

Université de Montréal

Impact de l'indice glycémique sur la performance physique de cyclistes de haut niveau

par

Anne-Marie Villeneuve

Département de Nutrition
Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté de Médecine
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M.Sc.)
en nutrition

Décembre, 2013

©Anne-Marie Villeneuve, 2013

Ce mémoire intitulé :

Impact de l'indice glycémique sur la performance physique de cyclistes de haut niveau

Présenté par :

Anne-Marie Villeneuve

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Geneviève Mailhot, président-rapporteur

Marielle Ledoux, directrice de recherche

Patricia Blackburn, co-directrice de recherche

Mario Leone, membre du jury

Résumé

Plusieurs études ont démontré que la consommation d'un repas à indice glycémique bas (LGI) avant un exercice physique favorisait l'oxydation des lipides, diminuait les épisodes d'hypoglycémie et améliorait la performance. Par contre, d'autres recherches n'ont pas observé ces bénéfices. Le but de cette étude consiste à démontrer l'impact de l'ingestion de déjeuners avec différents indices glycémiques (IG) sur la performance en endurance de cyclistes de haut niveau. Dix cyclistes masculins ont complété trois protocoles attribués de façon aléatoire, séparés par un intervalle minimal de sept jours. Les trois protocoles consistaient en une épreuve contre la montre, soit trois heures après avoir consommé un déjeuner à indice glycémique bas ou élevé contenant 3 grammes de glucides par kg de poids corporel, soit à compléter l'exercice à jeun.

Les résultats obtenus pour le temps de course montrent qu'il n'y pas de différence significative entre les protocoles. Par contre, on observe que le nombre de révolutions par minute (RPM) est significativement plus élevé avec le protocole à indice glycémique élevé (HGI) ($94,3 \pm 9,9$ RPM) comparativement au protocole à jeun ($87,7 \pm 8,9$ RPM) ($p < 0,005$). Au niveau de la glycémie capillaire, on observe que durant l'exercice, au temps 30 minutes, la glycémie est significativement supérieure avec le protocole à jeun ($5,47 \pm 0,76$ mmol/L) comparé à HGI ($4,99 \pm 0,91$ mmol/L) ($p < 0,002$).

Notre étude n'a pas permis de confirmer que la consommation d'un repas LGI avant un exercice physique améliorait la performance physique de façon significative. Cependant, notre recherche a démontré que la diversité des protocoles utilisés pour évaluer l'impact de l'indice glycémique sur la performance physique pouvait occasionner des variations positives dans les temps de courses. Par conséquent, il s'avère nécessaire de faire d'autres recherches qui reproduisent les situations de compétition de l'athlète soit la course contre la montre.

Mots-clés : Indice glycémique, glucides, endurance

Abstract

Many studies have shown that the consumption of a low glycemic index (LGI) meal before exercise promotes lipid oxidation, thus lowering the amount of hypoglycemic occurrence and improving physical performance. However, other studies have not observed such benefits. The objective of this study is to demonstrate the impact of ingesting various glycemic index (GI) breakfasts on the endurance performance of high-level cyclists. Ten men completed three randomly allocated protocols, and each was separated by a time interval of a minimum of seven days. Each protocol was composed of a time trial, where a measure was taken three hours either after consuming a breakfast of low or high glycemic index containing three grams of glucose per kg of body weight, or after completing exercise while fasting.

The race time results demonstrated that there were no significant differences between the protocols. However, the number of revolutions per minutes (RPM) was significantly higher with the high glycemic index level protocol ($94,3 \pm 9,9$) in comparison to the fasting protocol ($87,7 \pm 8,9$) ($p < 0,005$). Furthermore, the capillary glycemic profile showed that, during exercise at 30 minutes, blood glucose level was significantly higher in the fasting protocol ($5,47 \pm 0,76$ mmol/L) in comparison to the high glycemic index (HGI) protocol ($4,99 \pm 0,91$ mmol/L) ($p < 0,002$).

Our study did not confirm that the consumption of a LGI meal before physical exercise significantly improves physical performance. Yet it demonstrated that the diversity of protocols used to evaluate the impact of glycemic index on physical performance could generate positive impact during the race time. Therefore, there is a need to conduct further research that can reproduce athletic competition situations, such as time trials.

Keywords : Glycemic index, carbohydrate, endurance

Table des matières

Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Liste des sigles et des abréviations.....	ix
Remerciements.....	xii
Introduction.....	1

Chapitre 1

1. Métabolisme énergétique des glucides.....	3
1.1 Rôle des glucides.....	3
1.2 Caractéristiques des glucide exogènes.....	3
1.3 Absorption des hexoses.....	4
1.4 Métabolisme des glucides au repos.....	6
1.5 Métabolisme des glucides à l'exercice.....	8
1.6 Les glucides avant l'exercice.....	11
1.7 Recommandations générales sur la consommation de glucides.....	16

Chapitre 2

2. Indice glycémique.....	22
2.1 Définition de l'indice glycémique.....	22
2.2 Facteurs qui influencent l'indice glycémique.....	24
2.3 Validité de l'indice glycémique.....	25
2.4 Effets de l'indice glycémique sur le métabolisme.....	26
2.5 Recommandations sur l'indice glycémique.....	28
2.6 Détermination de l'indice glycémique des aliments.....	28

Chapitre 3

3. Impact de l'indice glycémique sur la performance sportive.....	32
3.1 L'indice glycémique et la performance physique.....	32

3.2	Effets de l'indice glycémique sur différents paramètres métaboliques et sur la performance physique.....	39
3.2.1	Le glucose.....	39
3.2.2	L'insuline.....	41
3.2.3	Le métabolisme des lipides : les acides gras libres et le glycérol.....	42
3.2.3.1	Les acides gras libres.....	42
3.2.3.2	Le glycérol.....	43
3.2.4	Le quotient respiratoire, le taux d'oxydation des glucides et le taux d'oxydation des lipides.....	44
3.2.5	Contenu en glycogène musculaire.....	45
3.2.6	Temps de la performance selon le moment d'ingestion des aliments...	46
3.2.7	Conclusion.....	60
4	Objectifs et Hypothèses.....	61
5	Méthodologie.....	62
6	Résultats.....	78
7	Discussion.....	89
8	Conclusions.....	103
	Bibliographie.....	105
	Annexe 1 : Q-AAP.....	i
	Annexe 2 : Questionnaire médical.....	ii
	Annexe 3 : Certificat du comité de l'éthique de l'UQAC.....	iii
	Annexe 4 : Journal alimentaire et d'activité physique.....	iv
	Annexe 5 : Protocole pour le test de la bioimpédance.....	v
	Annexe 6 : Échelle de Borg.....	vi
	Annexe 7 : Journée avant le protocole d'épuisement.....	vi

Liste des tableaux

Tableau I	Résumé des recommandations sur la consommation de glucides avant l'exercice.....	20
Tableau II	Classification de l'indice glycémique.....	24
Tableau III	Résumé des principales études en lien avec l'indice glycémique et la performance en endurance.....	48
Tableau IV	Déjeuner standardisé pour le protocole VO_{2max}	65
Tableau V	Menu pour la journée précédant les protocoles d'épuisement.....	68
Tableau VI	Déjeuners à indice glycémique (IG) bas et élevé pour un participant de 70 kg.....	72
Tableau VII	Caractéristiques physiques de l'échantillon de 11 cyclistes.....	78
Tableau VIII	Apport énergétique moyen et répartition journalière moyenne des macronutriments des participants au début de l'étude.....	79
Tableau IX	Composition et temps d'ingestion des déjeuners consommés par les participants avant l'exercice.....	80
Tableau X	Suivi de l'état d'hydratation au courant des trois protocoles.....	81
Tableau XI	Performances obtenues au cours des trois protocoles.....	82
Tableau XII	Fréquence cardiaque, perception de l'effort, quotient et échange respiratoire durant les trois protocoles.....	84
Tableau XIII	Glycémies capillaires avant et durant l'exercice en fonction du protocole d'épuisement.....	87

Liste des figures

Figure 1	Étapes de la glycogénèse.....	7
Figure 2	Schéma général de la glycogénolyse.....	9
Figure 3	Calcul de l'indice glycémique.....	23
Figure 4	Mécanismes d'action de l'indice glycémique.....	27
Figure 5	Relation entre l'aire sous la courbe du glucose et la quantité de glucides consommés pour trois aliments : lentille, pain et glucose.....	30
Figure 6	Concentration du glucose (mmol/L) du temps 0 minute au temps 150 minutes de l'étude de Thomas, Brotherhood et coll. (1991).....	34
Figure 7	Concentration d'acides gras libres plasmatiques au repos et durant un exercice maximal après l'ingestion d'un repas HGI et LGI de l'étude de Febbraio et Stewart (2006).....	36
Figure 8	Phénomène de l'hypoglycémie réactionnelle.....	40
Figure 9	Protocole expérimental (calendrier des interventions).....	67
Figure 10	Taux d'oxydation des glucides durant l'exercice.....	86
Figure 11	Taux d'oxydation des lipides durant l'exercice.....	86

Liste des sigles et des abréviations

ACSM	American College of Sports Medicine
AGL	Acide gras libre
ADA	American Dietetic Association
AUIC	Aire sous la courbe du glucose postprandial
ATP	Adénosine triphosphate
Batt/min	Battements par minute
CIO	Comité international olympique
CO₂	Dioxyde de carbone
CON	Groupe témoin
DC	Les Diététistes du Canada
FAO	Food and agriculture organization
HC	Repas à teneur élevé en glucides
HDL	Lipoprotéine de haute densité
HGI	Indice glycémique élevé
IG	Indice glycémique
IGR	Indice glycémique du repas
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
ISSN	International Society of Sports Nutrition
Kcal	Kilocalorie
LC	Repas à teneur basse en glucides
LGI	Indice glycémique bas
MC	Marque commerciale
M.G.	Matière grasse
MGI	Indice glycémique moyen
O₂	Oxygène
OMS	Organisation mondiale de la santé

ONU	Organisation des nations unies
Pa	Proportion des glucides dans l'aliment a
Pi	Phosphate inorganique
PSI	Livre par pouce carré
Q-AAP	Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique
QR	Quotient respiratoire
RPM	Révolutions par minute
VO₂	Consommation d'oxygène
VO_{2max}	Consommation maximale d'oxygène
VCO₂	Consommation de dioxyde de carbone
UDP	Uridine diphosphate
UQAC	Université du Québec à Chicoutimi
°C	Degré Celsius

*À mes parents qui ont toujours cru en moi et qui
ont été un moteur d'inspiration dans ce projet*

Remerciements

Ma mère et mon père

Pour votre soutien moral tout au long de ce parcours laborieux et de m'avoir encouragé dans ce nouveau défi.

Dre Marielle Ledoux

Mille mercis pour votre grande générosité et pour votre aide tout au long de la réalisation de ce mémoire. Grâce à votre expertise et à vos connaissances, nous avons pu concrétiser ce merveilleux projet. Encore un gros merci.

Dre Patricia Blackburn

Je ne pourrai jamais assez te remercier pour tout le temps consacré à ce projet et à mon apprentissage au cours des dernières années. J'ai beaucoup appris à tes côtés et j'en suis vraiment honorée. Merci de m'avoir fait découvrir le monde de la recherche et d'avoir permis que ce projet voit le jour.

Patrick Desjardins

Pour ton expertise, ta grande générosité et ton précieux temps. Je ne pourrai jamais assez te remercier d'être venu nous aider tôt les fins de semaine pour faire les tests avec moi et être le réparateur officiel de ce fameux k4-b^{2MC}.

Élisabeth Jacob

Pour ton amitié et ton expertise dans la rédaction de ce mémoire. Ton écoute et tes conseils m'ont vraiment aidée à passer à travers des épisodes creux. Maintenant, il nous reste à célébrer cette fin de mémoire!

Mon équipe de travail (Kate, Mélanie, Catherine)

Pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de ce périple. Vos conseils m'ont été d'une grande aide.

À tous les participants du projet de recherche

Un énorme merci à vous tous de m'avoir transmis la passion de votre sport et d'avoir dû vous lever aux aurores les fins de semaine afin de faire avancer la science. Vous avez été des participants extraordinaires. Encore merci!

Et à tous mes amis, après des années de travail, nous allons maintenant pouvoir célébrer cet accomplissement! Merci d'être dans ma vie.

Je vous laisse sur une citation de Clément Marot qui résume bien ma philosophie au cours des dernières années : « Tout vient à point à qui sait attendre ».

Introduction

L'impact de l'indice glycémique sur le métabolisme humain intéresse les scientifiques depuis plusieurs années. En effet, dès le début des années 2000, des études ont démontré que les diètes à indice glycémique bas entraînaient une amélioration de la sensibilité à l'insuline, du profil lipidique et pouvaient même aider au contrôle de la masse corporelle (Jenkins et coll., 2002; Ludwig et Eckel, 2002; Pi-Sunyer, 2002). Par ailleurs, il a été démontré qu'une diète à indice glycémique élevé provoquait une augmentation de l'insuline et du glucose plasmatique qui était suivie d'une chute rapide du glucose sanguin et d'une diminution des concentrations d'acides gras libres (AGL) en période postprandiale. Suite à ces résultats, les spécialistes de la nutrition sportive ont voulu évaluer l'impact de la consommation d'aliments à indices glycémiques variables sur la performance sportive. En effet, il est reconnu que les niveaux de glucose plasmatique et musculaire pré compétition influencent la performance en endurance. Une des premières études à s'être intéressée à l'impact de l'indice glycémique sur la performance en endurance fut celle de Thomas, Brotherhood et Brand (1991). Cette étude a comparé l'effet de la consommation d'une diète à indice glycémique bas (lentille) à celui d'une diète à indice glycémique élevé (pomme de terre) une heure précédant un exercice en endurance chez huit cyclistes. Les résultats de cette étude ont démontré que la consommation d'une diète à indice glycémique bas avant l'effort prolongeait la durée de l'exercice en endurance, réduisait la durée des hyperglycémies et hyperinsulinémies postprandiales, diminuait le taux de lactate avant et après l'exercice et enfin, maintenait le taux de glucose et d'acides gras libres stables durant les périodes critiques de l'exercice (Thomas, Brotherhood et Brand, 1991).

Depuis, d'autres études se sont intéressées à cette notion. À cet effet, l'étude de De Marco, Susher, Cisar et Butterfield (1999) a comparé la réponse postprandiale en glucose et en insuline suite à l'ingestion d'un repas à indice glycémique bas et élevé 30 minutes avant un exercice d'endurance. Les résultats démontrent qu'une diète à indice glycémique bas peut affecter positivement la performance sportive en maintenant les taux de glucose plasmatique

plus élevés à la fin de l'exercice et en favorisant une concentration d'insuline plus basse 20 minutes après l'effort. Toutefois, d'autres études ont démontré qu'il n'y avait pas de différence entre une diète à indice glycémique bas par rapport à une diète à indice glycémique élevé sur la performance en endurance (Febbraio et Stewart, 1996; Stannard, Thompson, et Brand Miller, 2000; Wee, Williams, Gray, et Horabin, 1999). Jusqu'à maintenant, les résultats semblent contradictoires. En effet, en 1998, un article paru dans l'International Journal of Sport Nutrition et traitant de la pertinence de l'indice glycémique en nutrition sportive a reconnu que la consommation d'aliments à indice glycémique bas atténuait l'hyperinsulinémie postprandiale et que les diètes à indice glycémique modéré à élevé amélioraient les réserves de glycogène après l'exercice (Burke, Collier, et Hargreaves, 1998). Cependant, à ce jour, les évidences scientifiques sont insuffisantes afin d'établir un lien entre l'indice glycémique et la performance physique. Dans le cadre de cette étude, nous voulons démontrer l'impact d'un déjeuner à indice glycémique variable sur la performance en endurance de cyclistes de haut niveau.

Chapitre 1- Métabolisme énergétique des glucides

1.1 Rôle des glucides

Les glucides sont les principaux substrats énergétiques du cerveau, de la rétine et des globules rouges. En effet, ces organes sont complètement dépendants du glucose sanguin (Wolinsky et Driskell, 2008). Il en est de même durant un exercice à intensité maximale et supra maximale où les glucides sont les principaux substrats utilisés. Leur disponibilité est cruciale lors de la réalisation d'un exercice prolongé (> 90 minutes) sous-maximal ou lors d'un exercice intermittent à haute intensité, car ils ont un rôle prédominant en ce qui a trait au système nerveux central et à la contraction musculaire (Burke et Hawley, 1999).

1.2 Caractéristiques des glucides exogènes

Traditionnellement, les aliments qui contenaient des glucides étaient classifiés selon leur structure et le nombre de molécules de monosaccharides contenus dans ceux-ci. Pour faire suite à cette nomenclature, les chercheurs ont divisé les glucides en deux groupes : les glucides simples (sucres rapides) et les glucides complexes (sucres lents). La caractéristique principale des glucides simples est de causer des changements importants et rapides dans les niveaux du glucose sanguin. En effet, après leur consommation, il y a une réponse glycémique élevée et rapide, souvent suivie d'une baisse importante de la glycémie. En contrepartie, les glucides complexes sont absorbés plus lentement par l'organisme, ce qui produit une réponse glycémique et insulinique moins grande après leur ingestion. Par conséquent, ils permettent de soutenir plus longtemps le niveau de glucose sanguin que les glucides simples (Burke et coll., 1998; Siu et Wong, 2004).

On classe également les glucides selon le nombre de monosaccharides qu'ils renferment. Les monosaccharides, tels que le glucose, le fructose et le galactose, sont la forme la plus simple des glucides, car ils contiennent un seul monosaccharide, à l'état libre. Les disaccharides, tels que le sucrose, le lactose et le maltose, sont aussi des sucres simples puisqu'ils sont composés de deux monosaccharides liés l'un à l'autre. Tous les disaccharides contiennent au moins une molécule de glucose (Wolinsky et Driskell, 2008). Pour leur part, les polysaccharides sont considérés comme des glucides complexes, car ils contiennent des monosaccharides et des disaccharides. Ces polymères peuvent se lier les uns aux autres par deux types de liaisons : soit sous la forme d'une chaîne linéaire de molécules de glucose que l'on nomme amylose, soit sous la forme d'une chaîne ramifiée de molécules de glucose que l'on nomme amylopectine (MacLaren, 2007). La maltodextrine est le seul polysaccharide qui peut être métabolisé comme un glucide simple, car elle est exempte d'amidon et de fibres, et ne contient que des polymères de glucose. En raison de ces caractéristiques, ce composé est souvent utilisé dans la fabrication de boissons pour sportifs. En effet, il permet au glucose exogène d'être absorbé plus lentement que les glucides simples au cours de la réalisation d'un exercice physique ce qui prolonge l'effet sur la glycémie (Anastasiou et coll., 2004).

Cette nomenclature a été souvent critiquée pour son inexactitude par rapport à la réponse glycémique et insulinémique des aliments riches en glucides (Burke et coll., 1998; Siu et Wong, 2004). Depuis les années 1970, il était reconnu que les aliments riches en glucides produisaient des réponses glycémiques variables et qu'il était impossible de prédire ces réponses seulement par la composition structurelle de l'aliment. Il a donc fallu créer un autre système pour décrire la réponse glycémique des aliments riches en glucides. Ce nouveau système, l'indice glycémique, sera présenté au chapitre 3.

1.3 Absorption des hexoses

La composition des glucides par ses différents monosaccharides aura une influence sur la façon par laquelle ils traverseront les microvillosités intestinales pour ainsi être absorbés dans la circulation sanguine. Le glucose, le fructose et le galactose traversent la bordure en brosse

formée par les entérocytes par l'intermédiaire d'un mécanisme de transport actif (le co-transporteur SGLT 1), ou par une diffusion facilitée par les transporteurs du GLUT 2. Le transporteur SGLT 1 a une affinité similaire pour le glucose et le galactose, mais il n'a pas d'affinité pour le fructose, qui sera pris en charge par le GLUT 5 qui est hautement spécifique au fructose. Le transporteur GLUT 2 a pour sa part une plus grande affinité pour le glucose. Par contre, l'absorption à travers la membrane basolatérale des entérocytes se fera par un mode de diffusion facilitée par le transporteur GLUT 2. Le fructose, le galactose et le glucose auraient le même mode de diffusion à travers cette membrane. Selon certains auteurs, le glucose pourrait aussi être absorbé suivant la formation de glucose-6-phosphate, et cette absorption serait davantage efficace comparativement au fructose (Santer, Hillebrand, Steinmann, et Schaub, 2003; Stumpel, Burcelin, Jungermann, et Thorens, 2001).

Cette différence au niveau de l'absorption des hexoses contribuerait aux écarts notés dans le taux d'oxydation du fructose qui serait légèrement plus bas comparativement au glucose. Burelle et ses collaborateurs (2006) ont étudié cet aspect en comparant le taux d'oxydation de différents monosaccharides (glucose, fructose et galactose) et les changements associés à l'oxydation des substrats endogènes lors d'un exercice réalisé sur ergocycle à 65 % de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}). Six hommes actifs ont participé au projet. Les auteurs ont observé que l'oxydation du galactose était significativement plus basse lorsqu'il était comparé au glucose (41 %) et au fructose (39 %), et ce, même si la quantité de glucides ingérés durant l'exercice était similaire. Ces résultats pourraient s'expliquer par une perte de galactose par l'urine. De plus, les chercheurs mentionnent que les taux d'oxydation plus bas du galactose comparativement au glucose durant un exercice prolongé pourraient être causés par les différentes voies métaboliques qu'emprunte le galactose dans le foie et les tissus périphériques. Par contre, ils mentionnent qu'il n'y a pas de données actuellement disponibles qui comparent directement l'absorption du glucose, du galactose et du fructose au repos ou à l'exercice chez l'homme et que le mécanisme par lequel chacun de ces hexoses est absorbé n'est pas vraiment compris. Finalement, ces auteurs ont observé que l'ingestion de ces hexoses n'avait pas modifié de façon significative la quantité totale de glucides et de lipides oxydés, mais qu'ils ont réduit de façon significative l'oxydation des glucides exogènes (9-13 %) tout

au long de l'exercice (période de 120 minutes). La diminution de l'oxydation des glucides endogènes était similaire avec les trois hexoses.

