk of the experimenter's bias was, therefore, present. Another limitation of this study is the fact that some subjects were considered "well-trained" and other were more "recreational" athletes, this could have contributed to a greater variability in time-trial performance. As such, Zavorsky and al. have noticed that the bottom 10 performers of their subjects had a much lower coefficient of variation for the average power output, average speed and average time to complete a 20 km TT than the top 8 performers (38). In our case, it is possible that the absence of significant results is due to the heterogeneity of subjects. Another aspect that induced variability is the fact that this study

had a parallel design instead of a cross-over one. This was decided since, in a cross-over design, the multiple treatment conditions would have required participants to come to the laboratory 6-7 weeks in a row, increasing the possibility for dropouts and changes in fitness status.

Other limitations of the present study are the effect of untrained subjects in the use of sensory questionnaires and intensity scale, and the fact that beverage temperature wasn't strictly controlled when served to participants. Subjects were unfamiliar with the sensory questionnaire and it could have affected their way of answering. Most of them weren't familiar with Borg scale either. RPE could have been distorted for those subjects. Also, the fact that beverage temperature wasn't strictly controlled could have influenced perception and appreciation. Those aspects will be considered in future studies. We could also have included perception of salty taste in our sensory questionnaire.

Conclusions

In summary, subjects reported no significant changes in sensory perception nor appreciation when drinking before or following exercise. Maple water and commercial drink were rated sweeter than glucose and placebo. However, maple syrup scores higher than maple water for appreciation of sweetness, aroma and overall appreciation. Appreciation differences between maple-based products remain unclear. When assessing maple-based products and performance, athletes who received maple water reported a lower RPE. Finally, no experimental condition provided an advantage during the time-trial performance. This study was the first to use maple products as CHO sources in an exercise context. More research will be needed to conclude if they provide an advantage over existing products and to assess the role of polyphenols as antioxidants during exercise. For now, we can state that maple-based sports drinks appear to be viable alternatives to more common sources during endurance exercise.

Declarations

Ethical approval and consent to participate

This study was approved by *Le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES)* from the University of Montreal. The reference number is *16-088-CERES-P*.

Consent for publication

Not applicable

Availability of data and material

Please contact the corresponding author for data requests.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Funding

This study was funded by Agriculture and Agri-food Canada (AAFC) and by the Federation of Quebec Maple Syrup Producers.

Author's contribution

JT conceived the study. LL coordinated the project. All authors participated to the data collection. JT performed the statistical analysis. LL wrote the manuscript. JT suggested corrections. All authors read and approved the final manuscript.

Acknowledgments

The authors would like to thank Xavier Desharnais and Mélanie Paradis for their help with data collection and the participants for providing their time and effort to complete this study.

References

1. Cermak NM, van Loon LJC. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med.* 2013 Nov;43(11):1139–55.
2. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Mar;48(3):543–68.
3. Baker LB, Jeukendrup AE. Optimal composition of fluid-replacement beverages. *Compr Physiol.* 2014 Apr;4(2):575–620.
4. Passe DH, Horn M, Stofan J, Murray R. Palatability and voluntary intake of sports beverages, diluted orange juice, and water during exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004 Jun;14(3):272–84.
5. Passe DH, Horn M, Murray R. Impact of beverage acceptability on fluid intake during exercise. *Appetite.* 2000 Dec;35(3):219–29.
6. Ali A, Duizer L, Foster K, Grigor J, Wei W. Changes in sensory perception of sports drinks when consumed pre, during and post exercise. *Physiol Behav.* 2011 Mar 28;102(5):437–43.
7. Jarry LC. Effects of physical exercise on sensory perception and hedonic response. 2016; Available from: <http://krex.k-state.edu/dspace/handle/2097/34543>
8. Cabanac M. Physiological role of pleasure. *Science.* 1971 Sep 17;173(4002):1103–7.
9. Murray R, Seifert JG, Eddy DE, Paul GL, Halaby GA. Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;59(1-2):152–8.
10. Desbrow B, Minahan C, Leveritt M. Drink-flavor change's lack of effect on endurance cycling performance in trained athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007 Aug;17(4):315–27.
11. Yusof A, Ahmad NS, Hamid M. S. A, Khong TK. Effects of honey on exercise performance and health components: A systematic review. *Sci Sports.* 2018 Oct 1;33(5):267–81.
12. Ball DW. The Chemical Composition of Maple Syrup. *J Chem Educ.* 2007 Oct 1;84(10):1647.
13. Thériault M. Étude des propriétés antioxydantes et antimutagènes de composés phénoliques issus de l'érable [Internet] [masters]. [Québec]: Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique; 2004 [cited 2018 Dec 15].
14. St-Pierre P, Pilon G, Dumais V, Dion C, Dubois M-J, Dubé P, et al. Comparative analysis of maple syrup to other natural sweeteners and evaluation of their metabolic responses in healthy rats. *J Funct Foods.* 2014;11:460–71.
15. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377–81.
16. Chambers E, Wolf MB. Sensory testing methods: 2nd edition. Vol. 20. 1996.
17. Narukawa M, Ue H, Morita K, Kuga S, Isaka T, Hayashi Y. Change in Taste Sensitivity to Sucrose Due to Physical Fatigue. *Food Sci Technol Res.* 2009;15(2):195–8.