D'autres chercheurs ont aussi trouvé des résultats similaires. En 1995, une étude (Leijssen, Saris, Jeukendrup, et Wagenmakers, 1995) a démontré que durant l'exercice le taux d'oxydation du galactose était d'environ 50 % inférieur à celui du glucose exogène. Par contre, en ce qui concerne la comparaison du taux d'oxydation du glucose à celui du fructose, les résultats sont contradictoires. En effet, Décombaz et ses collaborateurs (1985) ont remarqué que l'oxydation du fructose était 15 % supérieure au glucose alors que Slama et ses collaborateurs (1989) ont rapporté que le taux d'oxydation était similaire. Finalement, Massicotte et ses collaborateurs (1994) ont démontré que le taux d'oxydation du fructose était inférieur de 20 à 25 % à celui des autres glucides.

Les auteurs sont d'accord pour dire que lorsque les glucides sont ingérés en grande quantité (1,8-2,4 g/min) durant un exercice prolongé d'intensité modérée, le taux d'oxydation des glucides exogènes ou des polymères de glucose pourrait dépasser 1 g par minute. Ceci pourrait contribuer à fournir de 30 à 40 % de la production énergétique durant l'exercice (Couture, Massicotte, Lavoie, Hillaire-Marcel, et Peronnet, 2002; Jentjens, Venables, et Jeukendrup, 2004; Wallis, Dawson, Achten, Webber, et Jeukendrup, 2006).

1.4 Métabolisme des glucides au repos

Le glycogène est la forme d'emmagasiner musculaire et hépatique du glucose chez les mammifères. Sa synthèse se déroule dans le foie et les muscles squelettiques inactifs. La glycogénèse est la voie métabolique où le glycogène est synthétisé en quatre étapes. Les étapes de la glycogénèse sont présentées à la figure 1.

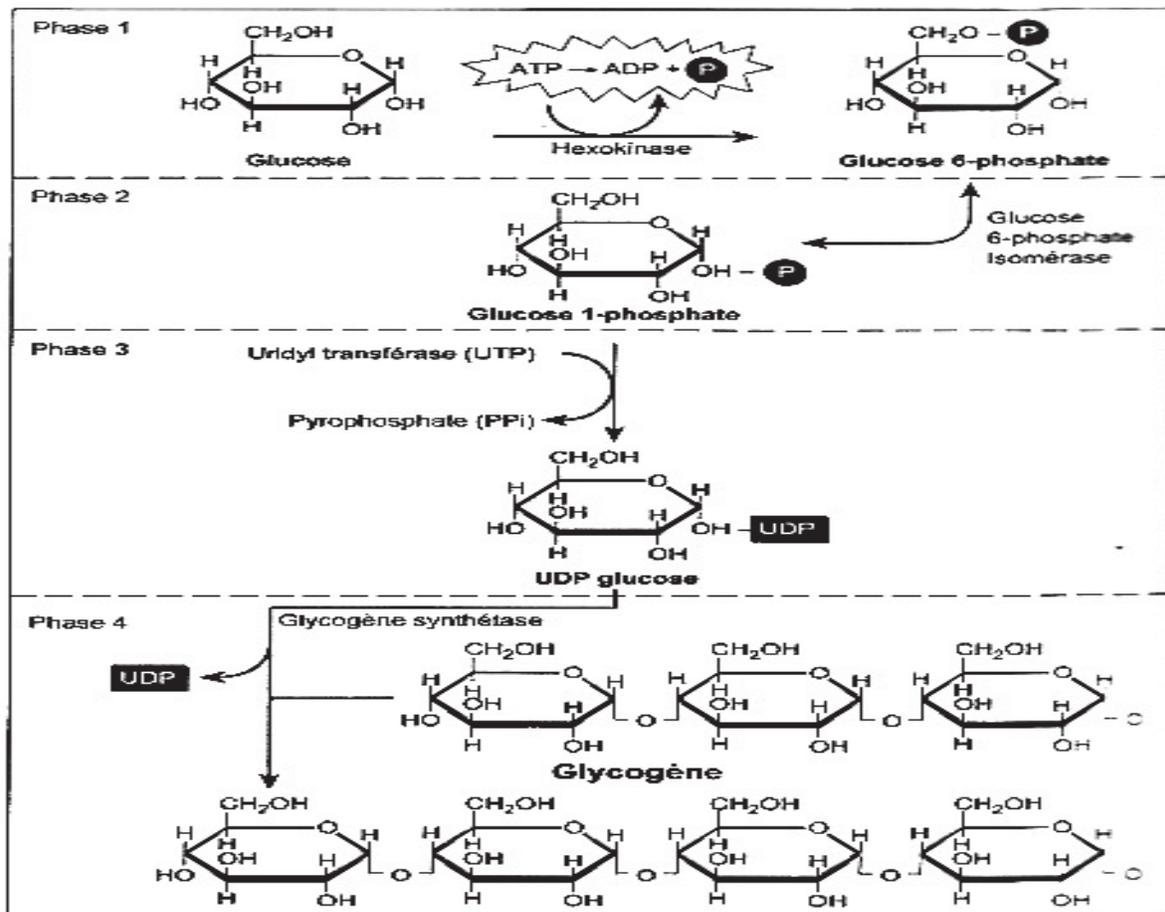


Figure 1 – Étapes de la glycogénèse. Tirée du livre McArdle, Katch & Katch, 2001.

Lors de la première étape, l'adénosine triphosphate (ATP) donne une molécule de phosphate au glucose qui devient le glucose-6-phosphate. Cette réaction est catalysée par l'enzyme hexokinase. La deuxième étape consiste en la création du glucose-1-phosphate qui est formé par l'action de la glucose-6-phosphate isomérase. Lors de la troisième étape, l'uridyl transférase agira avec le glucose-1-phosphate pour former l'UDP-glucose, ce qui permettra la libération d'une molécule de phosphate. Finalement, l'UDP-glucose s'associe à une extrémité de la chaîne de polymère de glycogène en place. Une nouvelle chaîne linéaire est ainsi créée à l'extrémité de laquelle d'autres groupes glycosylés peuvent être fixés par des liaisons α -1,4 grâce à l'action du glycogène synthase, au moment même où de l'UDP sera libéré. À la fin du processus, il y aura la création d'une molécule de glycogène constituée de plusieurs molécules de glucose (groupes glycosylés) ramifiées ensemble (McArdle, Katch, et Katch, 2001).

L'organisme a une limite physiologique à emmagasiner les glucides. En effet, les muscles squelettiques peuvent emmagasiner entre 300 et 500 g de glycogène alors que le foie peut en emmagasiner entre 60 et 100 g. Dans le sang et dans les espaces extracellulaires, il y a entre 15 et 20 g de glucose mis en réserve (Ivy, 1999). En l'absence de dommages musculaires, l'entreposage du glycogène musculaire peut être normalisé après 24 heures de repos et après une consommation adéquate de glucides (de 7 à 10 grammes par kg de poids corporel) (Burke, 1995; Costill et coll., 1981). Cette réserve de glycogène semble adéquate pour les besoins énergétiques du muscle lors d'événements de 60 minutes et moins (Burke et Hawley, 1999).

Au repos, l'utilisation du glycogène musculaire net est négligeable, car ce glycogène sera utilisé seulement pour fournir du glucose aux muscles squelettiques pendant l'activité physique. Pour sa part, la réserve de glycogène hépatique sera utilisée entre les repas et au courant de l'activité pour maintenir les niveaux de glucose sanguin et fournir adéquatement les substrats énergétiques nécessaires aux organes dépendants du glucose (la rétine, les globules rouges et le cerveau). Ceux-ci utilisent environ 75 % du glucose disponible dans le corps tandis que les muscles squelettiques en utilisent de 15 % à 20 % (Hargreaves et Spriet, 2006).

1.5 Métabolisme des glucides à l'exercice

Entre les repas et au cours de l'activité physique, les principales sources de glucose proviennent de la glycogénolyse et de la néoglucogenèse hépatique. Pendant l'exercice physique, l'énergie produite par les glucides est fournie surtout par le glycogène musculaire qui a été mis en réserve dans les muscles actifs. Dans le foie, le glycogène est reconverti en glucose grâce à la phosphatase, puis transporté dans le sang jusqu'aux muscles sollicités (McArdle et coll., 2001). La glycogénolyse se réfère au processus de reconversion du glycogène en glucose (Figure 2).

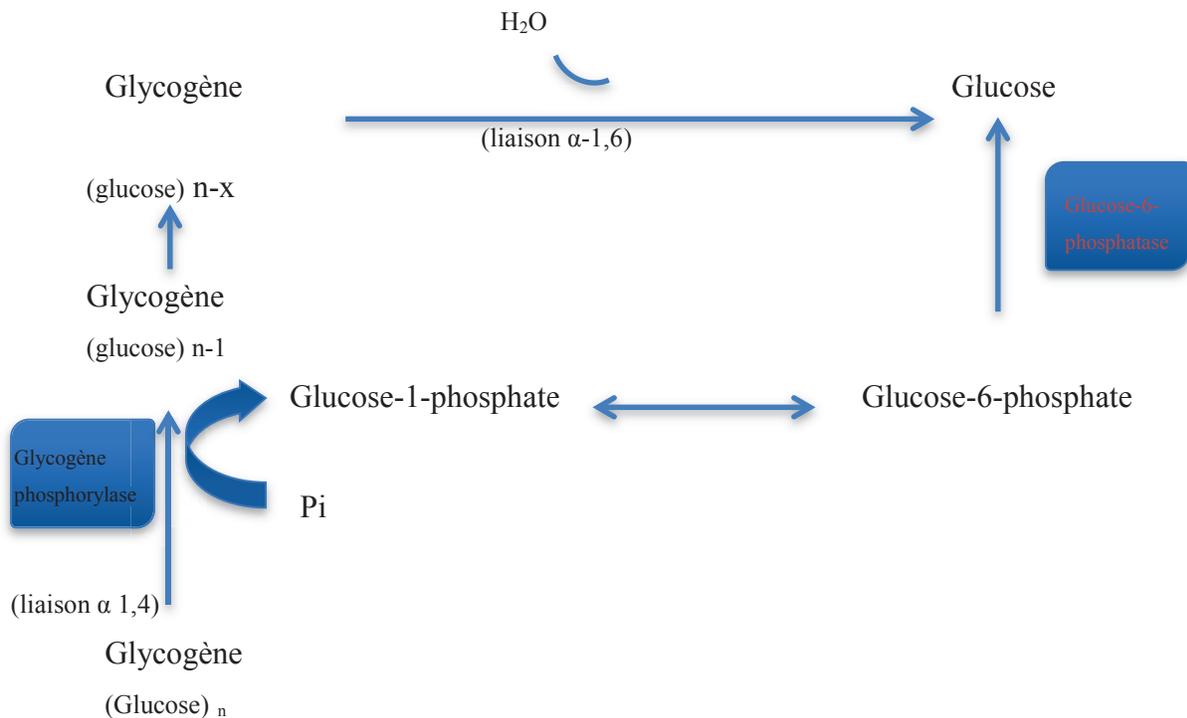


Figure 2- Schéma général de la glycogénolyse

Il est important de mentionner, que dans le foie, l'enzyme glucose-6-phosphatase (localisé dans le réticulum endoplasmique) hydrolyse le groupe de phosphate du glucose-6-phosphate et libère ainsi du glucose. Par contre, dans le muscle, l'enzyme glucose-6-phosphatase étant absente des fibres musculaires, le glucose-6-phosphate s'oxyde immédiatement via la glycolyse aérobie dans les muscles actifs. Par contre, lorsque l'apport en oxygène est insuffisant, le glucose-6-phosphate se transforme en lactate dans la voie de la glycolyse anaérobie lors d'exercices de courte durée réalisés à une intensité élevée (Spriet, Lindinger, McKelvie, Heigenhauser, et Jones, 1989). Ce sera donc le rôle de l'enzyme débranchante de libérer le glucose. Par la suite, ce glucose sera phosphorylé en glucose-6-phosphate par l'hexokinase musculaire, puis oxydé dans la voie de la glycolyse. Pour sa part, la néoglucogenèse permet de synthétiser du glucose à partir de précurseurs non glucidiques et se

produit dans le foie et le cortex rénal. Elle sert à maintenir les glycémies dans les valeurs normales en période de jeûne.

Lorsqu'un exercice est réalisé à une intensité moindre que 40 % de la VO_{2max} , les AGL sont le principal carburant pour la contraction musculaire. À ce stade, l'oxydation des glucides est faible et résulte principalement de l'oxydation du glucose sanguin, car la glycogénolyse se produit peu (Romijn et coll., 1993). Il est à noter que l'exercice pourra être réalisé pendant plusieurs heures à une intensité moindre que 40 % car le foie augmentera la gluconéogenèse pour contrer la diminution de l'oxydation du glucose et l'épuisement des réserves de glycogène hépatique (Ivy, 1999).

La disponibilité des glucides peut devenir limitée si les concentrations du glycogène musculaire, hépatique et du glucose sanguin sont basses, ce qui entraîne une diminution de l'oxydation des glucides (Coyle, Coggan, Hemmert, et Ivy, 1986). Cette situation sera compensée par l'augmentation de l'absorption du glucose par les tissus musculaires actifs. Lorsque l'intensité de l'exercice est augmentée pour atteindre de 60 à 75 % de la VO_{2max} , il y a une élévation de l'utilisation du glucose par le muscle, car le glycogène musculaire est abaissé, ce qui permet de supporter les besoins en glucides. Cette situation se poursuivra aussi longtemps que la concentration du glucose sanguin sera maintenue à plus de 2,5 à 3,5 mmol/L (Ivy, 1999). Par contre, si le glucose sanguin diminue sous ce niveau critique, la fatigue apparaîtra. Elle se manifestera lorsque les glucides contribueront à moins de 40 % des besoins énergétiques de l'organisme actif. À un niveau d'intensité de 60 à 75 % de la VO_{2max} , la fatigue sera associée à la diminution du glycogène hépatique et musculaire, et à l'hypoglycémie (Coyle et coll., 1986). En effet, le taux de glucose sanguin commencera habituellement à diminuer rapidement lorsque les réserves de glycogène musculaire et hépatique sont presque épuisées, soit entre 90 et 120 minutes après le début de l'exercice (Gilbert, 2009). Il a été observé que le glucose sanguin atteint des valeurs de 3,0 mmol/L après 30 à 45 minutes d'exercice réalisé à cette intensité, ce qui pourrait induire l'apparition de la fatigue (Ivy, 1999). Lorsque l'exercice est fait à une intensité entre 75 et 85 % de la VO_{2max} , la contribution des glucides à la dépense énergétique totale sera supérieure à 70 %, avec le

glycogène musculaire contribuant à environ 85 % des besoins en glucides (Romijn et coll., 1993). À ce niveau d'intensité, la fatigue est directement reliée à la diminution du glycogène musculaire, car l'absorption du glucose sanguin par le muscle est trop lente pour supporter les besoins en glucides du muscle, même sous des conditions glycémiques normales. Par conséquent, les glucides doivent être suffisamment disponibles pour maintenir la performance. Lorsqu'une activité est réalisée à une intensité plus grande que 85 % de la VO_{2max} , la fatigue est en partie associée à l'accumulation d'acide lactique causée par une hydrolyse rapide du glycogène musculaire (Ivy, 1999).

Les chercheurs ont observé que l'absorption du glucose par le muscle augmente avec l'intensité et la durée de l'exercice. En effet, ils ont noté une augmentation du transporteur de glucose du sarcolemme, grâce à la translocation du transporteur propre au glucose (Glut-4), à la membrane plasmique et à l'activation des voies métaboliques responsables du métabolisme du glucose. Par conséquent, cette situation renforce la sortie du glucose à cause de l'augmentation du flot sanguin dans le muscle squelettique (Hargreaves et Spriet, 2006).

1.6 Les glucides avant l'exercice

Depuis maintenant plus de 100 ans, les chercheurs ont démontré l'importante contribution des glucides lors de la contraction musculaire. La première étude répertoriée sur ce sujet, comme cité dans l'étude de Ivy, a été faite en 1887 par l'équipe de Chauveau et Kaufmann (Ivy, 1999). Ils ont observé que l'utilisation du glucose augmentait dans le muscle masséter du cheval lorsqu'il commençait à mastiquer sa nourriture. Ce n'est qu'au début du vingtième siècle que les chercheurs ont commencé à observer l'effet des glucides sur l'activité physique. Krogh et Lindhard (1920) ont probablement été les premiers à reconnaître le rôle majeur des glucides comme substrat énergétique lors de l'exercice. En effet, ils ont noté de façon qualitative que les participants exprimaient avoir une plus grande facilité à pratiquer un effort physique après avoir consommé une diète élevée en glucides, comparativement à une diète élevée en lipides. Cette constatation était accompagnée d'un taux d'échange des gaz respiratoires plus élevé, avec le régime riche en glucides.

En 1924, l'équipe de Levine, Gordon et Derrick ont observé que les taux de glucose sanguin diminuaient jusqu'à des niveaux hypoglycémiques ($< 3,5$ mmol/L) chez des coureurs participant au marathon de Boston. Les chercheurs ont aussi signalé qu'en association avec leur hypoglycémie, les participants étaient physiquement fatigués et démontraient des symptômes neuroglycopéniques, tels que des spasmes musculaires et de la désorientation. Un an plus tard, à ce même marathon, ces chercheurs ont demandé à quelques coureurs de consommer une diète riche en glucides une journée avant l'événement et de consommer des glucides durant celui-ci. Ils ont noté une amélioration de la performance et ils ont conclu que la consommation de glucides avant et pendant l'événement permettait de prévenir les hypoglycémies (Ivy, 1999; Jeukendrup, 2004).

En 1932, l'étude de Christensen, tel que cité dans Ivy, a permis d'observer une corrélation entre l'augmentation de l'intensité de l'exercice et l'augmentation de l'utilisation des glucides par l'organisme (Ivy, 1999). Les chercheurs ont aussi noté que, lorsque les participants consommaient une diète riche en glucides plusieurs jours avant l'exercice, le quotient respiratoire était plus élevé. Par conséquent, les participants ressentaient la fatigue moins rapidement. Par contre, lorsqu'ils consommaient une diète faible en glucides, le quotient respiratoire était plus bas et les participants ressentaient la fatigue plus rapidement (Jeukendrup, 2004).

À la fin des années soixante, des chercheurs scandinaves ont poursuivi les recherches débutées par Christensen et Hansen (Ahlborg, Bergstrom, et IG, 1967; Bergstrom, Hermansen, Hultman, et Saltin, 1967; Hermansen, Hultman, et Saltin, 1967; Hultman, 1967). Ils ont démontré, à l'aide d'une biopsie musculaire, que l'augmentation de l'intensité de l'exercice fait également augmenter la dépendance au glycogène musculaire. Par conséquent, la diminution de la concentration du glycogène musculaire lors d'un exercice vigoureux et prolongé entraînait une augmentation de la perception de la fatigue chez les participants. Ils ont aussi démontré que la capacité à réaliser un exercice physique vigoureux et prolongé était directement liée à la concentration initiale du glycogène musculaire. De plus, ils ont indiqué

que l'amélioration des capacités à faire un exercice aérobique en endurance était partiellement reliée à l'augmentation de l'organisme à faire des réserves de glycogène musculaire.

En 1979, l'équipe de Foster a été la première à étudier l'effet de la consommation de glucides avant une performance physique en vélo. Ils ont demandé à huit hommes et femmes de consommer 75 grammes de glucose de 30 à 45 minutes avant un exercice en endurance. Cet exercice était réalisé à 80 % de la VO_{2max} , et ce jusqu'à l'épuisement (Foster, Costill, et Fink, 1979). Ils ont observé que la durée de l'effort était significativement plus basse lorsque les participants consommaient de l'eau comparativement à ceux qui avaient consommé 75 g de glucose. Ils ont remarqué que la consommation de glucides avant un exercice d'endurance augmentait le taux d'oxydation des glucides et ceci faisait ainsi obstacle à la mobilisation des AGL. Selon ces auteurs, la diminution de la mobilisation des AGL pourrait réduire la durée de l'effort.

En 1985, l'équipe de Coyle a suivi les traces de leurs prédécesseurs et ont évalué les effets sur le métabolisme de la consommation d'un repas riche en glucides avant un exercice physique (Coyle, Coggan, Hemmert, Lowe, et Walters, 1985). Sept cyclistes ont ingéré un déjeuner à teneur élevée en glucides (85 % de glucides) quatre heures avant la réalisation d'un exercice physique sur vélo à une intensité élevée (70 % de la VO_{2max}) pendant 105 minutes. Les résultats obtenus ont permis de démontrer que la consommation d'un repas riche en glucides avant l'exercice limitait l'oxydation des lipides et augmentait l'oxydation du glycogène musculaire. Ils ont aussi noté une augmentation initiale de la concentration de glycogène, une augmentation de la dépendance aux glucides et une diminution de la néoglucogenèse. Cette étude a confirmé que le glycogène musculaire était la principale source de glucides lors d'exercices à intensité élevée (70 % de la VO_{2max}) (Coyle et coll., 1985).

En 1986, ce même groupe de chercheurs a publié une étude qui comportait le même protocole que mentionné précédemment, mais en ajoutant l'administration de glucides pendant l'exercice fait jusqu'à épuisement (Coyle, Coggan, Hemmert et Ivy, 1986). Ils ont voulu mesurer directement l'utilisation du glycogène musculaire durant les exercices vigoureux avec et sans la consommation de glucides pour déterminer si les réserves de glycogène musculaire

pouvaient expliquer le délai d'apparition de la fatigue. Ils ont observé que la consommation de glucides avant l'exercice ne permettait pas de ralentir l'utilisation du glycogène dans le muscle vaste latéral. Cependant, cette diète permettait de maintenir un taux d'oxydation de glucides élevé et retardait l'apparition de la fatigue. Ils ont remarqué que le délai avant l'apparition de la fatigue était 33 % plus long chez les participants qui avaient consommé un déjeuner qui contenait 2 grammes de glucides par kg de poids, comparativement à ceux qui avaient réalisé l'exercice à jeun. À la suite de ces résultats, les chercheurs ont suggéré que la fatigue musculaire était occasionnée par l'hypoglycémie lorsque le niveau de glycogène était bas. Il est important de mentionner que, lorsque la concentration du glucose sanguin était maintenue, les participants (athlètes d'endurance hautement entraînés) étaient capables d'oxyder les glucides à un taux relativement élevé à partir de sources autres que le glycogène musculaire pendant le dernier stade d'un exercice vigoureux et prolongé (Coyle et coll., 1986).

Certaines études ont permis d'observer des niveaux de glycogène musculaire plus élevés et une amélioration dans le maintien de la glycémie après l'ingestion d'un repas riche en glucides (Coyle et coll., 1986; Coyle et coll., 1985; Widrick et coll., 1993). Par contre, d'autres études ont généré des résultats ambigus en ce qui a trait à la performance physique et la consommation d'un repas riche en glucides (Chryssanthopoulos, Hennessy, et Williams, 1994; Devlin, Calles-Escandon, et Horton, 1986; Hargreaves, Costill, Fink, King, et Fielding, 1987; Jeukendrup et Killer, 2010). Un groupe de chercheurs a comparé l'effet de la consommation de miel (indice glycémique bas), de dextrose (indice glycémique élevé) et d'un placebo avant 64 km de vélo (Earnest et coll., 2004). Ceux-ci ont signalé que l'ingestion des glucides était responsable de l'augmentation de la puissance obtenue lors des derniers 16 % de la course, mais aucune différence n'a été notée entre les trois groupes en ce qui a trait à la performance. En général, les recherches impliquant l'ingestion des glucides une heure avant l'exercice démontrent des résultats contradictoires au plan de la performance physique, mais elles ont régulièrement montré que l'ingestion des glucides maximise l'utilisation du glycogène et favorise l'oxydation des glucides (Donaldson, Perry et Rose, 2010). Ces observations ont permis la création du concept de la surcharge en glycogène. Traditionnellement, cette pratique comportait une phase permettant de diminuer le niveau du glycogène qui durait entre un et trois jours, et qui était associée à une pratique d'activité physique d'intensité modérée à élevée

(Bergstrom, Hermansen, Hultman et Saltin, 1967; Burke et Read, 1987; Hawley et Burke, 1997; Sherman, Costill, Fink, et Miller, 1981). Suivait la consommation d'une diète élevée en glucides durant un à trois jours, combinée à un effort physique minimum. Le but de cette méthode était de maximiser les réserves de glycogène musculaire avant l'exercice (Kerksick et coll., 2008). Jenkendrup (2011) indiquait que la surcompensation en glycogène était une méthode efficace pour améliorer la performance de 2 à 3 % lors d'une activité physique de plus de 90 minutes si on la compare avec une diète normale (Jeukendrup, 2011). Par contre, si l'activité physique durait moins de 90 minutes, la surcompensation en glycogène n'avait pas d'effet significatif sur la performance. Une étude a démontré que l'augmentation de la consommation de glucides de 10 à 13 grammes par kg de poids par jour augmentait les réserves de glycogène musculaire mais que cela n'avait pas d'impact significatif sur la performance en endurance (Coyle, Jeukendrup, Oseto, Hodgkinson, et Zderic, 2001). En 2011, l'équipe de Burke a mentionné que les athlètes bien entraînés pouvaient augmenter leur niveau de glycogène avec une méthode de surcompensation de glycogène qui exclut la phase initiale d'épuisement des réserves de glycogène (Burke, Hawley, Wong, et Jeukendrup, 2011). La répartition en macronutriments de cette phase initiale ressemblait à ceci : environ 10% de l'apport calorique total était sous forme de glucides et environ 90% de l'apport calorique total était sous forme de lipides et de protéines. Cette phase avait une durée de 3 jours et durant celle-ci, l'alimentation devait être combinée à un entraînement à intensité élevée (Sedlock, 2008). Pour sa part, l'International Society of Sports Nutrition (2008), mentionnait que la meilleure façon de promouvoir les réserves de glycogène musculaire et hépatique était de suivre une diète riche en glucides avec un indice glycémique élevé au moins une journée avant l'activité physique (de 600 à 1000 grammes de glucides par jour, ou de 8 à 10 grammes de glucides par kg de poids par jour) (Kerksick et coll., 2008). Cette procédure a aussi été corroborée par le Comité International Olympique (CIO) qui suggère aux athlètes qui réalisent une épreuve physique d'une durée de plus de 90 minutes de suivre une diète de surcompensation en glycogène (Burke, 2003). Il mentionne qu'ils devraient consommer pendant une période de 2 à 3 jours avant l'évènement sportif entre 8 à 10 grammes de glucides par kg de poids combiné à un entraînement à une intensité légère et de courte durée < 1 heure (Jenkendrup, 2011).

1.7 Recommandations générales sur la consommation de glucides

Au début des années 2000, à cause de la grande diversité des études publiées sur ce sujet et de la variabilité des résultats, plusieurs groupes de chercheurs ont décidé de passer en revue les données scientifiques existantes sur plusieurs aspects reliés à la nutrition sportive, dont les glucides, pour fournir une orientation et des lignes directrices. Une première prise de position a été publiée en 2000 suite à la collaboration de trois organismes : American College of Sports Medicine (ACSM), American Dietetic Association (ADA) et les Diététistes du Canada (DC) ("Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada," 2000).

Tout d'abord, ils ont suggéré aux athlètes de consommer, avant l'exercice physique, des aliments riches en glucides, modérés en protéines, et faibles en fibres et en lipides pour faciliter la vidange gastrique et minimiser les inconforts gastro-intestinaux. Ils ont aussi suggéré d'ingérer suffisamment de liquides pour maintenir le niveau d'hydratation et favoriser l'absorption des glucides. Finalement, ils ont recommandé de toujours consommer des aliments familiers avant la réalisation de l'exercice ("Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada," 2000). L'objectif principal de ces directives était d'aider l'athlète à avoir suffisamment d'énergie pour suivre son programme d'entraînement et favoriser une récupération optimale entre les exercices. En 2008, l'International Society of Sports Nutrition (ISSN) a aussi présenté une prise de position concernant la consommation des différents macronutriments (glucides, protéines et lipides) avant, pendant et après l'exercice physique (Kerksick et coll., 2008). Le but de cet organisme était de faire des recommandations scientifiques adaptées autant à l'athlète qu'au professionnel travaillant avec celui-ci. Ils voulaient démontrer que l'utilisation de la répartition des divers macronutriments au cours de l'exercice aiderait l'athlète à atteindre des performances optimales tout en maintenant une bonne santé.

Durant les années 2000, plusieurs chercheurs recommandaient d'ingérer de 200 à 300 grammes de glucides, trois ou quatre heures avant l'exercice. En ingérant cette quantité de glucides, cela permettait de combler les besoins nécessaires à la pratique d'exercice physique, d'augmenter les niveaux de glycogène musculaire et de maintenir le niveau de glucose sanguin durant l'exercice. Il est à noter que le glycogène hépatique peut être sensiblement épuisé après une nuit de jeûne (Coyle et coll., 1985; Hargreaves, 2001; Hawley et Burke, 1997; "Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada," 2000). Par contre, en 2008, cette recommandation a été modifiée dans la position prise par l'ACSM, l'ADA et les DC, car des études récentes n'ont pas démontré d'amélioration significative de la performance physique en réponse à cette pratique (Okano, Sato, Takumi, et Sugawara, 1996; Wee, Williams, Tsintzas, et Boobis, 2005). Par exemple, Cramp, Broad, Martin et Mayer (2004) ont évalué l'effet de l'ingestion de glucides avant un exercice sur la performance physique et le métabolisme. Huit cyclistes ont consommé, trois heures avant 93 minutes de vélo de montage, deux repas contenant soit 1 gramme de glucides par kg de poids (LC) ou 3 grammes de glucides par kg de poids (HC). Les chercheurs ont observé que le glucose plasmatique était plus bas immédiatement après l'ingestion du repas HC et aussi à 10 minutes du début de l'exercice physique comparativement au repas LC. Ils ont signalé que le temps de course était meilleur au premier tour si on consommait le repas LC et qu'au quatrième tour, c'était avec le repas HC. Par contre, globalement, ils ont remarqué qu'il n'y avait pas d'amélioration significative dans le temps de performance entre les protocoles HC et LC (Cramp, Broad, Martin, et Meyer, 2004). Suite à tous ces résultats et à une revue de littérature exhaustive, l'ACSM, l'ADA et les DC (2000) ont suggéré aux athlètes de consommer entre 6 et 10 grammes de glucides par kg de poids par jour en période d'entraînement dans le but de maintenir un niveau de glucose sanguin optimal tout au long de l'exercice et d'aider à remplacer le glycogène musculaire utilisé. Ils ont spécifié que la quantité de glucides à ingérer dépend de la quantité totale d'énergie dépensée par l'athlète, du type de sport, du sexe et des conditions environnementales dans lesquelles l'exercice est réalisé (Rodriguez, Di Marco, et Langley, 2009).

En 2003, le CIO, a établi quelques règles de conduite en ce qui a trait à la quantité et au type de glucides à consommer, ainsi qu'aux délais pour les ingérer afin d'optimiser la synthèse du glycogène et ses réserves (Burke, 2003). Ce comité suggère que les recommandations sur l'apport en glucides ne soient pas exprimées sous forme de pourcentage de la contribution de l'apport énergétique alimentaire total, car ceci ne prend pas en considération la masse de l'athlète. Tout d'abord, il suggère de consommer entre 5 et 7 grammes de glucides par kg de poids par jour pour une activité quotidienne d'intensité faible à modérée. Pour une activité d'intensité modérée à élevée, la recommandation se situe entre 7 et 12 grammes de glucides par kg de poids par jour. Finalement, pour des activités d'intensités extrêmes (avec une durée supérieure à 4 heures par jour), il suggère de consommer entre 10 et 12 grammes de glucides par kg de poids par jour. Pour les événements sportifs de plus de 90 minutes, le CIO mentionne que la surcompensation en glycogène est la meilleure solution pour maximiser les réserves en glycogène avant l'événement. Il conseille d'ingérer, pour une période de deux à trois jours, entre 8 et 10 grammes de glucides par kg de poids en combinaison avec un entraînement de courte durée et de faible intensité. Pour ce qui est du repas précédant un exercice de plus de 60 minutes, il suggère de consommer entre 1 à 4 grammes de glucides par kg de poids au cours des six heures précédant l'événement.

En 2010, le CIO a révisé la Déclaration de consensus sur la nutrition dans le sport, sans qu'aucun changement n'ait été fait sur la consommation de glucides avant l'exercice ("IOC consensus statement on sports nutrition 2010," 2011). Burke et ses collaborateurs (2011) ont suggéré des modifications quant aux quantités de glucides à consommer avant l'exercice physique selon la durée de l'activité. Cette équipe a suivi les recommandations proposées par le CIO en 2003, mais a fait quelques modifications en ce qui concerne la classification de l'intensité de l'exercice et le nombre de glucides à consommer lors de ces activités. Entre autres, elle a subdivisé la catégorie « activité d'intensité faible à modérée » en deux catégories soit la catégorie « activité de faible intensité » et « activité d'intensité modérée ». Pour la catégorie « activité de faible intensité », ils ont proposé de consommer entre 3 et 5 grammes de glucides par kg de poids par jour d'entraînement. Toutes les autres modifications sont présentées au tableau I. Une autre particularité retrouvée dans cet article est la directive concernant la consommation de glucides avant l'exercice physique. Ces auteurs ont suggéré

que les athlètes devraient consommer entre 1 et 4 grammes de glucides par kg de poids sur une période allant d'une à quatre heures avant l'exercice physique. Par exemple, une heure avant l'exercice, l'athlète devra consommer un repas contenant 1 gramme de glucides par kg de poids. Finalement, ces auteurs ont suggéré quelques changements pour la surcharge en glycogène. Il a été proposé de consommer entre 10 et 12 grammes de glucides par jour, 36 à 48 heures avant l'événement sportif et de combiner le tout à un entraînement de courte durée réalisée à une faible intensité.

L'ISSN (2008) a mentionné que la consommation quotidienne d'une diète élevée en glucides (environ 65 % de l'énergie sous forme de glucides) permettait de maintenir le glycogène musculaire. En effet, l'augmentation de la consommation de glucides à 70 % de l'énergie quotidienne pendant cinq à sept jours aiderait à maximiser les réserves de glycogène musculaire et hépatique et, dans un autre ordre d'idées, à maintenir la glycémie pendant l'exercice physique. À la suite de ces observations, cet organisme conseille de consommer entre 600 et 1000 grammes de glucides par jour, ou entre 8 et 10 grammes de glucides par kg par jour les jours précédant l'activité physique. Il est à noter que le nombre de jours durant lesquels cette diète doit être suivie n'est pas mentionné, mais l'ISSN se base sur des études faites sur des périodes de un à six jours (Kerksick et coll., 2008). Un résumé de toutes les recommandations proposées par ces divers organismes est présenté dans le tableau I. Il est important de mentionner qu'il n'y a pas vraiment de consensus sur les recommandations à employer dans le milieu sportif. En général, les nutritionnistes utilisent les recommandations de l'ACSM, des DC, de l'ADA et du CIO.

Tableau I - Résumé des recommandations sur la consommation de glucides avant l'exercice

Organismes	Quantité de glucides Journée avant l'exercice	Quantité de glucides Repas avant l'exercice	Surcompensation en glycogène
American College of Sports Medicine, American Dietetic Association et les Diététistes du Canada (2000 et 2009)	6 à 10 grammes de glucides par kg de poids par jour.	200 à 300 grammes de glucides, 3 à 4 heures avant l'exercice physique* <i>* Cette recommandation a été enlevée en 2009.</i>	---
International Society of Sports (2008)	Alimentation contenant 65 % de l'énergie sous forme de glucides.	---	600 à 1000 grammes de glucides par jour ou entre 8 à 10 grammes de glucides par kg de poids par jour.
Comité International Olympique (2003 et 2010)	<u>Activité d'intensité faible à modérée</u> : 5 à 7 grammes de glucides par kg de poids par jour. <u>Activité d'intensité modérée à élevée</u> : 7 à 12 grammes de glucides par kg de poids par jour. <u>Activité d'intensité extrême (plus de 4 heures d'entraînement par jour)</u> : 10 à 12 grammes de glucides par kg de poids par jour.	1 à 4 grammes de glucides par kg de poids durant les 6 heures précédant la compétition. Cette recommandation s'applique pour les événements de plus de 60 minutes.	8 et 10 grammes de glucides par kg de poids, deux à trois jours avant l'événement sportif en combinaison avec un entraînement de faible intensité et de courte durée.

<p>Burke et coll. (2011) Adaptation des recommandations du CIO</p>	<p><u>Activité de faible intensité ou portant sur les habiletés de base</u> : 3 à 5 grammes de glucides par kg de poids par jour.</p> <p><u>Activité d'intensité modérée (environ 1 heure par jour)</u> : 5 à 7 grammes de glucides par kg de poids par jour.</p> <p><u>Activité d'intensité modérée à élevée (entre 1 et 3 heures par jour)</u> : 6 à 10 grammes de glucides par kg de poids par jour.</p> <p><u>Activité d'intensité très élevée (plus de 4 à 5 heures par jour)</u> : 8 à 12 grammes de glucides par kg de poids par jour.</p>	<p>1 à 4 grammes de glucides par kg de poids consommé 1 à 4 heures avant un exercice d'une durée minimale de 60 minutes.</p>	<p>10 à 12 grammes de glucides par jour, pendant 36 à 48 heures, en combinaison avec un entraînement de faible intensité et de courte durée.</p> <p>Si l'évènement dure moins de 90 minutes, ils recommandent de consommer entre 7 à 12 grammes de glucides pour 24 heures avant l'évènement. Pour minimiser les problèmes digestifs, ils conseillent de choisir des glucides qui contiennent peu de fibres et de résidus.</p>
--	---	--	--

Chapitre 2 - L'indice glycémique

Reconnaissant l'imprévisibilité de la réponse du glucose sanguin lors de la consommation d'aliments riches en glucides, une équipe canadienne de nutritionnistes a développé, en 1981 un nouveau concept qui classe les aliments selon leur effet sur la glycémie (Jenkins et coll., 1981). Ce concept s'intitule l'indice glycémique. Il est le prolongement de l'hypothèse sur les fibres alimentaires développée par Burkitt et Trowell en 1977 (Burkitt et Trowell, 1977) selon laquelle les aliments riches en fibres, qui sont absorbés plus lentement, auraient des effets bénéfiques sur le métabolisme en diminuant les risques de maladies coronariennes et en améliorant la glycémie chez les diabétiques

2.1 Définition de l'indice glycémique

L'indice glycémique est un pourcentage de l'aire sous la courbe de la réponse du glucose après l'ingestion d'un aliment spécifique comparativement à l'aire sous la courbe de la réponse du glucose pour un aliment de référence (Donaldson, Perry, et Rose, 2010).

$$IG = \left\{ \frac{\text{Aire sous la courbe de la glycémie postprandiale du glucose}}{\text{Aire sous la courbe de la glycémie postprandiale de l'aliment de référence}} \right\} \times 100$$

Le calcul de la surface de l'aire sous la courbe se fera en additionnant les aires de tous les triangles et des trapézoïdes tel que présenté à la figure 3 soit A+B+C+D+E+F.

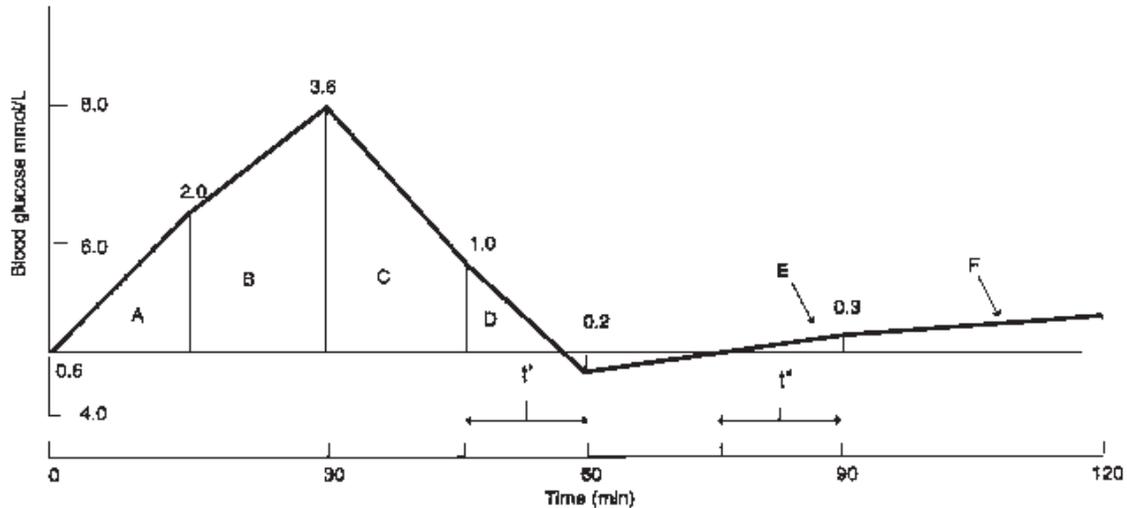


Figure 3- Calcul de l'indice glycémique. Tirée de FAO/WHO, 1998.

À l'origine, le glucose servait d'aliment de référence. En raison des préoccupations soulevées par quelques chercheurs sur l'effet osmotique de la solution glucosée qui pouvait ralentir la vidange gastrique, Jenkins et ses collaborateurs (1981) ont suggéré un autre aliment de référence : le pain blanc. Actuellement, le glucose ou le pain blanc sont tous les deux utilisés comme aliments de référence. L'indice glycémique établi pour une portion de 50 g (standard) de ces deux aliments est toujours de 100. La Food and Agriculture Organization (FAO) a développé, en 1997, une échelle qui classe les aliments en trois catégories : ceux qui ont un indice glycémique bas (LGI), ceux qui ont un indice glycémique moyen (MGI) et ceux qui ont un indice glycémique élevé (HGI). Les valeurs d'indices glycémiques correspondant à ces trois catégories sont présentées au Tableau II.

Tableau II – Classification de l'indice glycémique

Valeur de l'indice glycémique	Catégories de l'indice glycémique
≤ 55	bas
56-69	moyen
≥ 70	élevé

Le calcul de l'indice glycémique nécessite que la portion de l'aliment de référence et de l'aliment testé contienne la même quantité de glucides disponibles, généralement 50 ou 25 grammes (Foster-Powell, Holt, et Brand-Miller, 2002). Tous les tests sont réalisés sur des participants sains ou diabétiques après une nuit de jeûne, et ce, à au moins trois reprises (Wolever, Jenkins, Jenkins, et Josse, 1991). Puisqu'il repose sur des mesures physiologiques, un haut degré de précision ne peut être attendu pour l'indice glycémique. Cependant, plusieurs recherches ont indiqué un haut degré de constance dans la réponse glycémique pour un même aliment, à l'intérieur d'environ 10 à 15 unités de mesure pour la plupart des aliments (Foster-Powell et coll., 2002). Il est important de mentionner que l'indice glycémique ne peut être calculé pour tous les aliments. En effet, certains aliments contiennent peu ou pas de glucides ce qui implique des difficultés pour l'obtention d'une portion raisonnable de glucides disponibles pour les tests. Ces aliments sont : la volaille, la viande, le poisson, les avocats, les légumes feuillus, le fromage et les œufs (Foster-Powell et coll., 2002).

2.2 Facteurs qui influencent l'indice glycémique

L'indice glycémique reflète le taux de digestion et d'absorption des aliments riches en glucides. Les facteurs suivants ont donc un impact sur l'indice glycémique de l'aliment, car ils influencent la vidange gastrique et l'absorption des aliments par l'intestin (Burke et coll., 1998).

1. La forme de l'aliment, incluant la grosseur des particules reliées au degré de mouture ou de traitement, la présence de grains entiers, la texture et la viscosité de l'aliment, ce qui inclut la présence de fibres solubles.
2. Le degré de cuisson et de traitement de l'aliment qui influence le degré de gélatinisation ou de rétrogradation de l'amidon et la perturbation de la structure de la cellule.
3. La présence de fructose ou de lactose, qui ont un indice glycémique plus bas.
4. Le ratio amylopectine et amylose dans l'amidon : la structure linéaire de l'amylose entraîne un ralentissement dans la digestion de l'aliment.
5. Les interactions protéines-amidon et lipides-amidon, car celles-ci influencent la réponse glycémique en retardant le transit gastro-intestinal supérieur et en augmentant la sécrétion d'insuline (Wolever, Jenkins, Jenkins, et Josse, 1991).
6. D'autres composés, tels que les phytates et les lectines qui réduisent le taux de digestion des amidons. (Yoon, Thompsons, et Jenkins, 1983).