18. Appleton KM. Changes in the perceived pleasantness of fluids before and after fluid loss through exercise: a demonstration of the association between perceived pleasantness and physiological usefulness in everyday life. *Physiol Behav.* 2005 Jan 17;83(5):813–9.
19. Carter J, Jeukendrup AE, Jones DA. The Effect of Sweetness on the Efficacy of Carbohydrate Supplementation During Exercise in the Heat. *Can J Appl Physiol.* 2005 Aug 1;30(4):379–91.
20. Wilmore JH, Morton AR, Gilbey HJ, Wood RJ. Role of taste preference on fluid intake during and after 90 min of running at 60% of VO₂max in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Apr;30(4):587–95.
21. Backhouse SH, Ali A, Biddle SJH, Williams C. Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: impact on affect and perceived exertion. *Scand J Med Sci Sports.* 2007 Oct 1;17(5):605–10.
22. Currell K, Jeukendrup AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc.* 2008 Feb;40(2):275–81.
23. Jeukendrup AE, Moseley L, Mainwaring GI, Samuels S, Perry S, Mann CH. Exogenous carbohydrate oxidation during ultraendurance exercise. *J Appl Physiol.* 2006 Apr;100(4):1134–41.
24. Rowlands DS, Swift M, Ros M, Green JG. Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012 Jun;37(3):425–36.
25. Triplett D, Doyle JA, Rupp JC, Benardot D. An isocaloric glucose-fructose beverage's effect on simulated 100-km cycling performance compared with a glucose-only beverage. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010 Apr;20(2):122–31.
26. Karelis AD, Smith JW, Passe DH, Péronnet F. Carbohydrate administration and exercise performance: what are the potential mechanisms involved? *Sports Med.* 2010 Sep 1;40(9):747–63.
27. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018 Mar 1;28(2):104–25.
28. Braakhuis AJ, Hopkins WG. Impact of Dietary Antioxidants on Sport Performance: A Review. *Sports Med.* 2015 Jul;45(7):939–55.
29. Mitchell JB, Costill DL, Houmard JA, Flynn MG, Fink WJ, Beltz JD. Effects of carbohydrate ingestion on gastric emptying and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1988 Apr;20(2):110–5.
30. Correia-Oliveira CR, Bertuzzi R, Dal'Molin Kiss MAP, Lima-Silva AE. Strategies of dietary carbohydrate manipulation and their effects on performance in cycling time trials. *Sports Med.* 2013 Aug;43(8):707–19.
31. Stellingwerff T, Cox GR. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014 Sep;39(9):998–1011.
32. Smith JW, Pascoe DD, Passe DH, Ruby BC, Stewart LK, Baker LB, et al. Curvilinear dose-response relationship of carbohydrate (0-120 g·h⁻¹) and performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2013 Feb;45(2):336–41.

33. Smith JW, Zachwieja JJ, Péronnet F, Passe DH, Massicotte D, Lavoie C, et al. Fuel selection and cycling endurance performance with ingestion of [¹³C]glucose: evidence for a carbohydrate dose response. *J Appl Physiol*. 2010 Jun;108(6):1520–9.
34. Desbrow B, Anderson S, Barrett J, Rao E, Hargreaves M. Carbohydrate-electrolyte feedings and 1 h time trial cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2004 Oct;14(5):541–9.
35. Turner CE, Byblow WD, Stinear CM, Gant N. Carbohydrate in the mouth enhances activation of brain circuitry involved in motor performance and sensory perception. *Appetite*. 2014 Sep;80:212–9.
36. Jeukendrup AE, Chambers ES. Oral carbohydrate sensing and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010 Jul;13(4):447–51.
37. Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *J Physiol*. 2009 Apr 15;587(Pt 8):1779–94.
38. Zavorsky GS, Murias JM, Gow J, Kim DJ, Poulin-Harnois C, Kubow S, et al. Laboratory 20-km cycle time trial reproducibility. *Int J Sports Med*. 2007 Sep;28(9):743–8.

Chapitre 5 : Discussion générale

Le but de cette étude est composé de deux sous-objectifs : (1) évaluer les caractéristiques organoleptiques et l'appréciation de boissons pour sportifs à base d'érable, ainsi que de les comparer à d'autres boissons et solutions de glucides; et (2) observer si les produits à base d'érable ont un effet sur la perception de l'effort lors d'une épreuve d'endurance et s'ils confèrent un avantage lors d'une performance sur un contre-la-montre.

Les conclusions principales sont que l'eau d'érable ainsi que la boisson commerciale ont été notées significativement plus sucrées que la solution de glucose et le placebo. Toutefois, la solution de sirop d'érable fut plus appréciée que l'eau d'érable. Cette différence pourrait être en lien avec la création de nouveaux composés phénoliques lors de la transformation de l'eau d'érable en sirop d'érable.

Malgré son appréciation moindre, les participants ayant reçu l'eau d'érable ont rapporté une perception de l'effort inférieure à ceux ayant reçu le placebo en fin d'exercice. Au niveau de la performance, le temps d'exécution du contre-la-montre de 20 km n'est pas significativement différent pour aucune des boissons. L'hétérogénéité au niveau des capacités physiques des participants a pu influencer la variabilité des résultats concernant la performance. Suite aux tests préliminaires, il est possible de constater un écart en lien avec la consommation maximale d'oxygène chez les sujets. De plus, la différence en terme de niveau d'entraînement chez les participants a pu avoir un impact sur la fatigue ressentie pendant l'effort continu, précédant le contre-la-montre.

5.1 Analyse des questionnaires sensoriels

Étant donné que toutes les boissons, à l'exception du placebo, contenaient 6% de glucides, mais que la perception du goût sucré fut plus élevée pour la boisson commerciale et l'eau d'érable que pour la solution de glucides et le placebo, cela porte à croire que la composition des boissons a eu un impact sur la perception du goût sucré. Dans ce cas-ci, le saccharose est l'élément commun entre la boisson commerciale et l'eau d'érable (donnée non publiée de notre laboratoire). Comme il a été mentionné à la section 2.3.1, le seuil de détection

du saccharose est plus élevé après un exercice d'endurance (Narukawa et al. 2009). Sachant que le contenu en glucides du sirop d'érable atteint environ 97% de saccharose (Ball 2007; Thériault 2004), on aurait pu s'attendre à ce que le sirop d'érable soit perçu comme étant plus sucré que le glucose et le placebo, ce qui ne fût pas le cas. Toutefois, le sirop d'érable fut mieux noté que l'eau d'érable quant à l'appréciation du goût sucré, de l'arôme et l'appréciation générale. Comme la composition de l'eau d'érable et de la solution de sirop d'érable est semblable, la raison de cet écart au niveau de la perception et de l'appréciation entre ces deux produits est difficilement identifiable. Très peu de données sont disponibles dans la littérature quant à ces sources de glucides. Toutefois, une différence connue entre les produits de l'érable est le fait que des composés phénoliques sont formés suite aux réactions chimiques subies par l'eau d'érable lors du processus d'évaporation. Comme ces composés ne sont pas présents dans l'eau d'érable, cela pourrait expliquer, du moins en partie, les différences de perception et d'appréciation entre les deux produits.