2.3 Validité de l'indice glycémique

L'équipe de Burke a démontré qu'il pouvait y avoir des variations de 10 à 15 unités dans les indices glycémiques publiés pour un même aliment (Burke et coll., 1998). Ces différences peuvent être occasionnées par des caractéristiques physiques et chimiques de l'aliment, ou par des facteurs méthodologiques. Les spécificités physiques et chimiques impliquées dans ces variations sont : les ingrédients qui composent l'aliment, la technique de cuisson ou de transformation et la différence botanique des aliments choisis pour le test. Par exemple, une même sorte de riz présentera un indice glycémique très variable d'une région à l'autre du globe. Par conséquent, le chercheur devra comparer les riz provenant de la même région pour ainsi tenir compte de la différence botanique dans la méthode de calcul (Foster-Powell et coll.,

2002). En général, les valeurs d'indices glycémiques publiées représentent la moyenne des valeurs rapportées de plusieurs études et de laboratoires, ce qui a pour effet d'atténuer la variabilité reliée aux caractéristiques chimiques et physiques de l'aliment (Burke et coll., 1998).

Les facteurs méthodologiques qui peuvent influencer le résultat sont : la grosseur de la portion utilisée, le choix de l'aliment de référence, le nombre d'essais faits avec l'aliment standard, la détermination de la quantité de glucides disponibles dans l'aliment testé, la fréquence et l'intervalle de temps entre les échantillons sanguins, la méthode de calcul de l'aire sous la courbe, la méthode utilisée pour l'échantillonnage sanguin (capillaire ou veineux), et les caractéristiques du sujet (ex. : âge, sexe, pourcentage de gras corporel). Par contre, selon certains chercheurs, les caractéristiques du sujet ne semblent pas être une cause majeure d'influence dans la détermination de l'indice glycémique de l'aliment (Wolever et coll., 1991). Pour diminuer la variabilité méthodologique, quelques auteurs ont suggéré de standardiser ce facteur pour réduire la variation obtenue entre les indices glycémiques publiés pour un même aliment (Burke et coll., 1998). Pour faire suite à ces recommandations, les chercheurs se sont entendus sur la méthode à employer pour déterminer l'indice glycémique des aliments. En 2010, l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), a publié des normes internationales, *International Standards Organisation ISO-26642-2010*, pour déterminer l'indice glycémique *in vivo* des produits alimentaires et des recommandations relatives à la classification de ces aliments (Brand-Miller et Buyken, 2012). Tous les pays membres de cette organisation doivent adopter ces normes pour diminuer les risques de variabilité entre les indices glycémiques obtenus. Entre autres, ils doivent utiliser le glucose comme aliment de référence (indice glycémique = 100) et classifier les aliments selon la méthode de la FAO. Ces dispositifs ont permis au concept d'être assez robuste pour faire face aux différences entre les individus et, ainsi, d'être utilisé dans le domaine de la recherche et de la santé.

2.4 Effets de l'indice glycémique sur le métabolisme

L'effet de l'indice glycémique sur le métabolisme est associé à la vitesse d'absorption du glucose par le petit intestin. En effet, les chercheurs observent qu'après l'ingestion d'aliments à

faible indice glycémique, il se produit un ralentissement de la vitesse d'absorption du glucose, ce qui occasionne une augmentation moins marquée des hormones intestinales (ex. : incrétines) et de l'insuline (Figure 4).

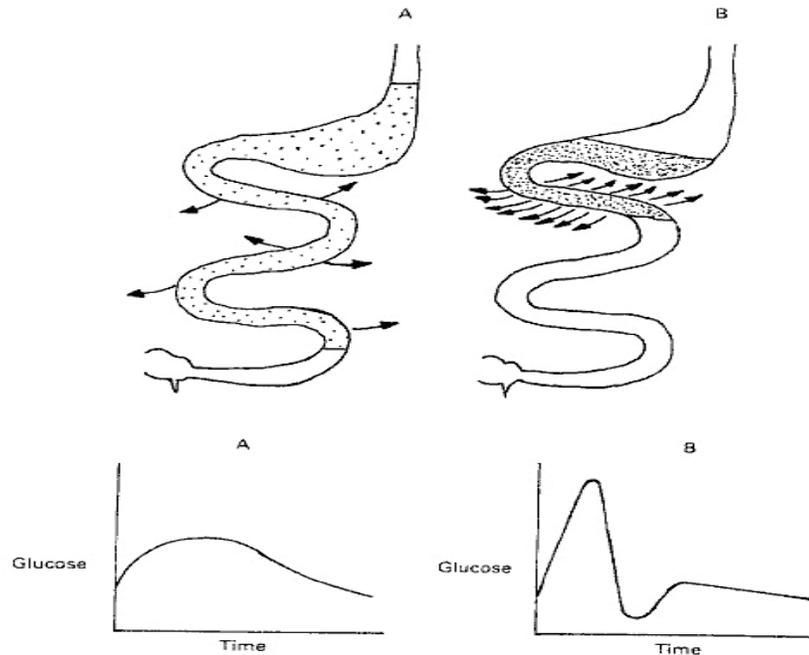


Figure 4 - Mécanisme d'action de l'indice glycémique.

Représentation de l'effet qu'aurait l'ingestion du repas LGI (A) et d'un repas HGI (B) sur l'absorption intestinale du glucose et la glycémie post-prandiale. Tirée de Jenkins et coll., 2002.

Avec le temps, une absorption prolongée de glucides maintient la suppression des AGL ainsi que la réponse contre-régulatrice qui entraîne, de cette manière, des concentrations de glucose plus faibles. À cause de la diminution de la concentration des AGL, on note une augmentation du quotient respiratoire (QR) et de l'insuline dans les tissus; le glucose est alors retiré de la circulation plus rapidement. La concentration de glucose sanguin qui s'ensuit retourne à des niveaux de base normaux malgré l'absorption continue de glucose par l'intestin. La hausse de la glycémie postprandiale est, de cette manière, réduite en même temps que l'augmentation du glucose sanguin de base par rapport aux valeurs initiales (Jenkins et coll., 2002).

2.5 Recommandations sur l'indice glycémique

En 1997, un comité d'experts a été formé par la FAO, l'Organisation des Nations Unies (ONU) et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) afin de réviser les évidences disponibles concernant l'importance des glucides dans la nutrition humaine et la santé ("Carbohydrates in human nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation," 1998). Ce comité a approuvé l'utilisation de la méthode de l'indice glycémique pour classer les aliments selon leur contenu en glucides et a recommandé que les valeurs des indices glycémiques des aliments puissent être utilisées en combinaison à la composition de l'aliment afin de guider la population dans ses choix alimentaires.

2.6 Détermination de l'indice glycémique des aliments

Avant les travaux effectués par Jenkins et ses collaborateurs (1981) portant sur le concept de l'indice glycémique, d'autres chercheurs avaient remarqué que la méthode de calcul des glucides utilisée par les diabétiques ne reflétait pas réellement l'effet physiologique des glucides sur la glycémie. En effet, ils ont noté que l'amplitude de la courbe de la réponse glycémique variait selon le type d'aliments ingérés. De plus, la glycémie postprandiale pouvait être influencée par d'autres éléments, tels que la quantité, la forme et la nature des glucides et la présence de fibres alimentaires. L'équipe de Jenkins a été la première à publier, en 1981, une étude pour déterminer l'effet physiologique de différents aliments sur la glycémie (Jenkins et coll., 1981). Les résultats obtenus par ces travaux ont permis la création d'une table sur l'indice glycémique qui est complémentaire aux analyses chimiques des glucides. Plusieurs années plus tard, Foster-Powell, Holt et Brand-Miller (1995) ont développé l'*International table of glycaemic index* qui répertorie les indices glycémiques de près de 1300 aliments consommés à travers le monde (Foster-Powell et coll., 2002; Foster-Powell et Miller, 1995).

Dans l'étude de Jenkins et ses collaborateurs (1981), 34 participants sains (21 hommes et 13 femmes) ont été recrutés. Ils ont été divisés en groupes de cinq à dix personnes, et chacun des participants devait consommer 62 aliments de façon aléatoire. La portion de référence

déterminée pour chaque aliment était de 50 grammes de glucides. Par contre, six aliments (gourganes, betteraves, carottes, panais, rutabagas et arachides) avaient une portion de référence de 25 grammes de glucides, puisque le volume initial de 50 grammes était trop grand. Tous les résultats ont été comparés à une quantité équivalente de glucides consommés sous forme de glucose. Le volume total du repas consommé était de 600 ml, et il était accompagné d'un sachet de thé et de 50 ml de lait pour améliorer la palatabilité. Les céréales étaient accompagnées de 300 ml de lait. Le riz, le spaghetti, le blé, le millet, le sarrasin et les légumineuses étaient servis avec 120 grammes de tomates pelées et épépinées. Les légumes, les légumineuses et les grains secs ont été bouillis avec de l'eau et 2 grammes de sel. Il est à noter que Wolever et Jenkins (1986) ont défini que l'ajout d'ingrédients et le mode de cuisson des aliments pouvaient modifier la réponse glycémique et, par conséquent, l'indice glycémique. Ils ont recommandé que ces facteurs soient considérés dans la méthode de calcul de l'indice glycémique (Wolever et Jenkins, 1986). Ceci a été pris en considération dans les études subséquentes, mais non dans celle de Jenkins (Jenkins et coll., 1981).

Au total, 132 tests de tolérance au glucose (ingestion de 50 grammes de glucose consommés en 10 à 15 minutes) ont été effectués selon la procédure standard (Jenkins et coll., 1981). Vingt-trois participants ont été appariés pour tester un repas à faible teneur en glucides. Ainsi, à tous les deux ou trois aliments, un test de tolérance au glucose était réalisé. Pour obtenir des données comparatives, d'autres tests de tolérance au glucose (portion de référence de 50 grammes) ont été effectués avec le pain, les lentilles et le glucose. Tous les repas ont été consommés dans un délai de 10 à 15 minutes. Les participants avaient des activités et un menu standardisés le jour précédent le test. Des échantillons sanguins capillaires ont été obtenus à jeun ainsi que 15, 30, 45, 60, 90 et 120 minutes en période postprandiale. L'aire sous la courbe de la glycémie deux heures après l'ingestion a été exprimée en pourcentage de la moyenne des valeurs obtenues lors du test de tolérance au glucose. Cette valeur a été définie par l'équipe de recherche comme étant l'indice glycémique de l'aliment.

Les résultats obtenus par l'équipe de Jenkins ont démontré une relation inverse et significative entre les lipides ($r = -0,386$; $p < 0,01$) et l'indice glycémique, de même qu'entre les protéines ($r = -0,523$; $p < 0,001$) et l'indice glycémique (Jenkins et coll., 1981). En effet, les lipides sont

reconnus pour retarder la vidange gastrique alors que les protéines stimulent la sécrétion d'insuline ce qui, dans les deux cas, peut influencer la glycémie en abaissant celle-ci, et ainsi expliquer la corrélation inverse. Aucune relation significative n'a été démontrée entre les fibres alimentaires ou le contenu en sucre des aliments et l'indice glycémique. Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que les aliments riches en fibres, provenant de produits contenant du blé et des fibres de blé, ont un faible effet sur la glycémie. De plus, ils ont observé une grande variation entre les différents aliments à l'intérieur d'un même groupe, à l'exception des produits laitiers, mais les auteurs n'en mentionnaient pas les causes dans leur discussion. Par ailleurs, il n'y avait pas de différence significative entre le glucose et le pain pour ce qui est de l'indice glycémique lorsque les participants consommaient 25 grammes de glucides. Par contre, les auteurs soulèvent que l'indice glycémique des aliments de référence contenant 25 grammes de glucides pourrait être artificiellement élevé en comparaison avec les portions de 50 grammes, tel qu'illustré dans la Figure 5.

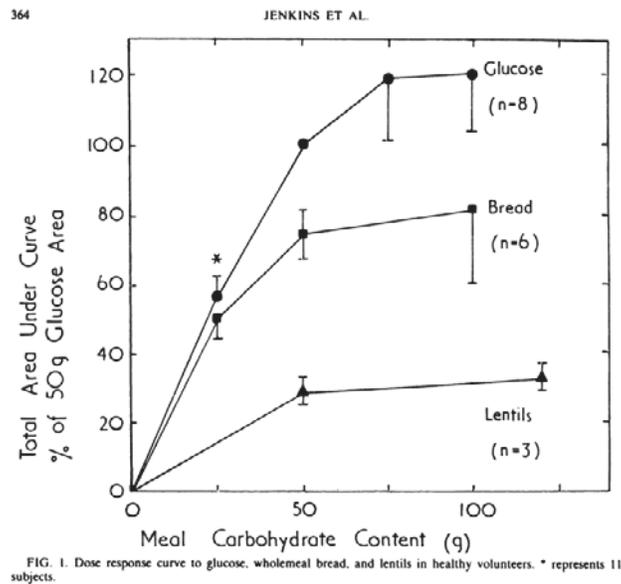


Figure 5 - Relation entre l'aire sous la courbe du glucose et la quantité de glucides consommés pour trois aliments : lentille, pain et glucose. Tirée de Jenkins et coll., 1981.

À la lumière de ces résultats, les chercheurs ont démontré que les échanges glycémiques ne pouvaient pas, à eux seuls, prédire la réponse physiologique du glucose sanguin. Par

conséquent, la classification des aliments avec l'indice glycémique était utile pour faciliter la description de la glycémie postprandiale.

Chapitre 3 - Impact de l'indice glycémique sur la performance physique

3.1 L'indice glycémique et la performance physique

Au cours des dernières années, plusieurs chercheurs ont observé que l'ingestion des glucides avant l'exercice améliorait la performance physique (Wu et Williams, 2006). Par contre, la consommation de glucides avant l'exercice peut entraîner certains effets physiologiques qui peuvent être problématiques pour les athlètes d'endurances (ex : augmentation de l'oxydation des glucides et diminution de l'utilisation des AGL durant l'exercice (Burke et coll., 1998)). Une des stratégies proposées pour contrer ces effets est de consommer des aliments à indice glycémique bas avant l'exercice physique. En effet, plusieurs chercheurs croient que cette méthode augmente la contribution du métabolisme des lipides dans la production de l'énergie durant les exercices prolongés, diminue l'utilisation des réserves de glycogène et, par conséquent, augmente l'endurance. O'Relly, Wong et Chen (2010), ont mentionné que la consommation d'aliments à indice glycémique bas avant un exercice était associée à la diminution des hyperglycémies et des hyperinsulinémies postprandiales, puis à l'augmentation de l'oxydation des AGL. Cette situation entraînait le maintien de la concentration du glucose sanguin occasionnant par le fait même une disponibilité constante du glucose sanguin durant l'exercice, ce qui était considéré comme un avantage majeur à l'amélioration des performances lors de l'exercice physique prolongé.

À la lumière de ces résultats, plusieurs chercheurs ont examiné les effets physiologiques et métaboliques de la consommation, avant l'exercice, d'aliments avec différents indices glycémiques. Le tableau III, situé à la fin du chapitre 3, présente la méthodologie et les résultats des études qui ont évalué l'effet de l'indice glycémique sur la performance physique. Ce tableau se divise en deux sections. La première section se consacre aux études où les repas ont été consommés moins d'une heure avant l'exercice physique et la deuxième, présente les

études où les repas ont été ingérés plus d'une heure avant l'exercice. Seules celles réalisées auprès de participants pratiquant du vélo ou de la course ont été retenues puisque notre projet de recherche porte sur des athlètes pratiquant ces sports. Aussi, toutes les études où la consommation de liquides glucosés était permise durant l'exercice ou lorsque les repas de la journée précédente étaient modifiés ont été exclues, car cela peut causer des biais dans l'analyse des résultats. Il est à noter qu'il est très difficile de comparer ces études entre elles à cause de la grande diversité des méthodologies utilisées. En effet, elles utilisent différents modes et types d'exercices (vélo ou course) pour atteindre l'épuisement, des temps différents d'ingestion avant l'exercice (15, 30 et 45 minutes, 1, 2 et 3 heures) et des repas composés d'un seul ou de plusieurs aliments. Les prochains paragraphes décriront les études qui ont influencé la communauté scientifique grâce à leur méthodologie et leur protocole innovateurs dans le domaine.

Thomas et ses collaborateurs (1991) ont été les premiers à étudier l'effet de l'indice glycémique sur la performance physique. Le but de l'étude était de comparer les réponses biologiques et physiologiques lors de la consommation d'aliments à indice glycémique bas et élevé une heure avant un exercice vigoureux et prolongé afin de vérifier si la consommation d'un aliment LGI avant un exercice en endurance pouvait prolonger la durée de cet exercice et par conséquent améliorer la performance. Huit cyclistes bien entraînés (moyenne de vélo hebdomadaire de 225 +/- 70 km) ont réalisé, à au moins une semaine d'intervalle, quatre protocoles attribués de façon aléatoire. Après un jeûne de 12 heures, les participants devaient consommer soit un aliment LGI (lentilles), MGI (pomme de terre), HGI (glucose) ou témoin (eau), une heure avant leur épreuve sur vélo de 65 à 70 % de leur VO_{2max} , et ce, jusqu'à épuisement (Tableau III). La quantité de glucides offerte était de 1g par kg de poids corporel. Pour minimiser les différences de vidange gastrique entre les repas, de l'eau (400 ml) étaient offertes avec l'aliment. Le volume total du repas était ajusté avec de l'eau pour atteindre 600 ml.

Les chercheurs ont observé une augmentation rapide du glucose plasmatique qui atteignait un sommet à 30 et 45 minutes après l'ingestion de HGI et de MGI. À l'exercice (au temps

75 minutes), le glucose plasmatique était significativement plus élevé avec LGI et HGI en comparaison avec le témoin. À la fin de l'exercice, HGI et LGI étaient plus élevés comparativement au témoin et à MGI. La Figure 6 présente la concentration du glucose du temps 0 minute au temps 150 minutes durant le protocole.

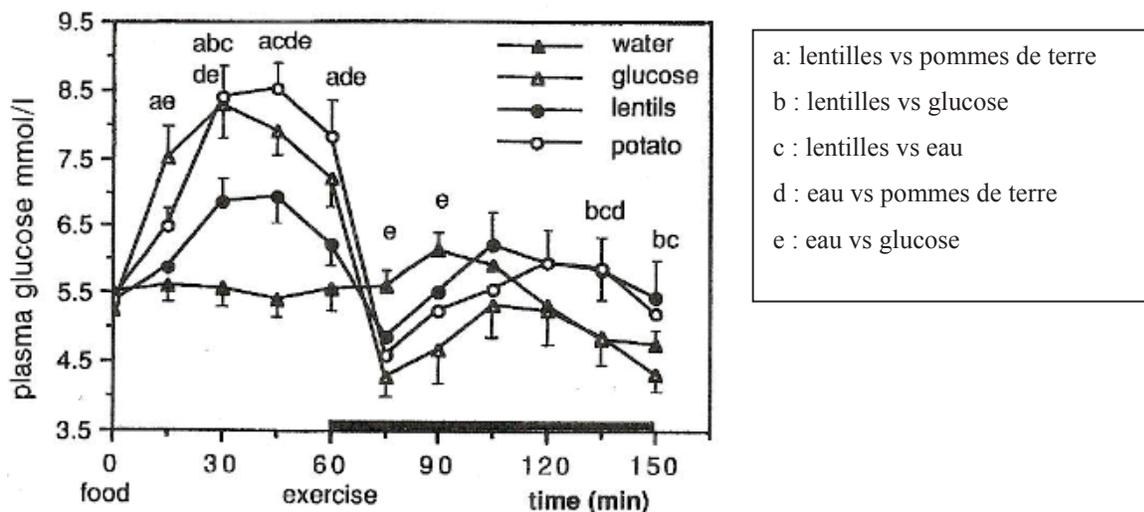


Figure 6 - Concentration du glucose (mmol/L) du temps 0 minute au temps 150 minutes. Tirée de Thomas, Brotherhood et coll. 1991.

Les auteurs ont observé que les niveaux d'insuline plasmatique augmentaient rapidement après l'ingestion de HGI et MGI, et, si on comparait ces niveaux avec LGI, ceux-ci étaient significativement plus élevés aux temps 30 et 45 minutes postprandiaux. À l'exercice, il y avait une diminution de la concentration d'insuline pour les quatre protocoles, mais aucune différence significative après 15 minutes d'exercices physiques. De plus, durant l'exercice, la concentration d'AGL était significativement plus élevée avec LGI en comparaison avec HGI et MGI. Finalement, ils ont observé une prolongation de l'exercice physique de 20 minutes avec LGI comparativement à MGI. Les résultats obtenus lors de cette étude ont permis aux auteurs de conclure que la consommation de lentilles (LGI) avant un exercice prolongé est avantageuse pour les athlètes car elles fournissent une source de glucose qui se libère plus lentement dans le sang, tout en ralentissant les élévations rapides d'insuline.

En 1994, Thomas, Brotherhood et Miller (1994) ont utilisé la même méthodologie élaborée que lors de leur étude en 1991 (Tableau III) pour déterminer si la grandeur de la réponse glycémique de différents aliments consommés avant un exercice prédisait les niveaux de substrats plasmatiques à la fin de l'exercice. Ils ont demandé à six cyclistes entraînés (moyenne de vélo hebdomadaire de 215 +/- 123 km) de réaliser, à au moins une semaine d'intervalle, quatre protocoles attribués de façon aléatoire.

Les auteurs ont observé une augmentation du glucose plasmatique plus grande après l'ingestion de la pomme de terre (HGI), mais plus basse avec les lentilles (LGI) et les céréales de son (LGI). À la fin de l'exercice, ils ont observé une relation inverse entre le changement dans le glucose plasmatique et l'indice glycémique de l'aliment. Durant la période de récupération, ils ont trouvé une corrélation inverse entre l'indice glycémique et l'aire sous la courbe du glucose plasmatique. Les auteurs ont suggéré que, durant la période postprandiale (2,5 à 3 heures) de l'ingestion de LGI, le glucose continue à être libéré dans la circulation sanguine ce qui serait un bénéfice lorsque les athlètes ne consomment pas d'aliments durant ou après l'exercice. Thomas et coll. (1994) ont également observé une augmentation de l'insuline plasmatique après l'ingestion de chaque aliment. Cependant, cette augmentation était moins élevée avec le son et les lentilles. Au début de l'exercice, la concentration d'insuline diminuait dans tous les essais, mais après 15 minutes, il n'y avait plus de différence significative entre les protocoles. Durant l'exercice, il y avait une corrélation négative entre l'aire sous la courbe des AGL et l'indice glycémique de l'aliment. Après l'exercice, le niveau plasmatique des AGL était significativement plus bas avec les céréales de son, et significativement plus haut avec les pommes de terre. Il y avait une corrélation positive entre la concentration d'AGL et l'indice glycémique de l'aliment (au temps 30 minutes). Les auteurs ont aussi démontré une corrélation positive entre l'indice glycémique et l'aire sous la courbe du QR. Finalement, il n'y avait pas de corrélation entre le temps à l'exercice et l'indice glycémique. Les auteurs ont conclu que les aliments à LGI étaient associés à des niveaux de glucose et d'insuline plasmatique plus élevés après plus de 90 minutes d'exercice et par conséquent, des niveaux de glucose plasmatique plus élevés seraient associés à une augmentation de l'endurance.

Febbraio et Stewart (1996) sont les premiers à avoir évalué l'effet de l'ingestion de glucides avec différents indices glycémiques sur l'utilisation du glycogène musculaire et la performance physique lors d'une épreuve prolongée de vélo. Six cyclistes bien entraînés ont réalisé trois protocoles d'épuisement à une semaine d'intervalle chacun. À chacun des protocoles, les participants devaient consommer un repas 45 minutes avant une épreuve de vélo de deux heures à 70 % de leur VO_{2max} . À la fin de l'épreuve, les participants avaient comme instruction de continuer à pédaler pendant 15 minutes à une intensité élevée pour permettre aux chercheurs d'enregistrer des données de travail durant la phase d'épuisement (Tableau III).

Les auteurs ont observé, lors du repas HGI, que la concentration du glucose sanguin était significativement plus élevée à 15 minutes postprandiales en comparaison au repas LGI et au témoin. Ils ont remarqué que l'oxydation des glucides et le QR étaient plus bas avec le repas témoin en comparaison avec les repas LGI et HGI.

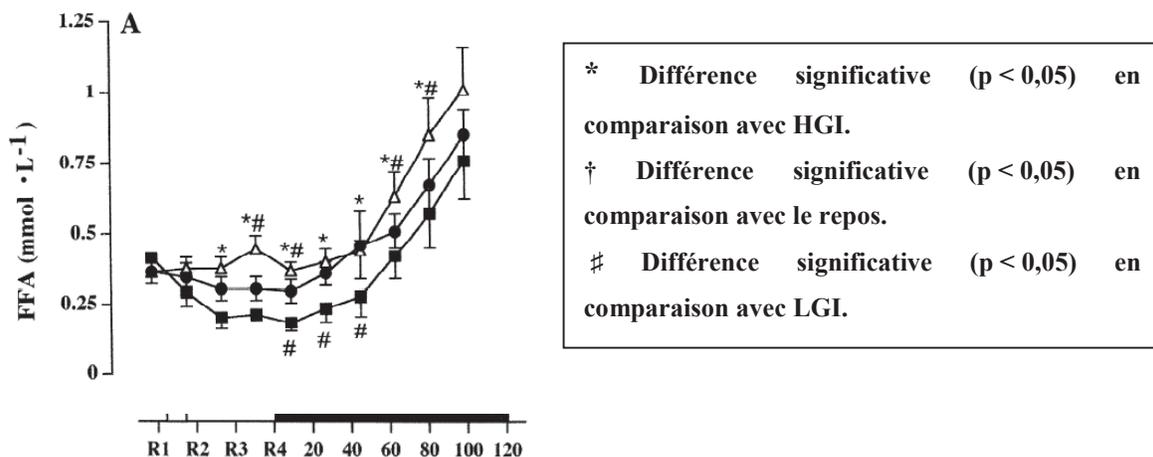


Figure 7 – Concentration d'AGL plasmatiques au repos et durant un exercice maximal après l'ingestion d'un repas HGI (■), placebo (Δ) et LGI (●). Tirée de Febbraio et Stewart, 2006.

De la période postprandiale (temps 30 minutes) jusqu'à l'exercice (temps 100 minutes), la concentration d'AGL plasmatique était significativement plus basse ($p < 0,05$) avec HGI comparativement à CON. Si on compare HGI à LGI, on remarque que la concentration d'AGL

était significativement plus basse ($p < 0,05$) avec HGI qu'avec LGI à l'exercice (entre 20 et 60 minutes) (Figure 7). De plus, à cette même période, la concentration d'AGL plasmatique avec LGI était significativement plus basse ($p < 0,05$) en comparaison avec CON (aux temps 0, 80 et 100 minutes).

Durant la période postprandiale, la concentration d'insuline plasmatique était significativement plus élevée ($p < 0,05$) dans le protocole HGI comparativement à LGI et à CON. En ce qui concerne la concentration de glycogène musculaire, celle-ci était la même entre les trois protocoles au repos. Cependant, cette concentration était plus basse à la fin de l'exercice sous-maximal, mais il n'y avait pas de différence significative entre les trois protocoles. En ce qui a trait au travail produit durant la performance et le temps réalisé après 120 minutes, aucune différence significative n'a été observée entre les trois protocoles.

À la lumière des résultats obtenus, les auteurs ont suggéré que la consommation de glucides avant l'exercice n'influçait pas le taux de la glycoçénolyse musculaire pendant l'exercice, bien que la réponse glycémique postprandiale fût modifiée par celle-ci. Ces résultats ont corroboré ceux obtenus par Thomas et coll. (1991 et 1994), qui observaient une hyperglycémie suivie d'une baisse rapide de la concentration du glucose plasmatique après l'ingestion d'un repas HGI. D'autres études ont aussi soutenu cette affirmation (DeMarco, Sucher, Cisar, et Butterfield, 1999; Febbraio, Keenan, Angus, Campbell, et Garnham, 2000). Dans l'étude de Febbraio et coll. (1996) la baisse de la concentration du glucose s'était produite avant l'exercice et non au début de l'exercice tel qu'observé antérieurement. Les auteurs ont mentionné que cela serait peut-être lié au niveau élevé d'entraînement de leurs participants. En effet, les participants de leur étude avaient un VO_{2max} moyen plus élevé (62,1 ml O_2 /kg/min versus 59,1 ml O_2 /kg/min) que ceux de l'étude de Thomas et coll. (1994). Ils ont suggéré que cette situation a pu augmenter la sensibilité à l'insuline des participants et entraîner une baisse de glycémie plus tôt dans l'expérience. En conclusion, les auteurs mentionnent que l'augmentation de l'oxydation du glucose serait causée par une hausse de l'absorption du glucose par les cellules musculaires et d'une oxydation subséquente du glucose.

Sparks, Selig et Febbraio (1998) ont critiqué les résultats de Thomas et coll. (1991), car ces derniers ont omis de mentionner dans leur discussion qu'il n'y avait pas eu de diminution du temps à l'exercice après l'ingestion de glucides à indice glycémique élevé. Ils ont décidé de faire une étude sur le sujet et de modifier l'indicateur de réussite proposé par Thomas et coll. (1991). En effet, ces auteurs ont utilisé le critère de performance et non l'exercice fait jusqu'à épuisement comme indicateur de réussite. Selon eux, pour bien représenter la réalité des athlètes, ils devraient faire un protocole qui ressemble davantage à un évènement sportif d'une durée d'environ 60 minutes. Huit triathlètes ont ingéré 1 g de glucides par kg de poids par l'entremise de lentilles (LGI) ou des pommes de terre (HGI) ou d'un placebo sucré (témoin) 45 minutes avant une course de 50 minutes à 67% du VO_{2max} (Tableau III). Les chercheurs ont observé qu'avant l'exercice physique (temps 15 et 30 min) le glucose sanguin et l'insuline plasmatique étaient plus élevés avec HGI comparativement à LGI et l'eau glucosé. Par contre, durant l'exercice (temps 10 et 20 min), le glucose plasmatique était plus bas avec HGI comparativement à LGI et l'eau glucosé. En ce qui concerne l'insuline plasmatique à cette même période, celle-ci était plus élevée avec HGI en comparaison avec LGI. Finalement, durant l'exercice, la concentration d'AGL et l'oxydation des glucides était plus élevée avec LGI comparativement à HGI et l'eau glucosé. Cependant, tous ces changements métaboliques n'ont pas permis de noter de différence significative dans le total de travail produit durant les 15 minutes finales.

Demarco et coll. (1999) ont été les premiers à évaluer l'effet sur les réponses physiologiques et métaboliques d'un repas mixte avec différents indices glycémiques, consommé 30 minutes avant une épreuve de vélo de deux heures, à 70 % de leur VO_{2max} et jusqu'à épuisement. Les repas qui étaient remis aux participants contenaient 1,5 gramme de glucides par kg de poids, et la répartition en macronutriments des repas était de 55 % de glucides, 30 % de lipides et 15 % de protéines (Tableau III). Lors de l'analyse des repas, les auteurs ont noté que les taux de lipides, de protéines et de fibres variaient entre chaque repas et que le repas LGI avait une plus grande teneur en énergie, en fibres, en protéines et en lipides. Par contre, de l'eau a été ajouté au repas pour que le volume total des repas soit semblable entre eux. La différence de calories entre les repas était petite (15 %) et, selon Demarco et ses collaborateurs, cette différence de densité énergétique n'aurait pas contribué à ralentir le taux de vidange gastrique et influencé

de façon significative la performance. Finalement, la différence du contenu en fibres des repas a eu une influence sur les effets postprandiaux de ceux-ci. Selon les auteurs, cette situation a peut-être occasionné une diminution de la vitesse de la vidange gastrique et du taux d'absorption intestinale.

Les auteurs ont remarqué que le glucose sanguin était significativement plus élevé à 15 minutes postprandiales avec les repas HGI et LGI en comparaison avec l'eau. À l'exercice (au temps 20 minutes), il y avait une forte baisse dans la concentration du glucose plasmatique avec le repas LGI et HGI, et celle-ci était plus basse que l'eau. À la fin de l'exercice (au temps 120 minutes), la concentration du glucose était significativement plus élevée avec le repas LGI comparativement à HGI et à l'eau. Aux temps 15 et 30 minutes postprandiale, les concentrations d'insuline de LGI étaient plus basses que HGI. À l'exercice (au temps 20 minutes), le niveau d'insuline plasmatique était significativement plus élevé avec le repas HGI en comparaison avec le repas LGI et l'eau. Finalement, le temps pour se rendre à l'épuisement était plus long avec le repas LGI ($206,5 \pm 43,5$ secondes) qu'avec le repas HGI ($129,5 \pm 22,8$ secondes) et l'eau ($120,0 \pm 31,4$ secondes).

À la lumière de ces résultats, les auteurs ont affirmé que la consommation d'un repas LGI avant un exercice permettrait d'améliorer la performance durant un exercice maximal en augmentant la disponibilité de glucose sanguin exogène via une source de glucides qui s'absorbent plus lentement, ce qui pourrait compléter les réserves de glycogène de manière suffisamment adéquate pour améliorer les performances durant les exercices maximaux.

3.2 Les effets de l'indice glycémique sur différents paramètres métaboliques et sur la performance physique.

Comme mentionné précédemment, la consommation d'un repas ou d'aliments avec différents indices glycémiques entraîne divers changements dans le métabolisme, ce qui a comme conséquence d'améliorer, de diminuer ou de ne pas avoir d'impact sur les performances physiques. Voici un résumé des résultats métaboliques et physiques qui ont été publiés au

cours des dernières années sur l'effet de l'exercice physique fait en endurance lorsque des aliments avec différents indices glycémiques ont été consommés.

3.2.1 Le glucose

Durant la période postprandiale, la majorité des études ont démontré que la consommation d'un repas HGI avant un exercice, comparativement avec un repas LGI, occasionnait une augmentation plus grande de la concentration du glucose sanguin puis, une baisse rapide de celle-ci (DeMarco et coll., 1999; Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Karamanolis, Laparidis, Volaklis, Douda, et Tokmakidis, 2011; Kirwan, O'Gorman, et Evans, 1998; Moore, Midgley, Thomas, Thurlow, et McNaughton, 2009; Moore, Midgley, Thurlow, Thomas, et Mc Naughton, 2010; Sparks et coll., 1998; Stannard et coll., 2000; Thomas, Brotherhood, et Brand, 1991; Thomas, Brotherhood, et Miller, 1994; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu, Nicholas, Williams, Took, et Hardy, 2003; Wu et Williams, 2006). Durant les premières minutes suivant l'exercice, le niveau de glucose sanguin pouvait descendre dramatiquement et, dans certains cas, en bas des niveaux initiaux (< 3,5 mmol/L). Ce phénomène était appelé « hypoglycémie réactionnelle » (Mondazzi et Arcelli, 2009).

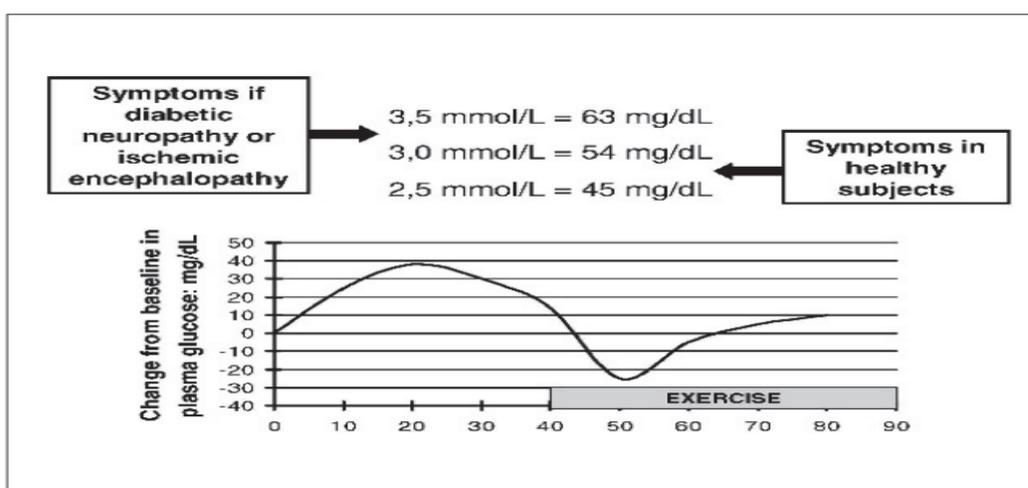


Figure 8- Phénomène de l'hypoglycémie réactionnelle. Tirée de l'étude de Mondazzi et Arcelli, 2009.

En effet, quelques chercheurs ont noté des glycémies inférieures à 3,5 mmol/L au cours de l'exercice physique, malgré le fait que les participants n'ont rapporté aucun symptôme d'hypoglycémie (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Wee et coll., 1999). De plus, cette situation n'a pas affecté leur performance physique (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Wee et coll., 1999). En général, ces épisodes d'hypoglycémie ne duraient que quelques minutes et n'influençaient pas la disponibilité des réserves de glycogène.

Au début de l'exercice, une diminution du niveau du glucose sanguin peut apparaître avec le repas LGI (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Wee et coll., 1999). Durant l'exercice (aux temps 15 et 30 minutes), les niveaux de glucose sanguin étaient plus bas à la suite de l'ingestion d'un repas HGI, si on le comparait à un repas LGI (Febbraio et coll., 2000; Sparks et coll., 1998; Stannard et coll., 2000; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Durant la dernière phase de l'exercice physique prolongé, le niveau de glucose sanguin était plus élevé chez les participants qui ont consommé un repas LGI en comparaison avec un repas HGI (DeMarco et coll., 1999; Karamanolis et coll., 2011; Moore et coll., 2009; Thomas et coll., 1994; Wong et coll., 2008). Toutefois, durant l'exercice, d'autres chercheurs ont observé que le glucose sanguin était plus élevé avec MGI que HGI aux temps 60 et 90 minutes (Kirwan, Cyr-Campbell, Campbell, Scheiber, et Evans, 2001). Pour leur part, Stannard et coll. (2000) ont mentionné que le niveau de glucose plasmatique était plus bas avec HGI qu'avec l'eau. Par contre, d'autres chercheurs ont noté une concentration de glucose plasmatique plus élevée avec HGI à la fin de l'exercice en comparaison avec LGI (Wee et coll., 2005). Finalement, d'autres études n'ont pas démontré de différences significatives entre les niveaux de glucose sanguin de HGI et LGI à la fin de l'exercice (Febbraio et coll., 2000; Moore et coll., 2010; Stevenson, Williams, Mash, Phillips, et Nute, 2006; Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999; Wu et coll., 2003).

3.2.2 L'insuline

Après la consommation d'un repas HGI comparativement à un repas LGI, les recherches ont démontré un niveau d'insuline plus élevé et une aire sous la courbe plus grande durant la

période postprandiale (DeMarco et coll., 1999; Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Karamanolis et coll., 2011; Moore et coll., 2010; Sparks et coll., 1998; Stevenson et coll., 2006; Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Pour leur part, Thomas et coll. (1994) ont observé une corrélation inverse entre l'aire sous la courbe de l'insuline et l'indice glycémique de l'aliment. Dans l'étude de Kirwan et coll. (2001), les chercheurs ont noté que la concentration d'insuline était plus élevée après la consommation de MGI et HGI, comparativement au témoin, et que cela se poursuivait pendant les 30 premières minutes de l'exercice. Par contre, d'autres études n'ont observé aucune différence significative durant l'exercice entre HGI et LGI (Stevenson et coll., 2006; Wong et coll., 2008). Dans la majorité de ces études, les chercheurs ont observé, durant les minutes suivant l'exercice, des niveaux d'insuline qui diminuaient rapidement et atteignaient les mêmes valeurs, peu importe le type d'aliments ingérés. Au début de l'exercice (aux temps 10 et 20 minutes), certaines études ont noté des niveaux d'insuline plasmatique plus élevés avec HGI comparativement avec LGI (DeMarco et coll., 1999; Sparks et coll., 1998). Par contre, d'autres études n'ont démontré aucune différence significative entre les repas durant l'exercice (Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003).

3.2.3 Le métabolisme des lipides : les acides gras libres et le glycérol

3.2.3.1 Les acides gras libres

L'insuline est un inhibiteur de la lipolyse et un stimulateur de la lipogénèse. Lorsque la quantité d'insuline est élevée, il y a davantage de chances que la libération des AGL du tissu adipeux vers la circulation sanguine soit faible (Shils et Shike, 2006). Plusieurs études ont permis d'observer une suppression des AGL circulant après l'ingestion d'un repas, et ce, tout au long de la période postprandiale. Cependant, Febbraio et coll. (2000) ont noté des concentrations d'AGL plus basses après l'ingestion d'un repas HGI en comparaison avec un repas LGI ou en situation de jeûne. D'autres études ont signalé une diminution du niveau d'AGL après l'ingestion du repas, et des concentrations d'AGL plus basses que les valeurs à jeun avec LGI et HGI (Wu et coll., 2003). Par contre, d'autres auteurs ont observé des

concentrations d'AGL plus élevées après l'ingestion d'un repas LGI en comparaison à un repas HGI (Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005).

Durant l'exercice, les chercheurs ont noté que, lorsque les niveaux d'insuline diminuaient, les niveaux d'AGL augmentaient graduellement. Toutefois, les niveaux d'AGL étaient plus élevés avec LGI qu'avec HGI (Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Sparks et coll., 1998; Stevenson et coll., 2006; Thomas et coll., 1991; Thomas et coll., 1994; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Par contre, d'autres chercheurs ont observé que les niveaux d'AGL n'étaient pas présents dans la circulation sanguine après l'ingestion d'un repas MGI et HGI en comparaison avec le protocole témoin (Kirwan et coll., 2001). À la fin de l'exercice, Wong et coll. (2008) ont observé des concentrations d'AGL plus élevées, mais d'autres ont démontré des effets différents sur les niveaux d'AGL. Cependant, Moore et coll. (2010) ont noté des concentrations d'AGL plus élevées avec HGI en comparaison avec LGI.

3.2.3.2 Le glycérol

Il a été noté dans une étude (Wu et coll., 2003) que les concentrations de glycérol plasmatique avaient des réponses similaires aux AGL plasmatiques, ce qui pouvait expliquer que l'augmentation de la disponibilité des AGL durant l'exercice était causée par la lipolyse. Pour leur part, Kirwan et coll. (1998) ont observé, au début de l'exercice, une suppression des concentrations de glycérol pour HGI et MGI, tandis que Wu et coll. (2003) ont remarqué, lors du protocole à jeun, des concentrations de glycérol plus élevées durant la période postprandiale (au temps 60 minutes), et ce, jusqu'à la fin de l'exercice. Durant l'exercice, d'autres études ont indiqué que les concentrations de glycérol plasmatique étaient plus élevées avec LGI comparativement à HGI (Stevenson et coll., 2006; Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006).

3.2.4 Le quotient respiratoire, le taux d'oxydation des glucides et le taux d'oxydation des lipides

Durant la période postprandiale, plusieurs études ont permis d'observer une augmentation du QR au-dessus du niveau basal pour LGI et HGI reflétant une augmentation dans la proportion des glucides oxydés (Wee et coll., 1999; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Par contre, lorsque les études comparaient le QR entre le protocole HGI et LGI, les résultats obtenus étaient contradictoires : soit ces études ne montraient pas de différences significatives entre les deux protocoles (Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006), soit elles montraient un QR plus bas après la consommation de LGI (Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999). Aucune étude n'a démontré un QR plus élevé après la consommation de LGI. Pour leur part, l'équipe de Thomas (Thomas et coll., 1994) a remarqué une corrélation positive entre le QR et l'indice glycémique du repas.