Il est aussi pertinent de souligner que le fait que le sirop d'érable ait été mieux apprécié est peut-être en lien avec le fait que ce dernier soit un produit local généralement apprécié. En effet, selon le concept de biais culturel il est possible que les participants ayant décelé le goût de sirop d'érable aient évalué leur solution de manière plus favorable que s'ils avaient reçu une solution différente (Grégoire 2006).

Dans une optique de performance, ce n'est pas nécessairement parce qu'un produit est moins apprécié qu'il ne sera pas consommé. En effet, l'une des raisons principales rapportées quant à l'augmentation de l'utilisation de suppléments chez la population athlétique est l'amélioration des performances (Maughan et Murray 2000; Fréchette 2009). Quelques travaux ont rapporté une hausse de la consommation de suppléments chez les sportifs (Maughan et al. 2018; Fréchette 2009) malgré de possibles effets indésirables associés à la prise de certains d'entre eux, comme par exemple, la paresthésie associée à la prise de beta-alanine (Thomas, Erdman, et Burke 2016). Ainsi, il est possible de déduire que les athlètes pourraient faire fi de l'appréciation qu'ils ont d'une boisson si cette dernière leur permet d'obtenir un gain au niveau de la performance.

5.2 Effet des conditions expérimentales sur la perception d'effort

Aucune boisson ne se démarque de manière significative au niveau de l'amélioration de la perception de l'effort. De la même manière, Passe et coll. n'ont trouvé aucune différence au niveau de la perception de l'effort entre la boisson qui était la mieux acceptée et celle qui l'était le moins (Passe, Horn, et Murray 2000). Plusieurs autres études ont obtenu des résultats similaires (Ali et al. 2011; Desbrow, Minahan, et Leveritt 2007; Carter, Jeukendrup, et Jones 2005; Wilmore et al. 1998; Backhouse et al. 2007). Toutes ces études ont observé un effet du temps sur l'augmentation de la perception de l'effort, mais aucune différence ne fut notée entre les conditions expérimentales. Ce qui semble améliorer la perception de l'effort lors d'épreuves en endurance est l'utilisation de glucides à transporteurs multiples (Cermak et van Loon 2013; Jentjens et al. 2006; Rowlands et al. 2012; Triplett et al. 2010; Jeukendrup et al. 2006). Ces travaux ont rapporté une amélioration au niveau de la perception de l'effort lorsque des solutions contenant des glucides à transporteurs multiples étaient utilisées en comparaison avec des glucides à transporteurs uniques. Cela pourrait être dû à une plus grande oxydation des glucides, toutefois, ce mécanisme reste incertain (Karelis et al. 2010).

Comme il a été mentionné dans la revue de la littérature, le fait qu'une boisson soit appréciée ou non ne semble pas influencer la perception de l'effort (section 3.2.3). Toutefois, le plaisir associé au goût ou aux perceptions sensorielles pourrait influencer les athlètes quant au choix de boisson (Backhouse et al. 2005). Benton mentionne aussi que la consommation d'aliments agréables au goût, comme les aliments à contenu élevé en glucides, est associée à la libération d'endorphines (Benton 2002). Dans le cadre de son étude, il rapporte que lorsque des glucides étaient consommés pendant l'exercice, les athlètes n'ont pas trouvé la tâche demandée plus facile, mais que cette dernière était plus plaisante.

5.3 Effet des conditions expérimentales sur la performance au contre-la-montre

Au niveau de la performance sur le contre-la-montre, les résultats ne démontrent pas d'effet significatif pour aucune des conditions expérimentales. Ces résultats supposent que les composés naturellement présents dans les produits d'érable, comme les composés phénoliques et les acides organiques, ne procurent pas d'avantages additionnels aux athlètes, du moins, à ces concentrations. Quelques études ont rapporté un effet des polyphénols sur la performance (Maughan et al. 2018; Braakhuis et Hopkins 2015). Maughan et coll. ont rapporté un léger effet sur un petit groupe de participants non entraînés (Maughan et al. 2018) alors que Braakhuis et Hopkins ont noté une amélioration de la performance chez les rats (Braakhuis et Hopkins 2015). Cardinal et coll. ont rapporté que le quebecol, soit un composé phénolique présent dans le sirop d'érable suite au processus d'évaporation, aurait une activité anti-inflammatoire *in vitro* (Cardinal et al. 2017). Toutefois, des travaux supplémentaires seront nécessaires afin d'évaluer si les composés phénoliques procurent un avantage au niveau de la performance ou non.

Les sujets ayant reçu une boisson de glucides n'ont pas significativement mieux performé que ceux ayant reçu le placebo. On aurait pu s'attendre à une meilleure performance de la part de ceux ayant reçu des solutions de glucides étant donné que ces derniers sont connus comme ayant un effet positif sur la performance (Cermak et van Loon 2013; Mitchell et al. 1988; Correia-Oliveira et al. 2013; Stellingwerff et Cox 2014; Smith et al. 2013, 2010). Toutefois, Desbrow et coll. n'ont pas trouvé d'amélioration significative sur la performance lors d'un contre-la-montre entre les participants ayant reçu une boisson concentrée à 6% en comparaison avec ceux ayant reçu une boisson à 10% (Desbrow et al. 2004). Les auteurs ont conclu que, lorsque les sujets suivent certaines lignes directrices nutritionnelles avant l'exercice, une boisson contenant 6% de glucides n'avait pas d'effet sur la performance d'un contre-la-montre d'une heure (Desbrow et al. 2004). Dans le cadre de notre projet, les participants ont tous reçu un souper et un déjeuner standardisés à consommer la veille et le matin de l'expérimentation. Il est possible que cela ait eu un impact sur la performance. De plus, tout au long de l'épreuve d'endurance précédant le contre-la-montre, les participants ont reçu des

boissons ayant toutes un contenu identique en glucides par intervalles de 30 min. Ces boissons ont fourni un apport en glucides correspondant à 60 g/h, tel que recommandé dans les lignes directrices (Thomas, Erdman, et Burke 2016; Baker et Jeukendrup 2014). Seuls ceux ayant reçu le placebo n'ont pas eu d'apport en glucides exogène. Toutefois, dans le placebo, du stévia fut utilisé pour reproduire le goût sucré de la boisson commerciale. Plusieurs travaux ont rapporté que la présence de glucides dans la cavité orale menait à la stimulation du système nerveux central lors d'événements de durée inférieure à 60 min, incluant les contre-la-montre, menant à une amélioration de la performance (Stellingwerff et Cox 2014; Jeukendrup et Chambers 2010; Chambers, Bridge, et Jones 2009; Baker et Jeukendrup 2014; Turner et al. 2014; Correia-Oliveira et al. 2013). Même si le stévia n'était pas testé dans le cadre de ces travaux, il est possible que son goût sucré ait eu un impact sur la performance au contre-la-montre en agissant sur les mêmes récepteurs que les glucides.

En observant les améliorations obtenues via la présence de glucides dans la cavité orale dans le cadre de courtes performances, Gam et coll. se sont penchés sur l'effet potentiel du goût amer (Gam, Guelfi, and Fournier 2016). La présence du goût amer dans la bouche semble activer des régions cérébrales, aussi activées par le goût sucré, soit le cortex cingulaire antérieur et le striatum. De plus, les auteurs rapportent que le goût amer et déplaisant d'une solution de quinine suscite une réponse plus durable au niveau du système nerveux autonome en comparaison avec des solutions au goût sucré, salé et acide. Ils expliquent aussi que le cerveau répond plus rapidement à un stimulus perçu comme négatif. Gam et coll. ont en effet observé que, malgré le caractère déplaisant de la solution, les puissances moyenne et maximale produites par les sujets étaient améliorées suite à l'ingestion d'une solution de quinine concentrée à 2 mmol/L en comparaison avec un placebo (eau édulcorée) et un contrôle (eau) (amélioration de 2,4% et 3,9% pour la puissance moyenne et de 1,9% et 3,7% pour la puissance maximale, par rapport au placebo et au contrôle, respectivement) (Gam, Guelfi, and Fournier 2016). Les solutions ayant un goût amer semblent donc une avenue intéressante à étudier pour le développement de suppléments améliorant les performances de courte durée. Ceci rappelle aussi le fait que les athlètes pourraient faire fi de l'appréciation qu'ils ont d'une boisson si cette dernière leur permet d'obtenir un gain au niveau de la performance.

5.4 Limites et forces de l'étude

Certaines limites de ce projet sont en lien avec les questionnaires et les boissons. En effet, les sujets n'étaient pas familiers avec l'utilisation du questionnaire sensoriel et de l'échelle d'intensité de l'effort. De plus, la température de service n'était pas standardisée lorsque les boissons étaient servies aux participants. Étant donné que les participants n'étaient pas familiers avec les questionnaires, cela a pu influencer leur manière d'y répondre. Lefebvre et Bassereau précisent que l'interprétation individuelle des termes utilisés dans les questionnaires est une limite de l'analyse sensorielle (Lefebvre et Bassereau 2003). Le fait qu'il n'existe pas de questionnaire standardisé dans le domaine de l'évaluation sensorielle et de l'exercice a complexifié le processus de leur création ainsi que leur interprétation. Nous nous sommes inspirés de ce qui a été fait dans les travaux traitant de sujets similaires au nôtre et nous avons consulté une enseignante au département de nutrition de l'Université de Montréal qui enseigne ce sujet. De plus, la plupart de participants n'avaient jamais travaillé avec l'échelle de perception de l'effort. L'interprétation de cette dernière a pu être biaisée pour ces sujets. Le fait que la température des boissons n'était pas strictement contrôlée a aussi pu influencer leur perception et leur appréciation. Comme il a été mentionné à la section 3.2.2, la température de service peut avoir un effet sur l'appréciation d'une boisson. Les prochains projets devront mieux contrôler la température des boissons au moment de l'ingestion. Ces aspects seront considérés lors de prochaines études.

D'autres limites sont le fait que cette étude ait été effectuée en parallèle et à simple insu. Même si le fait de faire une étude à mesures répétées aurait diminué la variabilité des résultats, l'implication de chaque participant aurait été trop importante. Selon le protocole actuel, chacun devait se présenter au laboratoire à 4 reprises afin de compléter les tests préliminaires ainsi que le protocole expérimental. Un total de 7h était donc nécessaire. Si chaque participant avait dû compléter le protocole pour faire la séance expérimentale avec toutes les conditions, ce nombre serait passé à 35h. De plus, les chances que les participants abandonnent durant le projet étaient trop élevées. Ensuite, la distribution des boissons s'est effectuée à simple insu étant donné que nous avons préparé les solutions-mères. Il aurait fallu faire préparer ces dernières par une personne non impliquée dans le projet afin de pouvoir effectuer une distribution à double insu.