Lorsque les taux d'oxydation des glucides et des lipides postprandiaux ont été calculés, la plupart des études ne montraient aucune différence significative entre LGI et HGI (Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Par contre, deux études ont observé un taux d'oxydation des glucides plus bas et un taux d'oxydation des lipides plus élevé après la consommation LGI. L'équipe de Wee et coll., a observé que 49 % plus de glucides ont été oxydés avec HGI comparativement à 69 % plus de lipides qui ont été oxydés avec LGI lors de la période postprandiale (Wee et coll., 1999). Dans une autre étude (Wong et coll., 2008) il a été noté qu'après l'ingestion d'un repas LGI (au temps 0 minute), le taux d'oxydation des glucides était plus élevé que HGI, mais la différence n'était pas statistiquement significative.

Durant l'exercice, on notait une diminution progressive du QR, mais ceci n'a pas été confirmé dans toutes les études (Mondazzi et Arcelli, 2009). Cette diminution pourrait être attribuée à une réduction progressive de l'oxydation des glucides et, par conséquent, à une augmentation du taux d'oxydation des lipides (DeMarco et coll., 1999; Febbraio et Stewart, 1996; Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Wu et coll. (2006) ont noté des valeurs de QR plus basses avec LGI en comparaison avec HGI, mais ces résultats

n'étaient pas statistiquement significatifs. Par contre, l'étude de Wong et coll. (2008) n'a pas démontré une diminution du QR. D'autres auteurs ont observé un QR plus élevé avec HGI en comparaison avec LGI (DeMarco et coll., 1999; Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006). Quelques études ont démontré que la différence de valeur du QR entre LGI et HGI persiste jusqu'à la fin de l'exercice (Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999) alors que d'autres ont souligné que les valeurs du QR devenaient similaires (Wong et coll., 2008), et que pour DeMarco et ses collaborateurs, il n'y avait pas de différences significatives (DeMarco et coll., 1999).

Durant l'exercice, la plupart des études suggèrent une plus grande diminution de l'oxydation des glucides avec LGI comparativement à HGI (Febbraio et coll., 2000; Karamanolis et coll., 2011; Sparks et coll., 1998; Thomas et coll., 1991). D'autres ont permis d'observer une diminution de l'oxydation des glucides accompagnée d'une augmentation de l'oxydation des lipides avec LGI en comparaison avec HGI (Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Par contre, certains chercheurs n'ont pas noté de différences significatives en ce qui a trait au taux d'oxydation des glucides (Febbraio et Stewart, 1996) ou au taux d'oxydation des lipides entre LGI et HGI (Karamanolis et coll., 2011). Finalement, d'autres auteurs (Moore et coll., 2009) ont observé un taux d'oxydation des glucides plus élevé associé à un taux d'oxydation des lipides plus bas avec LGI en comparaison avec HGI.

3.2.5 Contenu en glycogène musculaire

La consommation d'un repas LGI avant un exercice physique permet d'augmenter l'oxydation des AGL, de diminuer l'oxydation des glucides et, par conséquent, de réduire la dépendance au métabolisme des glucides durant l'exercice (Mondazzi et Arcelli, 2009). Parce que la contribution des glucides comme carburant à un exercice intense est essentielle, un des objectifs, pour assurer une performance physique, est de maintenir des taux de glycogène et de glucose élevés durant la dernière étape de l'exercice, lorsque la disponibilité des glucides est habituellement devenue un facteur limitant (Tsintzas et Williams, 1998). Les chercheurs ont donc observé l'évolution du taux de glycogène musculaire au cours de l'exercice physique.

Febbraio et coll. (2000) ont démontré qu'il y avait un plus grand taux d'oxydation du glucose musculaire avec le protocole HGI, ce qui entraîne possiblement une augmentation de la glycogénolyse musculaire. À la fin de l'exercice, ces mêmes auteurs ont observé que les taux de glycogène musculaire avaient tendance à être plus bas avec HGI en comparaison à LGI. Pour leur part, Wee et coll. (2005) ont noté que l'utilisation du glycogène musculaire nette était plus élevée de 46 % avec HGI comparativement à LGI. Par contre, d'autres chercheurs (Kirwan et coll., 2001) ont indiqué une diminution significative du glycogène musculaire à la fin de l'exercice, mais il n'y avait aucune différence significative entre les trois protocoles en ce qui concerne le niveau de glycogène utilisé par les muscles au cours de l'exercice. Febbraio et Stewart n'ont pas démontré de différences significatives entre les trois protocoles (témoin, HGI et LGI) pour la concentration de glycogène musculaire au repos et à la fin de l'exercice (Febbraio et Stewart, 1996).

3.2.6 Temps de la performance selon le moment d'ingestion des aliments

Plusieurs méthodes ont été utilisées afin d'évaluer l'effet de la consommation d'aliments avec différents indices glycémiques sur la performance physique. L'un des premiers protocoles employés était de faire un exercice physique à une intensité définie jusqu'à l'épuisement (Kirwan et coll., 2001; Kirwan et coll., 1998; Thomas et coll., 1991; Thomas et coll., 1994; Wee et coll., 1999; Wu et Williams, 2006). Une autre méthode proposée était de réaliser une course contre la montre dans le but de recréer une situation de compétition (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Wong et coll., 2008). D'autres chercheurs ont demandé à leurs participants de compléter une épreuve de vélo d'une durée de deux heures qui était suivie d'une période à haute intensité d'une durée de 15 ou 30 minutes (Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Sparks et coll., 1998). D'autres ont choisi d'utiliser une épreuve de course qui avait une intensité et un temps déterminés (Stevenson et coll., 2006; Wee et coll., 2005; Wu et coll., 2003). Finalement, certains chercheurs ont opté pour le test d'effort progressif fait jusqu'à épuisement (Karamanolis et coll., 2011; Stannard et coll., 2000). Il est à noter que le délai entre la prise du repas et l'exécution de ces protocoles était distinct et que cela a pu avoir un impact sur la performance physique. Selon certains chercheurs (O'Reilly,

Wong, et Chen, 2010), les études où le repas était donné trois heures avant l'exercice reflétaient davantage la situation réelle de l'athlète.

Plusieurs auteurs ont observé une amélioration de la performance physique, soit une amélioration du temps de course, lorsque les participants consommaient un repas ou un aliment LGI une heure avant l'exercice physique (DeMarco et coll., 1999; Karamanolis et coll., 2011; Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010; Thomas et coll., 1991). Par contre, d'autres études n'ont pas permis de noter d'améliorations significatives de la performance physique entre LGI et HGI (Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Sparks et coll., 1998; Thomas et coll., 1994).

Des études ont aussi permis d'évaluer l'effet d'un repas MGI sur la performance physique lorsque celui-ci est consommé une heure avant l'activité physique. Deux auteurs ont observé des améliorations significatives dans la performance avec ce protocole lorsque le repas MGI était comparé au témoin (Kirwan et coll., 2001; Kirwan et coll., 1998). Par contre, ceux-ci n'ont pas trouvé de différences significatives entre le repas HGI et le repas MGI.

Plusieurs auteurs ont observé une amélioration de la performance physique lorsque les participants consommaient un repas ou un aliment LGI plus d'une heure avant l'exercice physique (Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006). Par contre, d'autres études n'ont noté aucune différence significative entre LGI et HGI pour le temps de performance (Stannard et coll., 2000; Wee et coll., 1999).

Lorsque les auteurs considéraient le niveau d'AGL dans l'amélioration de la performance, on note que trois études présentaient un taux d'oxydation des lipides plus élevé durant l'exercice et une amélioration de la performance suite à la consommation d'un repas LGI (Thomas et coll., 1991; Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006). Par contre, trois autres études n'ont pas observé ces effets (Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Wee et coll., 1999).

Tableau III: Résumé des principales études en lien avec l'indice glycémique et la performance en endurance

Études sur des aliments d'indices glycémiques différents, consommés une heure et moins avant un exercice physique par des personnes actives

Étude	Échantillon	Composition du repas	Intervalle de temps entre le repas et l'exercice	Protocole	Résultats	Augmentation de la performance	Conclusions
Thomas, Brotherhood et coll. (1991)	8 cyclistes masculins bien entraînés	1 g de glucides par kg de poids 4 aliments <ul style="list-style-type: none"> • Lentilles bouillies (LGI) • Pommes de terre cuites au four (MGI) • Glucose (HGI) • Eau (témoin) Repas accompagné de 400 ml d'eau *Les lentilles et les pommes de terre étaient servies avec 100 g de tomates (3 g de CHO).	60 min avant l'exercice	Vélo à 65-70 % VO_{2max} , jusqu'à épuisement	Maintien du glucose plasmatique, réponse glycémique et insulémique moindre et niveau plus élevé AGL durant l'exercice avec LGI. Taux d'oxydation des CHO et du QR plus bas avec LGI que HGI durant les 90 premières min d'exercice. De 45 à 60 min postprandiales, le niveau de lactate plasmatique était plus élevé pour la pomme de terre et le glucose comparativement aux lentilles et à l'eau. Durant l'exercice, aux temps 15 et 45 min, le niveau de lactate plasmatique était plus élevé avec MGI que LGI.	Prolongation du temps de la performance de 20 min avec LGI (67 % VO_{2max}).	La consommation d'aliments à indice glycémique bas avant l'exercice est un avantage pour les athlètes, car ils fournissent des glucides plus lentement, ce qui diminue les hyperinsulinémies.
Thomas, Brotherhood et coll. (1994)	6 cyclistes masculins bien entraînés	1 g de glucides par kg de poids 2 aliments et 2 repas <ul style="list-style-type: none"> • Flocons de pomme de terre (HGI) • Flocons de lentilles (LGI) • Céréales de riz (HGI) • Céréales de son (LGI) Les flocons étaient servis avec 100 g de tomates (3 g de CHO) et les céréales étaient accompagnées de 250 ml de lait (12 g de CHO).	60 min avant l'exercice	Vélo à 65-70 % VO_{2max} , jusqu'à épuisement	LGI produit une réponse du glucose et de l'insuline plasmatique moindre au repos, mais une concentration du glucose et d'AGL plus élevée à la fin de l'exercice. Relation inverse entre le glucose plasmatique et l'indice glycémique durant et après l'exercice. Corrélation négative entre l'aire sous la courbe de l'insuline et des AGL, et de l'indice glycémique. Corrélation positive entre le quotient respiratoire et l'indice glycémique.	Aucune corrélation significative entre le temps d'exercice et l'indice glycémique.	Les auteurs suggèrent que les aliments à LGI sont associés à des niveaux plus élevés de glucose et d'insuline plasmatique après plus de 90 min d'exercice. L'absorption du glucose serait maintenue après l'exercice. Les auteurs suggèrent que le niveau de glucose plus élevé pourrait être associé à une prolongation de l'endurance tel que démontré dans leur étude précédente.
Febbraio et Stewart (1996)	6 cyclistes masculins bien entraînés	1 g de glucides par kg de poids 3 aliments <ul style="list-style-type: none"> • Jell-O sans sucre (témoin) 	45 min avant l'exercice	Vélo à 70 % du VO_{2max} pendant 2 h, suivi de 15 min à intensité	Concentration du glucose plasmatique et insuline postprandiale sont plus élevées avec HGI en comparaison avec LGI et témoin.	Aucune différence significative quant au temps	Les auteurs suggèrent que l'ingestion de glucides avant l'exercice, peu importe l'indice glycémique de celui-

		<ul style="list-style-type: none"> Pomme de terre (HGI) Lentilles (LGI) 		<p>élevée</p> <p>Biopsie musculaire (vastus lateralis) effectuée avant et après l'exercice</p>	<p>Concentration d'AGL plus basse durant l'exercice lors du protocole HGI comparativement à LGI.</p> <p>Pas de différence significative entre les 3 protocoles pour la concentration du glycogène musculaire au repos et à la fin de l'exercice.</p> <p>Aucune différence significative entre les 3 protocoles pour le lactate sanguin.</p>	de la performance entre les 3 protocoles.	ci, n'influence pas le taux d'utilisation du glycogène musculaire. L'augmentation de l'oxydation des CHO résulte de l'augmentation de la captation cellulaire et l'oxydation subséquente, du nouveau glucose sanguin causé par l'élévation de l'insuline et une diminution des AGL circulant.
Sparks, Selig et Febbraio (1998)	8 triathlètes masculins bien entraînés	<p>1 g de glucides par kg de poids</p> <p>3 aliments</p> <ul style="list-style-type: none"> Lentilles (LGI) (IG=29) Purée de pommes de terre (HGI) (IG=80) Boisson gazeuse diète (témoin) <p>Volume total du repas qui a été complété avec de l'eau jusqu'à 600 ml. Déjeuner pris 4 h avant l'arrivée au laboratoire (430 ml de polymère de glucose = 100 g de glucides).</p>	45 min avant l'exercice	Vélo à 67 % VO _{2max} pour 50 min, suivi de 15 min à intensité élevée	<p>Concentration du glucose et de l'insuline plasmatique plus élevée à 15 et 30 min avant l'exercice avec HGI en comparaison avec le témoin et LGI. Durant l'exercice, le glucose plasmatique était plus bas avec HGI comparativement à LGI et témoin aux temps 10 et 20 min, et l'insuline plasmatique plus élevée à ces mêmes temps pour HGI en comparaison avec LGI.</p> <p>Au début de l'exercice et aux temps 10 et 20 min, la concentration d'AGL était plus élevée avec le témoin comparativement à LGI et HGI. Aux temps 20 et 50 min, la concentration d'AGL était plus élevée avec LGI en comparaison avec HGI.</p> <p>Oxydation des CHO plus élevée avec HGI comparativement à LGI et témoin.</p>	Pas de différence significative dans le total de travail produit durant les 15 min finales.	Selon les auteurs, les valeurs obtenues indiquent que les aliments HGI consommés avant l'exercice provoquent une hyperglycémie et une hyperinsulinémie. Ceci a comme conséquence d'entraîner une hypoglycémie causée par l'insuline et une réduction de la disponibilité des AGL accompagnée d'une augmentation de l'oxydation des CHO.
Kirkwan, O'Gorman et Evans (1998)	6 femmes actives de façon récréative	<p>1,3 g de glucides par kg de poids* 2 repas à indice glycémique modéré (60-70) contenant 75 g de glucides</p> <ul style="list-style-type: none"> Flocons d'avoine à grains entiers sucrés (MGI) Farine d'avoine entière sucrée (MGI) 300 ml d'eau (témoin) <p>Composition du repas en macronutriments idem, mais teneur en fibres et viscosité différentes. Farine d'avoine 50 % moins visqueuse que les flocons d'avoine.</p> <p>Teneur en fibres des flocons : 6,8 g Teneur en fibres de la farine : 3,1 g</p>	45 min avant l'exercice	<p>Vélo à 60 % du VO_{2max} jusqu'à épuisement.</p> <p>Rémunération de 250 \$ si les participants roulaient plus de 90 min et 1 \$ supplémentaire à chaque min additionnelle</p> <p>Biopsie musculaire (vastus lateralis) effectuée avant le repas et après l'exercice</p>	<p>Durant l'exercice, aux temps 90 et 120 min QR était plus élevé pour les 2 repas en comparaison avec le témoin.</p> <p>Augmentation significative du glucose et de l'insuline plasmatique postprandiale. Au début de l'exercice, la concentration d'insuline était plus basse lors du repas avec flocons que celui de la farine. La réponse à l'insuline était significativement plus élevée au début de l'exercice pour les 2 repas.</p> <p>Durant les 30 premières minutes de l'exercice, concentration du glucose diminue rapidement pour les 2 repas comparativement avec le témoin.</p> <p>Le glycogène musculaire a diminué significativement à la fin de l'exercice dans les</p>	Amélioration de la performance de 16 % avec les flocons d'avoine et de 10 % avec la farine d'avoine en comparaison avec le témoin. Cette amélioration était significative pour les flocons d'avoine en comparaison avec le témoin.	Les auteurs suggèrent que l'ingestion d'un repas à indice glycémique modéré 45 min avant l'exercice améliore le temps à l'exercice. Ils suggèrent la consommation d'un petit repas avec un contenu élevé en fibres et avec un indice glycémique modéré avant un exercice aérobique prolongé.

		<p>Les participants devaient être présents au centre de recherche pendant 2 jours et 3 nuits avant chaque essai.</p> <p>Deux jours avant le test, ils devaient consommer une diète contenant 60 % de CHO, 25 % de lipides, 15 % de protéines et faire 45 min de vélo à 50 % VO_{2max}.</p> <p>*calculé selon le poids moyen des participants : 57,1 ± 2,8 kg</p>			<p>3 tests.</p> <p>Durant les 60 premières min de l'exercice, la concentration d'AGL circulant a été supprimée pour les flocons d'avoine et jusqu'à 90 min pour la farine d'avoine.</p> <p>La concentration de glycérol a été supprimée au début de l'exercice pour les 2 repas.</p>		
Demarco, Sucher et coll. (1999)	10 cyclistes masculins entraînés	<p>1,5 g de glucides par kg de poids</p> <p>3 repas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corn Flakes^{MC}, banane et lait faible en gras (HGI) (IG=69,3) • All-Bran^{MC}, pommes et yogourt sans sucre (LGI) (IG=36) • Eau (témoin) <p>Les auteurs notent une différence entre les repas en ce qui a trait aux contenus en protéines et en lipides.</p> <p>Répartition identique des macronutriments dans les repas (55 % CHO, 30 % lipides et 15 % protéines).</p>	30 min avant l'exercice	<p>Vélo à 70 % VO_{2max} durant 2h suivi d'une performance à 100 % du VO_{2max} jusqu'à épuisement</p>	<p>Niveau glucose plasmatique plus élevé avec LGI et HGI comparativement au témoin à 15 min postprandiales. HGI démontre une plus grande réponse glycémique avant l'exercice et un plus grand déclin de celui-ci durant les 20 premières minutes à l'exercice.</p> <p>Durant l'exercice au temps 120 min et à la fin de l'exercice, le niveau de glucose plasmatique était plus élevé avec LGI en comparaison avec HGI et témoin.</p> <p>Niveau d'insuline plasmatique plus bas avec LGI à 15 et 30 min postprandiales en comparaison avec HGI. Durant l'exercice, au temps 20 min, le niveau d'insuline était plus élevé chez HGI que LGI et témoin.</p> <p>QR plus élevé durant les 100 premières min de l'exercice avec HGI comparativement à LGI et témoin.</p>	Temps à l'épuisement plus long avec LGI en comparaison avec HGI et témoin.	Les aliments LGI augmenteraient la disponibilité du glucose sanguin exogène via une source de glucose lentement délivré qui pourrait suppléer les réserves endogènes adéquatement, assez pour améliorer la performance durant l'exercice maximal. Les auteurs suggèrent donc que leurs observations supportent l'utilisation de LGI durant les compétitions matinales.
Febbraio, Keenan, Angus et coll. (2000)	8 cyclistes masculins entraînés	<p>1 g de glucides par kg de poids</p> <p>3 repas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purée de pommes de terre (IG=80) • Muesli avoine et blé (IG=52) • Jell-O^{MC} diète (témoin) <p>Volume total repas complété avec de l'eau jusqu'à 600 ml.</p>	30 min avant l'exercice	<p>Vélo à 70 % VO_{2max} pendant 120 min, suivi de 30 min à maximum de puissance</p> <p>Biopsie musculaire (vastus lateralis) avant, durant (au temps 20 min) et après l'exercice</p>	<p>Concentrations du glucose et d'insuline plasmatique étaient plus élevées avec HGI à 30, 20 et 10 min postprandiales. Durant l'exercice, la concentration du glucose plasmatique était plus basse à 15 et 30 min comparativement à LGI et témoin.</p> <p>La concentration d'AGL plus basse avec HGI en comparaison avec LGI et témoin à 20 et 30 min postprandiales et durant l'exercice.</p> <p>Le taux et le total de CHO oxydés étaient plus élevés avec HGI comparativement à LGI et témoin.</p> <p>Le glucose oxydé calculé est plus élevé dans</p>	Pas de différence significative entre les 3 essais sur le travail produit durant les dernières 30 min.	Selon ces auteurs, le taux d'oxydation des CHO après l'ingestion d'un repas contenant des CHO est influencé par l'indice glycémique. Les aliments à indice glycémique bas fournissent une réponse métabolique plus stable.