Les forces en lien avec cette étude sont la taille de l'échantillon ainsi que le fait que, à notre connaissance, cette étude soit la première à mettre en relation les produits de l'érable et la performance sportive. Le fait d'avoir réussi à obtenir un tel échantillon a fait en sorte que nous ayons pu obtenir des résultats statistiquement significatifs. De plus, le nombre de sujets ayant participé est plus important comparativement aux autres études du même type. Enfin, l'originalité de cette étude permet faire rayonner, au sein des communautés scientifique et sportive, les produits de l'érable comme source de glucides dans un contexte sportif. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de positionner des produits locaux comme alternative aux boissons traditionnellement utilisées dans les sports d'endurance.

5.5 Implication

Mon rôle au sein de ce projet consistait à effectuer des tâches variées. Avant le début de la collecte de données, j'ai été en charge de créer les questionnaires sensoriels. Les recherches de lignes directrices et de travaux traitant de l'évaluation sensorielle dans un contexte d'exercice m'ont permis de développer les questionnaires utilisés dans le cadre de ce projet. J'ai aussi consulté une ressource ayant une expertise en évaluation sensorielle au département de nutrition de l'Université de Montréal afin de valider certains points.

Lorsque la collecte de données a débuté, j'ai été en charge de la coordination du projet. Je m'occupais de planifier les rendez-vous des participants ainsi que de prévoir les ressources humaines et matérielles nécessaires. J'ai aussi participé activement à la collecte de données en faisant passer les tests préliminaires ainsi que le protocole expérimental.

5.6 Conclusion

En résumé, aucune différence n'a été notée au niveau de la perception ni de l'appréciation des boissons par rapport au temps. L'eau d'érable et la boisson commerciale ont été notées plus sucrées que la solution de glucose et le placebo. Toutefois, le sirop d'érable a été mieux noté que l'eau d'érable pour l'appréciation du goût sucré, de l'arôme et l'appréciation

générale. Les différences au niveau de l'appréciation entre les produits à base d'érables sont difficilement explicables, mais pourraient être en lien avec le processus d'évaporation subi par l'eau d'érable. Finalement, aucune boisson n'a conféré d'avantage significatif sur la perception de l'effort ainsi que lors de la performance au contre-la-montre. Cette étude fut, à notre connaissance, la première à évaluer les produits de l'érable comme source de glucides dans un contexte d'exercice. Plus de recherches seront nécessaires afin de conclure s'ils procurent un avantage par rapport aux produits pour sportifs existants et pour évaluer le rôle des polyphénols comme antioxydants dans un contexte d'exercice. Pour le moment, il est possible d'affirmer que les produits pour sportifs à base d'érable semblent constituer une alternative raisonnable aux produits couramment utilisés lors d'exercices d'endurance.

Malgré le fait que quelques résultats en lien avec les produits de l'érable soient significatifs au niveau de l'évaluation sensorielle, il serait intéressant d'effectuer les mêmes tests avec des femmes. Peut-être que leur perception serait différente de celle des hommes et que nous aurions de nouveaux résultats significatifs. Il serait aussi intéressant de comparer les produits de l'érable entre eux et d'évaluer les caractéristiques sensorielles de solutions de concentrations différentes.

Bibliographie

- Ali, Ajmol, Lisa Duizer, Kylie Foster, John Grigor, et Wenqi Wei. 2011. « Changes in Sensory Perception of Sports Drinks When Consumed Pre, during and Post Exercise ». *Physiology & Behavior* 102 (5): 437-43.
- Appleton, K. M. 2005. « Changes in the Perceived Pleasantness of Fluids before and after Fluid Loss through Exercise: A Demonstration of the Association between Perceived Pleasantness and Physiological Usefulness in Everyday Life ». *Physiology & Behavior* 83 (5): 813-19.
- Backhouse, S. H., A. Ali, S. J. H. Biddle, et C. Williams. 2007. « Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: impact on affect and perceived exertion ». *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 17 (5): 605-10.
- Backhouse, Susan H., Nicolette C. Bishop, Stuart J. H. Biddle, et Clyde Williams. 2005. « Effect of Carbohydrate and Prolonged Exercise on Affect and Perceived Exertion ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37 (10): 1768-73.
- Baker, Lindsay B., et Asker E. Jeukendrup. 2014. « Optimal Composition of Fluid-Replacement Beverages ». *Comprehensive Physiology* 4 (2): 575-620.
- Ball, David W. 2007. « The Chemical Composition of Maple Syrup ». *Journal of chemical education* 84 (10): 1647.
- Benton, David. 2002. « Carbohydrate Ingestion, Blood Glucose and Mood ». *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 26 (3): 293-308.
- Bergström, J., et E. Hultman. 1967. « A Study of the Glycogen Metabolism during Exercise in Man ». *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 19 (3): 218-28.
- Björkman, O., K. Sahlin, L. Hagenfeldt, et J. Wahren. 1984. « Influence of Glucose and Fructose Ingestion on the Capacity for Long-Term Exercise in Well-Trained Men ». *Clinical Physiology* 4 (6): 483-94.
- Boulze, D., P. Montastruc, et M. Cabanac. 1983. « Water Intake, Pleasure and Water Temperature in Humans ». *Physiology & Behavior* 30 (1): 97-102.
- Braakhuis, Andrea J., et Will G. Hopkins. 2015. « Impact of Dietary Antioxidants on Sport Performance: A Review ». *Sports Medicine* 45 (7): 939-55.
- Burdon, Catriona A., Nathan A. Johnson, Phillip G. Chapman, et Helen T. O'Connor. 2012. « Influence of Beverage Temperature on Palatability and Fluid Ingestion During Endurance Exercise: A Systematic Review ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, juin. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22710391>.
- Burelle, Yan, Marie-Catherine Lamoureux, François Péronnet, Denis Massicotte, et Carole Lavoie. 2006. « Comparison of Exogenous Glucose, Fructose and Galactose Oxidation during Exercise Using ¹³C-Labeling ». *The British Journal of Nutrition* 96 (1): 56-61.
- Cabanac, M. 1971. « Physiological Role of Pleasure ». *Science* 173 (4002): 1103-7.
- Cardinal, Sébastien, Pierre-Alexandre Paquet-Côté, Jabrane Azelmat, Corinne Bouchard, Daniel Grenier, and Normand Voyer. 2017. « Synthesis and Anti-Inflammatory Activity of Isoquebecol. » *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 25 (7): 2043-56.
- Carter, James, Asker E. Jeukendrup, et David A. Jones. 2005. « The Effect of Sweetness on the Efficacy of Carbohydrate Supplementation During Exercise in the Heat ». *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée* 30 (4): 379-91.

- Cermak, Naomi M., et Luc J. C. van Loon. 2013. « The Use of Carbohydrates during Exercise as an Ergogenic Aid ». *Sports Medicine* 43 (11): 1139-55.
- Chambers, E. S., M. W. Bridge, et D. A. Jones. 2009. « Carbohydrate Sensing in the Human Mouth: Effects on Exercise Performance and Brain Activity ». *The Journal of Physiology* 587 (Pt 8): 1779-94.
- Chambers, E., et M. B. Wolf. 1996. *Sensory testing methods: 2nd edition*. Vol. 20.
- Chevront, Samuel N., et Robert W. Kenefick. 2014. « Dehydration: Physiology, Assessment, and Performance Effects ». *Comprehensive Physiology* 4 (1): 257-85.
- Cohen, Jacob. 1977. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Elsevier.
- Coomes, J. S., et K. L. Hamilton. 2000. « The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks ». *Sports Medicine* 29 (3): 181-209.
- Correia-Oliveira, Carlos Rafaell, Romulo Bertuzzi, Maria Augusta Peduti Dal'Molin Kiss, et Adriano Eduardo Lima-Silva. 2013. « Strategies of Dietary Carbohydrate Manipulation and Their Effects on Performance in Cycling Time Trials ». *Sports Medicine* 43 (8): 707-19.
- Cox, Gregory R., Sally A. Clark, Amanda J. Cox, Shona L. Halson, Mark Hargreaves, John A. Hawley, Nikki Jeacocke, Rodney J. Snow, Wee Kian Yeo, et Louise M. Burke. 2010. « Daily Training with High Carbohydrate Availability Increases Exogenous Carbohydrate Oxidation during Endurance Cycling ». *Journal of Applied Physiology* 109 (1): 126-34.
- Coyle, E. F., A. R. Coggan, M. K. Hemmert, et J. L. Ivy. 1986. « Muscle Glycogen Utilization during Prolonged Strenuous Exercise When Fed Carbohydrate ». *Journal of Applied Physiology* 61 (1): 165-72.
- Currell, Kevin, et Asker E. Jeukendrup. 2008. « Superior Endurance Performance with Ingestion of Multiple Transportable Carbohydrates ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40 (2): 275-81.
- Desbrow, Ben, Sally Anderson, Jennifer Barrett, Elissa Rao, et Mark Hargreaves. 2004. « Carbohydrate-Electrolyte Feedings and 1 H Time Trial Cycling Performance ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 14 (5): 541-49.
- Desbrow, Ben, Clare Minahan, et Michael Leveritt. 2007. « Drink-Flavor Change's Lack of Effect on Endurance Cycling Performance in Trained Athletes ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 17 (4): 315-27.
- Erickson, M. A., R. J. Schwarzkopf, et R. D. McKenzie. 1987. « Effects of Caffeine, Fructose, and Glucose Ingestion on Muscle Glycogen Utilization during Exercise ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19 (6): 579-83.
- Fielding, R. A., D. L. Costill, W. J. Fink, D. S. King, M. Hargreaves, et J. E. Kowaleski. 1985. « Effect of Carbohydrate Feeding Frequencies and Dosage on Muscle Glycogen Use during Exercise ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17 (4): 472-76.
- Fréchette, Martin. 2009. « Utilisation des suppléments alimentaires chez les athlètes d'élite québécois ».
- Gam, Sharon, Kym J. Guelfi, and Paul A. Fournier. 2016. "New Insights into Enhancing Maximal Exercise Performance Through the Use of a Bitter Tastant." *Sports Medicine* 46 (10): 1385–90.
- Goulet, Eric D. B. 2011. « Effect of Exercise-Induced Dehydration on Time-Trial Exercise Performance: A Meta-Analysis ». *British Journal of Sports Medicine* 45 (14): 1149-56.
- Goulet, Eric D.B. 2012. « Dehydration and Endurance Performance in Competitive Athletes ». *Nutrition Reviews* 70 Suppl 2 (novembre): S132-36.