					HGI en comparaison avec LGI et témoin. Le glycogène a tendance à être plus bas à 120 min dans HGI comparativement à LGI et témoin.		
Kirwan, Campbell, Scheiber et coll. (2001)	6 hommes actifs	0,93 g de glucides par kg de poids* Repas contenant 75 g de glucides <ul style="list-style-type: none"> Flocons d'avoine à grains entiers + 300 ml d'eau (MGI) (IG=61) Riz soufflé + 300 ml d'eau (HGI) (IG=82) 300 ml d'eau (témoin) <p>Deux jours avant le test, les participants devaient consommer une diète contenant 60 % de CHO, 25 % de lipides, 15 % de protéines et faire 45 min de vélo à 50 % VO_{2max}.</p> <p>Les participants devaient être présents au centre de recherche pendant 2 jours et 3 nuits avant chaque essai.</p> <p>*Calculé selon le poids moyen des participants: 80,4 ± 3,7 kg</p>	45 min avant l'exercice	Vélo à 60 % du VO _{2max} jusqu'à épuisement. Rémunération de 250 \$ si les participants roulaient plus de 90 min et 1 \$ supplémentaire à chaque min additionnelle Biopsie musculaire (vastus lateralis) effectuée avant le repas et après l'exercice	Le glucose plasmatique était plus élevé avec HGI à 15, 30 et 45 min postprandiales que témoin. HGI était plus élevé que MGI à 30 min postprandiales et MGI était plus élevé 15 et 30 min postprandiales que témoin. À l'exercice, le niveau de glucose était plus élevé avec HGI que témoin. Aux temps 60 et 90 min, MGI plus élevé que HGI. L'insuline plasmatique de MGI et HGI était plus élevée que témoin à 15, 30 et 45 min postprandiales. Au début de l'exercice, l'insuline était plus élevée pour MGI et HGI que témoin, mais retourne aux valeurs d'avant repas après 30 min d'exercice. Le niveau AGL circulant était supprimé avant l'exercice physique pour MGI et HGI et il était resté supprimé aux temps 30, 60 et 120 min à l'exercice pour MGI et HGI comparativement à témoin. À la fin de l'exercice, diminution significative du glycogène musculaire, mais aucune différence significative dans le total du glycogène musculaire entre les 3 essais. L'oxydation totale des CHO était plus élevée pour MGI que témoin. Association significative entre l'oxydation totale des CHO et le temps de performance.	Temps de la performance plus long avec MGI que témoin (23 %) et HGI que témoin (5 %). Aucune différence significative entre HGI et MGI.	L'ingestion d'un déjeuner à indice glycémique modéré 45 minutes avant le début d'un exercice peut améliorer le temps de performance en comparaison avec le témoin, entre autres grâce au niveau plus élevé de glycémie et d'oxydation des glucides durant l'exercice. Par contre, l'ingestion d'un déjeuner à indice glycémique élevé n'améliore pas les performances.
Moore, Midgley et coll. (2009)	8 cyclistes masculins entraînés	1 g de glucides par kg de poids 2 repas <ul style="list-style-type: none"> Corn Flakes^{MC} + lait semi-écrémé (HGI) (IG=72) Bran Flakes^{MC} + lait semi-écrémé (LGI) (IG=30) <p>Repas avec les mêmes répartitions énergétiques. Volume total du repas complété avec de l'eau jusqu'à 650 ml.</p>	45 min avant l'exercice	5 min d'échauffement à 50 W + 40 km de course contre la montre Eau à volonté durant le premier test, mais les participants devaient en prendre la	La concentration de glucose sanguin plus élevée chez HGI comparativement à LGI au début de l'exercice (temps 0). Au moment de l'épuisement, la concentration de glucose était plus élevée chez LGI comparativement à HGI. Le taux d'oxydation des CHO de LGI plus élevé que HGI tout au long de l'exercice. À l'exercice, le taux d'oxydation des lipides de HGI plus élevé que LGI aux temps 40 et 60 min.	Le temps de course avec LGI plus rapide qu'avec HGI.	L'ingestion de repas avec LGI peut améliorer la performance en comparaison avec un repas HGI. Dans leur discussion, les auteurs indiquent que la plus grande oxydation des glucides observés dans LGI suggère que le repas peut avoir contribué à une oxydation additionnelle des glucides et subséquemment épargner les réserve de glycogène

				même quantité lors du second test.	QR était plus élevé chez LGI en comparaison avec HGI durant l'exercice. Pas de différence significative quant à la concentration du lactate sanguin entre LGI et HGI.		musculaire et hépatique, et ainsi contribuer à l'amélioration des performances avec LGI.
Moore, Midgley et coll. (2010)	10 cyclistes masculins entraînés	1 g de glucides par kg de poids 2 repas <ul style="list-style-type: none"> • Corn Flakes^{MC} + lait semi-écrémé (IG=72) • Bran Flakes^{MC} + lait semi-écrémé (IG=30) Repas avec les mêmes répartitions énergétiques. Volume total repas complété avec de l'eau jusqu'à 650 ml.	45 min avant l'exercice	5 min d'échauffement à 50 W + 40 km de course contre la montre Aucun protocole témoin	Le glucose plasmatique était plus élevé avec HGI au début de l'exercice (temps 0) comparativement à LGI. Durant l'exercice, pas de différence significative entre les tests pour le glucose plasmatique. La concentration de l'insuline plasmatique était plus élevée après l'ingestion HGI qu'après LGI. La concentration d'AGL était plus élevée avec HGI que LGI à la fin de l'exercice. QR plus élevé avec LGI en comparaison avec HGI de 20 min à l'exercice jusqu'à la fin.	Le temps de course avec LGI était plus bas qu'avec HGI.	La consommation d'un repas LGI, peut améliorer la performance en comparaison avec HGI. Les auteurs suggèrent que l'ingestion d'un repas LGI peut entraîner une augmentation de la disponibilité des CHO et une plus grande oxydation des CHO à travers la période de l'exercice. Selon eux, ces facteurs combinés avec une vidange gastrique retardée du glucose ingéré pourraient épargner la glycémie sanguine, ce qui faciliterait le soutien de la production de l'énergie durant l'exercice.
Karamanolis, La paridis, Volaklis et coll. (2011)	9 coureurs masculins occasionnels	1 g de glucides par kg de poids 3 aliments <ul style="list-style-type: none"> • Lentilles bouillies (LGI) (IG=29) • Pommes de terre bouillies (HGI) (IG=83) • Aspartame 0,05g/kg (placebo) Volume du repas complété à 400 ml avec de l'eau.	15 min avant l'exercice	Course pour 5 min à 60 % VO _{2max} , 45 min à 70 % VO _{2max} et 80 % VO _{2max} jusqu'à épuisement	Le glucose plasmatique était plus élevé durant HGI à 15 min postprandiales comparativement à LGI et placebo. À la fin de l'exercice, le glucose était plus élevé dans LGI en comparaison avec HGI et placebo. Au début de l'exercice, la concentration d'insuline avec HGI augmentait rapidement et était plus élevée que placebo. Durant l'exercice, de 60 min jusqu'à l'épuisement, le niveau glycérol était plus élevé dans HGI que placebo. Durant l'exercice, le taux d'oxydation des CHO était plus élevé avec HGI que LGI à 30 et 45 min et à placebo à 30 min. Les valeurs moyennes de l'oxydation des CHO étaient plus élevées avec HGI que placebo et LGI. Pas de différence significative entre les 3 essais pour l'oxydation des lipides durant l'exercice. À l'exercice, VO _{2max} était plus élevé avec HGI comparativement au placebo, et ce, de 45 min jusqu'à épuisement	Le temps de course fait jusqu'à épuisement était 23,3 % significativement plus long avec LGI que le placebo.	Les auteurs suggèrent que les lentilles améliorent la capacité en endurance à la course si elles sont consommées 15 min avant l'exercice. LGI peut aider à maintenir un niveau de glucose sanguin plus élevé à la fin d'un exercice prolongé, prévenir les hyperinsulinémies et les hyperglycémies postprandiales, et serait susceptible d'avoir une meilleure libération du glucose au cours de l'exercice.

Études sur les aliments d'indices glycémiques différents, consommés plus d'une heure avant un exercice physique par des personnes actives

Étude	Échantillon	Composition du repas	Intervalle de temps entre le repas et l'exercice	Protocole à l'exercice	Résultats	Augmentation de la performance	Conclusions
Wee, Williams, Gray et coll. (1999)	5 hommes 3 femmes (n=8) Coureurs pour le loisir	2 g de glucides par kg de poids Même répartition en macronutriments entre les repas 2 repas <ul style="list-style-type: none"> • Lentilles bouillies (LGI) • Pommes de terre rôties, thon, maïs sucré, <i>crumpet</i> rôti, et miel (HGI) <p>Les participants devaient consommer entre 400 et 800 ml de liquide non sucré avec le repas pour avoir le même volume gastrique.</p>	3 h avant l'exercice	Course à 70 % du VO _{2max} jusqu'à épuisement sur un tapis roulant.	<p>Le glucose sanguin était plus élevé à 15, 30 et 60 min postprandiales avec HGI. Par contre, pas de changement significatif en ce qui concerne LGI.</p> <p>À l'exercice, la concentration de glucose sanguin était au même niveau avant l'exercice avec LGI. À 20 min, HGI était diminué en-dessous des valeurs du début de l'exercice.</p> <p>La concentration d'insuline était plus élevée durant HGI que durant LGI pendant la période postprandiale. Au début de l'exercice, la concentration d'insuline était 210 % plus élevée que les valeurs à jeun pour HGI et 96 % plus élevée qu'à jeun pour LGI.</p> <p>La concentration de lactate durant HGI était plus élevée que LGI 1 h postprandiale.</p> <p>Les concentrations d'AGL et de glycérol étaient plus élevées avec LGI que HGI durant la période postprandiale. À l'exercice, le glycérol et les AGL étaient plus élevés durant LGI que HGI.</p> <p>Le taux d'oxydation des CHO était plus élevé après HGI durant la période postprandiale. Au début de l'exercice, 49 % plus de glucides étaient oxydés durant HGI et 69 % plus de lipides étaient oxydés durant LGI.</p> <p>À l'exercice, la quantité totale de CHO utilisée était plus élevée avec HGI que LGI. Durant les premières 80 min à l'exercice</p>	Pas de différence significative dans le temps fait à l'épuisement.	<p>L'ingestion d'un repas avec HGI ou LGI 3 heures avant l'exercice résulte en une capacité de course à l'endurance similaire.</p> <p>Le repas à HGI entraînait un changement dans l'utilisation des substrats des glucides aux lipides durant l'exercice.</p>

					pour LGI, l'oxydation des CHO était 12 % plus basse et l'oxydation des lipides était plus élevée de 118 % qu'avec HGI.		
Stannard, Thompson et Miller (2000)	10 cyclistes masculins entraînés	1 g de glucides par kg de poids 3 repas <ul style="list-style-type: none"> • 400 ml glucose (HGI) (IG=100) • Pâtes alimentaires (LGI) (IG=41) • 400 ml de limonade diète sucrée avec du NutraSweet^{MC} (placebo) 	65 min avant l'exercice	Vélo à haute intensité. Début de l'exercice à 50 watts et augmentation de 50 watts toutes les 3 min jusqu'à ce que les participants ne puissent plus maintenir la cadence. Au moins 2 jours d'intervalle entre les tests et les participants doivent s'entraîner légèrement 2 jours avant le test.	La concentration de glucose plasmatique était plus élevée à 15, 30, 45 et 60 min après l'ingestion HGI comparativement au placebo. Le point le plus élevé postprandial était à 30 min pour HGI et 45 min pour LGI. Durant l'exercice, la concentration de glucose plasmatique était plus basse avec LGI que HGI à 250 et 300 watts. De 200 à 400 watts (épuisement pour la plupart des participants), le glucose plasmatique était plus bas avec HGI comparativement au placebo. Après 60 min postprandiales, le lactate plasmatique était 50 % et 11 % plus élevé que le placebo pour HGI et LGI respectivement. À l'exercice, le lactate plasmatique était plus élevé avec HGI que LGI de 0 à 100 watts et il était plus élevé de 200 watts jusqu'à épuisement pour HGI comparativement au placebo.	Pas de différence significative dans le temps à l'exercice.	La consommation d'un repas HGI 65 min avant un test d'effort progressif n'a pas d'effet sur la performance maximale. Cependant, les auteurs ont observé une diminution du glucose plasmatique et une augmentation du lactate plasmatique durant l'exercice en comparaison avec le placebo.
Wu, Nicholas et coll. (2003)	9 coureurs masculins pour le loisir	2 g de glucides par kg de poids 3 repas <ul style="list-style-type: none"> • Corn Flakes^{MC}, lait 0 %, confiture, pain blanc, une boisson élevée en glucides et de l'eau (HGI) (IG=77,4) • All Bran^{MC}, lait 0 %, pêches, pommes et jus de pomme (LGI) (IG=36,9) • Eau, pour obtenir le même volume que durant HGI et LGI (témoin) 	3 h avant l'exercice	Course à 65 % VO _{2max} pendant 60 min sur un tapis roulant.	La concentration du glucose plasmatique était plus élevée 15, 30 et 60 min postprandiales dans HGI comparativement à LGI et témoin et à 15 min seulement en comparaison avec le témoin. À l'exercice, à 15 min, HGI était plus bas que LGI et témoin. Aux temps 30 et 45 min, HGI était plus bas que témoin. La concentration d'insuline était plus élevée avec HGI et LGI durant la période postprandiale que le témoin. Aux temps 90 et 120 min, la concentration d'insuline était plus élevée dans HGI que LGI. À l'exercice, pas de différence significative entre les essais. La concentration d'acides gras non estérifiés était plus élevée avec témoin en comparaison HGI et LGI du temps 60 min postprandial, et ce, jusqu'à la fin de l'exercice. À l'exercice, la concentration d'acides gras non estérifiés était plus élevée avec LGI que HGI aux	Pas mesuré	Selon les auteurs, l'ingestion d'un repas avant l'exercice entraîne un plus bas taux d'oxydation des lipides durant des exercices subséquents que lorsque le sujet performe à jeun. La consommation d'un repas LGI avant l'exercice résulte en un plus grand taux d'oxydation des lipides durant l'exercice comparé à HGI.

					<p>temps 30, 45 et 60 min.</p> <p>La concentration de glycérol était plus élevée au temps 60 min à l'exercice avec LGI comparativement à HGI.</p> <p>La concentration de lactate était plus élevée dans LGI de 0 à 120 min postprandiales comparativement à HGI.</p> <p>La quantité totale de CHO oxydé était plus élevée durant la période postprandiale dans HGI et LGI comparativement au témoin. La quantité totale de lipides oxydés était plus basse avec HGI et LGI en comparaison avec le témoin.</p> <p>Durant l'exercice, le taux d'oxydation des CHO était plus élevé dans HGI comparativement au témoin et LGI. Par contre, le taux d'oxydation des lipides était plus élevé avec témoin que HGI et LGI, et ce taux était plus élevé dans LGI que HGI pour cette même période.</p>		
Wee, Williams et coll. (2005)	7 coureurs masculins pour le loisir	<p>2,5 g de glucides par kg de poids</p> <p>2 repas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corn Flakes^{MC}, lait 0 %, pain blanc, confiture de framboises, boisson élevée en glucides, eau (HGI) (IG=80) • Bran Flakes^{MC}, lait 0 %, pêches en conserve, pommes et jus de pomme (LGI) (IG=36) <p>Les repas avaient la même répartition en glucides, protéines et lipides, ainsi que le même volume.</p>	3 h avant l'exercice	<p>Course à 70 % du VO_{2max} pendant 30 minutes sur un tapis roulant.</p> <p>Intervalle de 14 jours entre les essais.</p> <p>Biopsie musculaire (vastus lateralis) au repos, 3 h après repas et après l'exercice.</p>	<p>La concentration de glucose postprandiale était plus élevée aux temps 30, 60 et 120 min avec HGI comparativement à LGI. Au temps 10 min durant l'exercice, elle était plus basse avec HGI en comparaison avec LGI. � la fin de l'exercice, le glucose était plus élevé avec HGI comparativement à LGI.</p> <p>La concentration d'insuline était plus élevée tout au long de la période postprandiale avec HGI en comparaison avec LGI.</p> <p>La concentration du glucagon plasmatique était plus élevée avec LGI que HGI durant la période postprandiale.</p> <p>Le ratio glucagon-insuline était plus élevé durant la période postprandiale et à l'exercice avec LGI comparativement à HGI.</p> <p>La concentration d'AGL était plus élevée aux temps 15, 30 et 60 min postprandiales et tout le long de l'exercice avec LGI en comparaison avec HGI.</p>	Pas mesuré	Les auteurs ont conclu que le repas HGI entraînait un plus grand stockage de glycogène musculaire que LGI après une nuit à jeun et lorsque les participants avaient une concentration de glycogène normale avant le test. Durant les 30 min de l'exercice, le changement relatif dans les substrats du métabolisme des glucides aux lipides après l'ingestion de LGI en comparaison avec HGI était accompagné par une diminution du taux d'utilisation du glycogène musculaire, mais pas de diminution pour l'oxydation du glucose sanguin.

					<p>La concentration de lactate était plus élevée pour LGI que HGI (durant les 3 h période postprandiale). À l'exercice, les valeurs moyennes du QR et du lactate sanguin étaient plus basses avec LGI que HGI. Durant l'exercice, la quantité totale d'oxydation des CHO était 12 % plus basse durant LGI comparativement à HGI accompagné d'une augmentation de l'oxydation des gras.</p> <p>L'utilisation nette du glycogène musculaire était plus élevée de 46 % avec HGI en comparaison avec LGI.</p>		
Wu et Williams (2006)	8 coureurs masculins pour le loisir	<p>2 g de glucides par kg de poids</p> <p>2 repas</p> <ul style="list-style-type: none"> Corn Flakes^{MC}, lait 0 %, pain blanc, confiture et boisson glucosée (HGI) (IG=77) All Bran^{MC}, lait 0 %, pêches, pommes et jus de pomme (LGI) (IG=37) <p>Même répartition des macronutriments dans les 2 repas.</p>	3 h avant l'exercice	<p>Course à 70 % VO_{2max} jusqu'à épuisement sur un tapis roulant.</p> <p>Les participants peuvent diminuer leur vitesse de course à 5 min pendant 2 min lorsqu'ils sont épuisés. Par la suite, retour à une cadence de 70 % du VO_{2max} pour terminer leur course.</p>	<p>La concentration du glucose plasmatique était plus élevée avec HGI comparativement à LGI aux temps 30, 60 et 90 min postprandiales. Durant l'exercice, le glucose plasmatique était aussi plus élevé avec LGI de 0 à 30 min que HGI.</p> <p>La concentration d'insuline était plus élevée avec HGI en comparaison avec LGI aux temps 30, 60, 90 et 120 min postprandiales.</p> <p>Durant l'exercice, la concentration d'AGL était plus élevée avec LGI que HGI. La concentration de glycérol plasmatique était plus élevée durant LGI aux temps 45, 60 et 90 min et à la fin comparativement à HGI.</p> <p>La concentration de lactate était plus élevée après l'ingestion LGI aux temps 15, 30, 60 et 90 min.</p> <p>Le QR était plus élevé de 0 à 90 min durant l'exercice avec HGI en comparaison avec LGI.</p> <p>Durant l'exercice, le taux d'oxydation des lipides était plus élevé avec LGI aux temps 15, 45, 60, 75 et 90 min en comparaison à HGI. Le taux d'oxydation des CHO était plus bas avec LGI à cette même période.</p>	Temps de course moyen plus long avec LGI en comparaison à HGI.	L'ingestion d'un repas avec LGI 3 h avant l'exercice résulte en une plus grande capacité à l'endurance que HGI. Selon les auteurs, cela serait dû à un plus grand taux d'oxydation des gras et au maintien de la glycémie durant l'exercice avec LGI.
Stevenson, Williams, Mash et coll.	8 femmes actives	<p>2 g de glucides par kg de poids</p> <p>2 repas</p>	3 h avant l'exercice	Course à 65 % VO_{2max} pendant 60 min.	<p>La concentration du glucose sanguin était plus élevée avec HGI aux temps 15, 90 et 120 min postprandiales comparativement à LGI, mais pas de différence significative</p>	Pas mesuré	La quantité totale de lipides oxydés durant l'exercice était plus grande avec LGI que HGI.

(2006)		<ul style="list-style-type: none"> • Corn Flakes^{MC}, lait 0 %, pain blanc, margarine, confiture, boisson avec glucides (HGI) (IG=78) • Muesli, lait 0 %, pommes, pêches en conserve, yogourt, jus de pomme (LGI) (IG=44) <p>Les deux repas avaient 72 % de glucides, 11 % de lipides et 17 % de protéines, et avaient une teneur en fibres différentes (1,5 g vs 6,5 g).</p>			<p>durant l'exercice.</p> <p>La concentration d'insuline est plus élevée avec HGI aux temps 30, 60, 90 et 120 min postprandiales comparativement à LGI. Aucune différence significative durant l'exercice.</p> <p>La concentration d'AGL était plus élevée avec LGI durant la période d'exercice.</p> <p>Le lactate plasmatique était plus élevé à 15, 30, 60 min postprandiales avec LGI en comparaison avec HGI.</p> <p>Durant l'exercice, le taux d'oxydation des lipides était plus élevé avec LGI comparativement à HGI, mais l'oxydation des CHO était plus élevée avec HGI que LGI ainsi que la quantité totale de CHO oxydée.</p> <p>La concentration de glycérol était plus élevée à 30 et 45 min durant l'exercice LGI en comparaison avec HGI.</p>		
Wong, Siu, Chen et coll. (2008)	8 coureurs masculins entraînés	<p>1,5 g de glucides par kg de poids</p> <p>2 repas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pomme de terre cuite au four avec margarine, sauce tomate, fromage léger, Rice Krispies^{MC} et un 7UP^{MC} (HGI) (IG=77) • Macaroni, pomme tranchée, pois chiches en tranches, fromage léger, yogourt aux fruits et jus de pomme (LGI) (IG=37) <p>La même répartition des macronutriments pour les 2 repas (65 % de glucides, 15 % de protéines, 20 % de lipides).</p> <p>500 ml d'eau consommés 2 h avant le test</p>	2 h avant l'exercice	Course contre la montre de 21 km sur un tapis roulant.	<p>La concentration du glucose était plus élevée avec HGI comparativement à LGI pour les temps 15, 30 et 45 min postprandiales, et LGI était plus élevée que HGI aux temps du 5^e km et du 21^e km de course.</p> <p>La concentration d'insuline de HGI était plus élevée au cours des 2 h postprandiales comparativement à LGI.</p> <p>La concentration d'AGL était plus élevée avec LGI à la fin de l'exercice en comparaison avec HGI.</p> <p>La concentration de glycérol durant l'exercice à 10 et 21 km était plus élevée avec LGI que HGI. Le QR était significativement plus bas avec LGI comparativement à HGI aux temps 5 et 10 km.</p> <p>Le taux d'oxydation des CHO était plus bas dans LGI que HGI 1h postprandiale et à l'exercice au 5^e et 10^e km. Le taux d'oxydation des lipides était plus bas</p>	Le temps de course était 2,8 % plus rapide avec LGI que HGI.	La consommation d'un repas LGI, 2 h avant une course de 21 km, était plus efficace pour améliorer le temps de course comparativement au repas HGI. Cela a entraîné un changement dans l'utilisation du substrat des glucides aux lipides et à une concentration de glucose sanguin plus élevée qui a été maintenue au cours de l'exercice avec LGI.