- Grégoire, Jacques. 2006. L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant: fondements et pratique du WISC-IV. Editions Mardaga.
- Guichard, Elisabeth, Christian Salles, Martine Morzel, et Anne-Marie Le Bon, éd. 2016. *Flavour*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Hargreaves, M., D. L. Costill, A. Coggan, W. J. Fink, et I. Nishibata. 1984. « Effect of Carbohydrate Feedings on Muscle Glycogen Utilization and Exercise Performance ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16 (3): 219-22.
- Horio, T., et Y. Kawamura. 1998. « Influence of Physical Exercise on Human Preferences for Various Taste Solutions ». *Chemical Senses* 23 (4): 417-21.
- Horio, Tsuyoshi. 2004. « Effect of Physical Exercise on Human Preference for Solutions of Various Sweet Substances ». *Perceptual and Motor Skills* 99 (3 Pt 1): 1061-70.
- Hulston, Carl J., Gareth A. Wallis, et Asker E. Jeukendrup. 2009. « Exogenous CHO Oxidation with Glucose plus Fructose Intake during Exercise ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (2): 357-63.
- Jarry, Lucile Claire. 2016. « Effects of physical exercise on sensory perception and hedonic response ».
- Jentjens, Roy L. P. G., Juul Achten, et Asker E. Jeukendrup. 2004. « High Oxidation Rates from Combined Carbohydrates Ingested during Exercise ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36 (9): 1551-58.
- Jentjens, Roy L. P. G., et Asker E. Jeukendrup. 2005. « High Rates of Exogenous Carbohydrate Oxidation from a Mixture of Glucose and Fructose Ingested during Prolonged Cycling Exercise ». *The British Journal of Nutrition* 93 (4): 485-92.
- Jentjens, Roy L. P. G., Christopher Shaw, Tom Birtles, Rosemary H. Waring, Leslie K. Harding, et Asker E. Jeukendrup. 2005. « Oxidation of Combined Ingestion of Glucose and Sucrose during Exercise ». *Metabolism: Clinical and Experimental* 54 (5): 610-18.
- Jentjens, Roy L. P. G., Katie Underwood, Juul Achten, Kevin Currell, Christopher H. Mann, et Asker E. Jeukendrup. 2006. « Exogenous Carbohydrate Oxidation Rates Are Elevated after Combined Ingestion of Glucose and Fructose during Exercise in the Heat ». *Journal of Applied Physiology* 100 (3): 807-16.
- Jeukendrup, A. E., et R. Jentjens. 2000. « Oxidation of Carbohydrate Feedings during Prolonged Exercise: Current Thoughts, Guidelines and Directions for Future Research ». *Sports Medicine* 29 (6): 407-24.
- Jeukendrup, Asker E. 2008. « Carbohydrate feeding during exercise ». *European journal of sport science: EJSS: official journal of the European College of Sport Science* 8 (2): 77-86.
- Jeukendrup, Asker E. 2010. « Carbohydrate and Exercise Performance: The Role of Multiple Transportable Carbohydrates ». *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 13 (4): 452-57.
- Jeukendrup, Asker E., et Edward S. Chambers. 2010. « Oral Carbohydrate Sensing and Exercise Performance ». *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 13 (4): 447-51.
- Jeukendrup, Asker E., Luke Moseley, Gareth I. Mainwaring, Spencer Samuels, Samuel Perry, et Christopher H. Mann. 2006. « Exogenous Carbohydrate Oxidation during Ultraendurance Exercise ». *Journal of Applied Physiology* 100 (4): 1134-41.
- Jones, Lyle V., David R. Peryam, et L. L. Thurstone. 1955. « Development of a scale for measuring soldiers' food preferences ». *Journal of food science* 20 (5): 512-20.

- Karelis, Antony D., Johneric W. Smith, Dennis H. Passe, et Francois Péronnet. 2010. « Carbohydrate Administration and Exercise Performance: What Are the Potential Mechanisms Involved? » *Sports Medicine* 40 (9): 747-63.
- Kenefick, Robert W. 2018. « Drinking Strategies: Planned Drinking Versus Drinking to Thirst ». *Sports Medicine* 48 (Suppl 1): 31-37.
- Krogh, A., et J. Lindhard. 1920. « The Relative Value of Fat and Carbohydrate as Sources of Muscular Energy: With Appendices on the Correlation between Standard Metabolism and the Respiratory Quotient during Rest and Work ». *Biochemical Journal* 14 (3-4): 290-363.
- Larousse, Éditions. 2018. « Définitions : sensoriel, sensorielle - Dictionnaire de français Larousse ». Consulté le 28 décembre 2018.
https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/sensoriel_sensorielle/72121.
- Lefebvre, A., et J. F. Bassereau. 2003. « L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception! : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages ».
- Maughan, Ronald J., Louise M. Burke, Jiri Dvorak, D. Enette Larson-Meyer, Peter Peeling, Stuart M. Phillips, Eric S. Rawson, et al. 2018. « IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (2): 104-25.
- Maughan, Ronald J., et Robert Murray. 2000. *Sports Drinks: Basic Science and Practical Aspects*. CRC Press.
- Mitchell, J. B., D. L. Costill, J. A. Houmard, M. G. Flynn, W. J. Fink, et J. D. Beltz. 1988. « Effects of Carbohydrate Ingestion on Gastric Emptying and Exercise Performance ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (2): 110-15.
- Murray, R., J. G. Seifert, D. E. Eddy, G. L. Paul, et G. A. Halaby. 1989. « Carbohydrate Feeding and Exercise: Effect of Beverage Carbohydrate Content ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 59 (1-2): 152-58.
- Narukawa, Masataka, Hidetoshi Ue, Kanako Morita, Sachiko Kuga, Tadao Isaka, et Yukako Hayashi. 2009. « Change in Taste Sensitivity to Sucrose Due to Physical Fatigue ». *Food science and technology research* 15 (2): 195-98.
- Narukawa, Masataka, Hidetoshi Ue, Masahide Uemura, Kanako Morita, Sachiko Kuga, Tadao Isaka, et Yukako Hayashi. 2010. « Influence of Prolonged Exercise on Sweet Taste Perception ». *Food science and technology research* 16 (5): 513-16.
- Passe, Dennis H., Mary Horn, John Stofan, et Robert Murray. 2004. « Palatability and Voluntary Intake of Sports Beverages, Diluted Orange Juice, and Water during Exercise ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 14 (3): 272-84.
- Passe, D. H., M. Horn, et R. Murray. 2000. « Impact of Beverage Acceptability on Fluid Intake during Exercise ». *Appetite* 35 (3): 219-29.
- Pitts, G. C., R. E. Johnson, et F. C. Consolazio. 1944. « Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose ». *American Journal of Physiology-Legacy Content* 142 (2): 253-59.
- Plassmann, Hilke, John O'Doherty, Baba Shiv, et Antonio Rangel. 2008. « Marketing Actions Can Modulate Neural Representations of Experienced Pleasantness ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (3): 1050-54.
- Roberts, Justin D., Michael D. Tarpey, Lindsay S. Kass, Richard J. Tarpey, et Michael G. Roberts. 2014. « Assessing a Commercially Available Sports Drink on Exogenous Carbohydrate Oxidation, Fluid Delivery and Sustained Exercise Performance ». *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 11 (1): 8.

- Rowlands, David S., et Stuart D. Houltham. 2017. « Multiple-Transportable Carbohydrate Effect on Long-Distance Triathlon Performance ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 49 (8): 1734-44.
- Rowlands, David S., Marilla Swift, Marjolein Ros, et Jackson G. Green. 2012. « Composite versus Single Transportable Carbohydrate Solution Enhances Race and Laboratory Cycling Performance ». *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme* 37 (3): 425-36.
- Rowlands, David S., Megan S. Thorburn, Rhys M. Thorp, Suzanne Broadbent, et Xiaocai Shi. 2008. « Effect of Graded Fructose Coingestion with Maltodextrin on Exogenous ¹⁴C-Fructose and ¹³C-Glucose Oxidation Efficiency and High-Intensity Cycling Performance ». *Journal of Applied Physiology* 104 (6): 1709-19.
- Sawka, Michael N., Louise M. Burke, E. Randy Eichner, Ronald J. Maughan, Scott J. Montain, et Nina S. Stachenfeld. 2007. « American College of Sports Medicine Position Stand. Exercise and Fluid Replacement ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (2): 377-90.
- Sawka, Michael N., et Timothy D. Noakes. 2007. « Does Dehydration Impair Exercise Performance? ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (8): 1209-17.
- Schiffman, S. S., et C. A. Gatlin. 1993. « Sweeteners: State of Knowledge Review ». *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 17 (3): 313-45.
- Sharp, Rick L. 2007. « Role of Whole Foods in Promoting Hydration after Exercise in Humans ». *Journal of the American College of Nutrition* 26 (5 Suppl): 592S - 596S.
- Shi, Xiaocai, et Dennis H. Passe. 2010. « Water and Solute Absorption from Carbohydrate-Electrolyte Solutions in the Human Proximal Small Intestine: A Review and Statistical Analysis ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 20 (5): 427-42.
- Smith, Johneric W., David D. Pascoe, Dennis H. Passe, Brent C. Ruby, Laura K. Stewart, Lindsay B. Baker, et Jeffrey J. Zachwieja. 2013. « Curvilinear Dose-Response Relationship of Carbohydrate (0-120 G·h(-1)) and Performance ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45 (2): 336-41.
- Smith, Johneric W., Jeffrey J. Zachwieja, François Péronnet, Dennis H. Passe, Denis Massicotte, Carole Lavoie, et David D. Pascoe. 2010. « Fuel Selection and Cycling Endurance Performance with Ingestion of [¹³C]glucose: Evidence for a Carbohydrate Dose Response ». *Journal of Applied Physiology* 108 (6): 1520-29.
- Stellingwerff, Trent, Hanneke Boon, Annemie P. Gijzen, Jos H. C. H. Stegen, Harm Kuipers, et Luc J. C. van Loon. 2007. « Carbohydrate Supplementation during Prolonged Cycling Exercise Spares Muscle Glycogen but Does Not Affect Intramyocellular Lipid Use ». *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology* 454 (4): 635-47.
- Stellingwerff, Trent, et Gregory R. Cox. 2014. « Systematic Review: Carbohydrate Supplementation on Exercise Performance or Capacity of Varying Durations ». *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme* 39 (9): 998-1011.
- Thériault, Mylène. 2004. « Étude des propriétés antioxydantes et antimutagènes de composés phénoliques issus de l'érable ». Masters, Québec: Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique.
- Thomas, D. Travis, Kelly Anne Erdman, et Louise M. Burke. 2016. « American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (3): 543-68.
- Triplett, Darren, J. Andrew Doyle, Jeffrey C. Rupp, et Dan Benardot. 2010. « An Isocaloric Glucose-Fructose Beverage's Effect on Simulated 100-Km Cycling Performance Compared with a

- Glucose-Only Beverage ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 20 (2): 122-31.
- Turner, Clare E., Winston D. Byblow, Cathy M. Stinear, et Nicholas Gant. 2014. « Carbohydrate in the Mouth Enhances Activation of Brain Circuitry Involved in Motor Performance and Sensory Perception ». *Appetite* 80 (septembre): 212-19.
- Valenzuela, Pedro L., Javier S. Morales, Pedro de la Villa, et Alejandro Lucía. 2018. « Comment on: “Drinking Strategies: Planned Drinking versus Drinking to Thirst” ». *Sports Medicine* 48 (9): 2211-13.
- Vrijens, D. M. J., et N. J. Rehrer. 1999. « Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat ». *Journal of applied physiology* 86 (6): 1847-51.
- Wall, Bradley A., Greig Watson, Jeremiah J. Peiffer, Chris R. Abbiss, Rodney Siegel, et Paul B. Laursen. 2015. « Current Hydration Guidelines Are Erroneous: Dehydration Does Not Impair Exercise Performance in the Heat ». *British Journal of Sports Medicine* 49 (16): 1077-83.
- Wilk, B., et O. Bar-Or. 1996. « Effect of Drink Flavor and NaCl on Voluntary Drinking and Hydration in Boys Exercising in the Heat ». *Journal of Applied Physiology* 80 (4): 1112-17.
- Wilmore, J. H., A. R. Morton, H. J. Gilbey, et R. J. Wood. 1998. « Role of Taste Preference on Fluid Intake during and after 90 Min of Running at 60% of VO₂max in the Heat ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (4): 587