					<p>(aux temps 1 h postprandiale) avec HGI comparativement à LGI et à jeun. La quantité totale de CHO utilisée était plus basse de 9,5 % comparativement à HGI durant l'exercice. La quantité de lipides utilisée était 17,9 % plus élevée avec HGI que LGI durant l'exercice.</p> <p>La fréquence cardiaque était plus élevée au 15^e et 21^e km avec LGI en comparaison avec HGI.</p>		
--	--	--	--	--	--	--	--

Tableaux adaptés du livre *Clinical sport nutrition*, 3^e édition, Louise Burke et Vicky Deakin (2006)

Note : VO_{2max} = consommation maximale d'oxygène, LGI = indice glycémique bas, HGI = indice glycémique élevé, MGI = indice glycémique moyen, AGL = acides gras libres, QR = quotient respiratoire, CHO = glucide

3.2.7 Conclusions :

La majorité des études sur le sujet vont dans le même sens : l'ingestion d'aliments à IG bas avant un exercice diminuera la réponse glycémique postprandiale et la glycémie serait soutenue tout au long de l'exercice. Par contre, d'autres études doivent être faites sur le sujet pour confirmer si l'ingestion d'aliments LGI améliorerait la performance physique soit le temps de courses. En effet, la plupart des études présentées dans la revue de littérature ont des protocoles très différents l'un de l'autre (ex : temps d'ingestion du repas, type d'exercices, etc.) ce qui peut influencer les résultats obtenus autant au niveau métabolique que la performance physique. De plus, les protocoles d'épuisement utilisés dans ces études ne reflètent pas toujours la réalité compétitive des coureurs. En effet, dans le milieu du cyclisme et de la course à pied, les événements sont souvent des courses contre la montre ce qui implique que les participants atteignent rarement des niveaux de consommation maximale d'oxygène. Par conséquent, le protocole proposé par notre projet de recherche sera une course contre la montre tel que pratiqué dans les événements sportifs. La majorité des études dans le domaine utilisent des temps différents d'ingestion avant les protocoles d'épuisement (15, 30 et 45 minutes, 1, 2 et 3 heures) ce qui peut influencer la glycémie durant l'exercice et la performance obtenue. En effet, les études qui ont été réalisées avec un court temps d'ingestion avant les protocoles (15 à 45 min) ont des niveaux de glucose sanguin plus élevés à la fin de l'exercice avec LGI comparativement à HGI. De plus, ces études ont aussi démontré une amélioration de la performance physique (durée de l'effort et temps de course) lorsque les niveaux de glucose sanguin étaient plus élevés à la fin de l'exercice. Par contre, ceci a été plus difficile à valider lorsque le participant consommait l'aliment deux à trois heures avant l'exercice. En effet, durant ces protocoles, les chercheurs ont observé que l'augmentation du niveau de glucose sanguin à la fin de l'exercice et l'amélioration de la performance était souvent non significatifs. De plus, il est à noter que la consommation d'un repas 15 à 45 minutes avant un exercice physique ne reflète pas la réalité de l'athlète et cette pratique n'est pas suggérée par les divers organismes spécialisés en nutrition sportive (ACSM, DC et CIO). Par exemple, le CIO recommande de consommer un repas contenant 1 gramme de glucides

par kg de poids, une heure avant un exercice physique (CIO, 2003). Les études recensées qui utilisaient un protocole d'épuisement 45 minutes avant l'exercice donnaient entre 1 à 1,3 grammes de glucides avant l'exercice physique. Ceci ne respecte pas les recommandations du CIO car la quantité de glucides est plus élevée. Pour notre étude, nous avons voulu présenter une méthodologie qui respecte les recommandations de divers organismes spécialisés en nutrition sportive et qui par conséquent, influencent les pratiques des athlètes. Donc, nous avons proposé que les participants ingèrent 3 grammes de glucides par kg de poids, 3 heures avant une course contre la montre afin de suivre les recommandations mentionnées précédemment (Burke et coll. (2011), CIO (2003 et 2010)).

Les études réalisées jusqu'à maintenant impliquaient un nombre limité de participants (de six à dix participants) ce qui peut nuire à la puissance statistique des résultats. Notre étude proposera un échantillonnage de participants plus grand que nos prédécesseurs. Finalement, la majorité des études proposées ne contrôlaient pas l'alimentation des participants avant chacun des protocoles et aucune nutritionniste n'a été mandatée pour évaluer les habitudes alimentaires des cyclistes les jours précédant la course. Les changements d'habitudes alimentaires effectués avant un protocole, pourraient affecter les réserves en glycogène du participant et ainsi influencer les résultats obtenus. Par exemple, une surcharge en glycogène effectuée deux jours avant le protocole peut améliorer significativement l'endurance du participant et ainsi améliorer ses temps de courses. Pour éviter un tel biais, dans cette présente étude, nous avons décidé d'utiliser les services d'une nutritionniste pour évaluer les habitudes alimentaires de chacun des participants avant la participation à l'étude et deux jours avant chacun des protocoles. De plus, l'alimentation a été contrôlée avant chacun des protocoles. En effet, chaque participant recevait, la journée précédant le test, tous les repas et toutes les collations qu'ils devaient consommer. Par ailleurs, pour s'assurer que les participants performant de façon optimale à chacun des protocoles, la pratique de l'activité physique était contrôlée ce qui n'a jamais été fait auparavant par nos prédécesseurs.

La méthodologie et le protocole utilisés dans notre étude seront donc innovateurs et se distingueront des recherches antérieures. Cette recherche nous permettra d'évaluer l'impact de

différents indices glycémiques sur la performance en endurance de cycliste de haut niveau réalisé lors d'une course contre la montre.

Chapitre 4 - Objectifs et Hypothèses

Objectif :

1. Évaluer l'impact de différents indices glycémiques sur la performance en endurance de cyclistes de haut niveau.

Objectif secondaire :

2. Vérifier l'impact de l'indice glycémique sur différents marqueurs métaboliques (glycémie capillaire et l'oxydation des lipides et des glucides).

Hypothèse principale :

1. L'ingestion d'un repas à indice glycémique bas consommé 3 heures avant un exercice réalisé en endurance améliore la performance chez des cyclistes de haut niveau.

Hypothèses secondaires :

1. La consommation d'un repas à indice glycémique bas consommé 3 heures avant un exercice réalisé en endurance permet de maintenir la glycémie jusqu'à la fin de l'exercice.
2. La consommation d'un repas à indice glycémique bas consommé 3 heures avant un exercice réalisé en endurance augmente le taux d'oxydation des lipides durant l'exercice.

Chapitre 5 - Méthodologie

1. Participants

Onze participants de sexe masculin ont participé à l'étude. Pour être inclus dans celle-ci, les participants devaient être des cyclistes pratiquant une des quatre disciplines suivantes : triathlon, duathlon, vélo de montagne ou vélo de route. Ils devaient aussi être âgés de 18 ans et plus, avoir une VO_{2max} supérieure ou égale à 55 ml d' O_2 /kg/min et un volume moyen d'entraînement de 15 heures par semaine durant la saison compétitive.

Les participants devaient aussi être caucasiens, non-fumeurs, ne prendre aucun médicament sur une base régulière pouvant affecter le métabolisme des lipides, du glucose ou la réponse à l'entraînement, et être exempts de toute pathologie ou condition susceptible d'interférer avec le protocole expérimental. Finalement, les participants ne devaient pas être allergiques ou intolérants à aucun aliment contenu dans les menus standardisés, ni consommer d'aides ergogéniques sur une base régulière (plus de deux fois par semaine). Les participants ayant participé à un autre projet de recherche au cours des trois derniers mois étaient aussi exclus. Il est à noter que l'étude a débuté à la fin de la saison de vélo (septembre 2009). Par conséquent, les participants étaient au sommet de leur forme physique optimale. Tous les participants ont rempli un questionnaire portant sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP, 2002) (Annexe 1) et un questionnaire médical spécialement développé aux fins de l'étude (Annexe 2). Le questionnaire médical comportait 12 thèmes différents : l'activité physique, les médicaments, les allergies alimentaires, les aversions alimentaires, le régime alimentaire, le diabète, les habitudes tabagiques, la consommation d'alcool et de caféine, les aides ergogéniques, l'histoire médicale personnelle et la participation à un autre projet de recherche. Tous ces questionnaires ont été remplis par le participant avec l'aide d'un des collaborateurs de l'étude.

2. Procédure pré-expérimentale :

Pour le recrutement des participants, des affiches ont été apposées à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), au Cégep de Chicoutimi ainsi qu'à leurs centres sportifs respectifs et aux centres de conditionnement physique Énergie Cardio du Saguenay. Des publicités ont été envoyées par courriel à quatre clubs de vélo du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Finalement, des membres de l'équipe de recherche ont assisté à certains événements sportifs durant la saison estivale pour distribuer des publicités. Les participants voulant participer à l'étude ont contacté notre équipe et un membre de celle-ci leur a expliqué le déroulement du protocole par téléphone ou en personne. Par la suite, les participants intéressés étaient invités à venir nous rencontrer pour commencer le projet. Il est important de souligner que l'étude a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (Annexe 3).

Dans cette étude, chaque participant était son propre témoin et expérimentait de façon aléatoire un des protocoles suivants : à jeun, déjeuner à indice glycémique bas (< 55) ou déjeuner à indice glycémique élevé (> 70).

Lors de la première visite au laboratoire, les participants ont été informés de tous les objectifs de l'étude et du déroulement de celle-ci. Un membre de l'équipe a revu en détail, avec le participant, le formulaire de consentement et s'est assuré de la compréhension de chacun avant la signature. Par la suite, les participants ont répondu au Q-AAP ainsi qu'au questionnaire médical (Annexes 1 et 2). Il est à noter qu'ils devaient être à jeun pour cette rencontre afin de réaliser un prélèvement de sang capillaire et des mesures anthropométriques. Les outils utilisés pour la prise de la glycémie étaient un autopiqueur et des bandelettes de tests de marque One Touch^{MC} (Lifescan, Canada). Pour la lecture des bandelettes, le lecteur One Touch Ultra Mini^{MC} (Lifescan, Canada) a été employé. À la fin de la rencontre, trois journaux alimentaires et trois journaux d'activité physique ont été remis aux participants (Annexe 4). Ils devaient les compléter durant trois jours non consécutifs : deux jours de semaine et un jour de fin de semaine. Une balance électronique de marque Taylor^{MC} a été remise avec les journaux alimentaires afin de

contrôler les quantités ingérées et ainsi, préciser l'apport énergétique. Les journaux alimentaires ont par la suite été analysés par une nutritionniste à l'aide du logiciel Food Processor SQL^{MC} (ESHA Research, Salem, USA). Cette analyse a permis de définir l'apport quotidien en macronutriments (glucides, lipides et protéines) de chaque participant. Des montres cardiofréquence-mètres de marque Polar^{MC} ont été remises avec les journaux d'activité physique pour connaître la fréquence cardiaque moyenne du participant à l'effort et estimer, ensuite, sa dépense énergétique durant les trois jours sélectionnés. Finalement, des données de composition corporelle telles que le poids, la taille, la circonférence de taille et l'estimation du pourcentage de gras corporel ont aussi été recueillies. Le pourcentage de gras a été obtenu à l'aide de deux méthodes, soit la méthode des sept plis cutanés et l'impédance bioélectrique. Pour la méthode des plis cutanés, l'équation de prédiction de Jackson et Pollock (1978), qui a préalablement été validée auprès d'athlètes, a été utilisée (Jackson et Pollock, 1978). La mesure des plis adipeux a été réalisée à l'aide d'un adipomètre à pression constante de marque Harpenden^{MC}. Le pourcentage de gras a aussi été estimé à l'aide d'une balance impédancemètre professionnelle (TBF-300A, TANITA^{MC}). Pour minimiser l'impact des facteurs externes pouvant influencer les résultats de la bioimpédance (consommation de caféine, diurétique, etc.), les participants devaient suivre un protocole suggéré par la compagnie TANITA^{MC} (Annexe 5).

Lors de la deuxième visite, les journaux alimentaires et d'activités physiques complétés ont été remis, et la VO_{2max} a été mesurée. Pour pratiquer cette épreuve, tous les participants recevaient, la veille, un déjeuner standardisé. Ce déjeuner était consommé à domicile deux heures avant le test. Les participants devaient accompagner ce déjeuner de 500 ml d'eau. Cette directive a été ajoutée au protocole pour s'assurer que les participants soient bien hydratés avant le test, et ce, afin d'éviter une réduction significative de la performance physique causée par la déshydratation. Cette recommandation est extraite de la prise de position sur la nutrition sportive écrite par l'ACSM, L'ADA et les DC, qui suggèrent de boire entre 400 et 600 ml d'eau deux heures avant un exercice physique (Rodriguez et coll., 2009). Les critères pour développer ce déjeuner ont aussi été tirés de cette prise de position. En effet, ces organismes recommandent que la

répartition énergétique du repas précédant le test contienne 55 % de glucides, 15 % de protéines et 30 % de lipides. Les détails de ce déjeuner se retrouvent dans le Tableau IV.

Tableau IV - Déjeuner standardisé pour le protocole VO_{2max}

Aliments	Information nutritionnelle	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 g bagel nature POM^{MC} ▪ 375 ml de jus d'orange 100 % pur Oasis^{MC} ▪ 30 ml de beurre d'arachides Kraft^{MC} ▪ 30 g de fromage 7 % M.G. Allégro^{MC} 	Calories (kcal)
Glucides (%)		55
Protéines (%)		15
Lipides (%)		30
Fibres (grammes)		5

Lors de la remise du déjeuner de la deuxième visite, plusieurs instructions ont été données aux participants. En effet, ils ne devaient pas consommer d'alcool 48 heures avant le test, ni de caféine, de produits naturels, de médicaments pour le rhume, pour la toux, pour l'asthme ou d'analgésiques, et ne devaient pratiquer aucune activité physique 24 heures avant le test. Finalement, aucune prise de diurétiques n'était autorisée sept jours avant le test. Pour s'assurer du respect des consignes, chaque participant devait compléter à nouveau un journal d'activité physique et un journal alimentaire, et ce, la journée précédant la deuxième visite.

Avant de commencer le test pour déterminer la VO_{2max}, les participants réalisaient un échauffement d'une durée de 10 minutes, à une intensité faible, sur un ergocycle. La VO_{2max} a été mesurée à l'aide d'un test maximal progressif effectué sur le vélo des participants. Pour ce faire, la roue du vélo était fixée sur un rouleau de marque Computrainer Lab^{MC} (Racer Mate, Seattle, USA) qui était relié à une station informatique du laboratoire. Le logiciel Computrainer^{MC} CS 1.6 (Racer Mate, Seattle, USA) a été utilisé pour réaliser le test maximal

progressif. Pour mesurer la consommation d'oxygène, le participant devait respirer dans un masque buccal relié à l'appareil K4-b^{2MC} version 9.0 (COSMED, Rome, Italie). L'analyse des échanges gazeux a été faite à partir de l'appareil K4-b^{2MC}. Tout au long du test, un membre du personnel s'assurait que le participant maintenait une cadence d'au moins 90 révolutions par minute (RPM). Il est à noter que le participant devait rester assis sur son siège durant toute l'épreuve. Le test débutait avec une charge de 100 watts. À chaque palier (durée de 2 minutes par palier), une charge supplémentaire de 30 watts était appliquée sur le vélo augmentant ainsi progressivement le degré de difficulté. Si la cadence descendait en-dessous de 87 RPM, l'équipe avertissait le participant qu'il avait 20 secondes pour revenir à une cadence de 90 RPM. Si le participant n'était plus en mesure de maintenir cette cadence, le test était arrêté. Le participant pouvait aussi arrêter le test à tout moment. Les mesures de la tension artérielle (mesurée à l'aide du sphygmomanomètre électronique Omron^{MC}) et de la fréquence cardiaque (cardiofréquencemètre Polar^{MC}) étaient prises avant le test, toutes les 15 minutes durant le test et après le test. Leur perception subjective de l'effort était évaluée à l'aide de l'échelle de Borg (Annexe 6), et ce, toutes les 15 minutes. Cette échelle comporte 15 niveaux de notation échelonnés de 6 à 20. Elle lie la fréquence cardiaque à la perception subjective de l'effort. Une fréquence cardiaque de 60 battements/minute est ressentie comme étant « très très légère » alors qu'un effort s'accompagnant d'une fréquence cardiaque de 200 battements/minute est ressenti comme étant « très très pénible » (Borg, 1998). Cette approche est intéressante puisqu'elle intègre la perception subjective de l'effort en plus des données physiologiques qui sont recueillies.

La figure 9 présente la chronologie des visites au cours du projet de recherche et résume les éléments clés de chacune de ces visites.

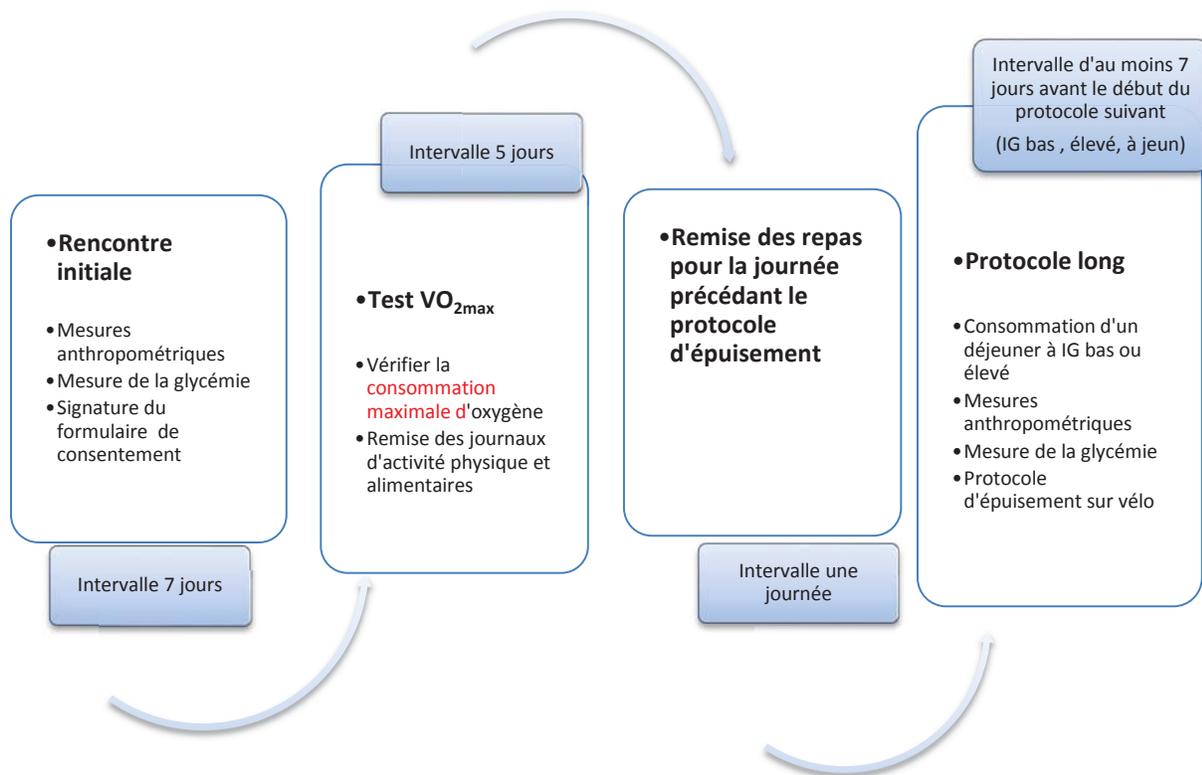


Figure 9- **Protocole expérimental (calendrier des interventions)**

3. Protocoles avec différents indices glycémiques (IG) (visites 3 à 8):

Chaque protocole était attribué de façon aléatoire. Les participants qui respectaient tous les critères d'inclusion commençaient par un des trois protocoles, et ce, cinq jours après la deuxième visite. Le protocole A (à jeun), le protocole B (IG bas < 55) et le protocole C (IG élevé > 70) ont été complétés par chacun des participants. Ils avaient un intervalle minimum de sept jours entre les différents protocoles.

Une journée avant chacun des protocoles (visites 3, 5 et 7), les participants se présentaient au laboratoire pour la remise des aliments qui devaient être consommés la journée précédant le test. Toutes les boissons et tous les aliments consommés par les participants durant ces trois

protocoles ont été fournis par l'équipe de recherche, et ont préalablement été mesurés et pesés en fonction des besoins de chacun. Les participants qui ne consommaient pas tous les aliments devaient les rapporter au laboratoire pour qu'ils soient mesurés et compilés par un membre de l'équipe.

Le menu standardisé a été développé par une nutritionniste et modifié en fonction de l'apport énergétique de chaque participant. Cet apport a été calculé à l'aide des trois journaux alimentaires complétés entre les première et deuxième visites. Le menu de chaque participant était standardisé selon les recommandations de l'ACSM (Rodriguez et coll., 2009). Il contenait 55 % de glucides (minimum de 6 à 10 grammes par kg de poids corporel), 20 % de protéines (minimum de 1,4 gramme par kg de poids corporel) et 25 % de lipides. Celui-ci a été utilisé pour chacun des trois protocoles. Un modèle de menu standardisé (ajusté pour un athlète de 70 kg) est présenté au Tableau V. Le menu contient 3154 kcal, 160 g de protéines, 91 g de lipides et 448 g de glucides.

Tableau V - Menu pour la journée précédant les protocoles d'épuisement
Standardisé pour un homme de 70 kg

Déjeuner	
Quantité	Aliments
30 g	Gruau Quaker ^{MC} instantané nature
250 ml	Lait 1 % M.G.
2 tranches de 32 g	Pain blanc
100 g	Banane
100 ml	Jus de pommes pur à 100 % Allen's ^{MC}
5 g	Cassonade
Collation AM	
Quantité	Aliments

100 g	Salade de fruits en conserve sans sucre ajouté
50 g	Amandes rôties à sec
Dîner	
Quantité	Aliments
400 ml	Pâtes alimentaires blanches cuites
100 ml	Salsa Old El Paso ^{MC}
100 g	Maïs en crème
186 g	Poivron vert cru
150 g	Bœuf haché maigre cuit
100 ml	Jus d'ananas pur à 100 %
100 g	Yogourt nature 0 % M.G.
100 g	Poires en conserve sans sucre ajouté
Collation PM	
Quantité	Aliments
50 g	Muffin au son « préparation Quaker ^{MC} »
100 g	Yogourt nature 0 % M.G.
5 ml	Miel
138 g	Pomme rouge crue avec pelure
100 ml	Jus de canneberge
Souper	
Quantité	Aliments
2 fois 10,2 cm (56 g)	Pita de blé
150 g	Poulet blanc cuit
50 g	Mangue crue
5 ml	Margarine
15 ml	Mayonnaise Hellman's faible en gras
15 ml	Yogourt nature 0 % M.G.

86 g	Concombre cru sans pelure
100 g	Compote de pommes non sucrée
10 g	Biscuits sablés Leclerc ^{MC}
250 ml	Lait 1 % M.G.
Collation soirée	
Quantité	Aliments
8 g	Dattes
60 g	Fromage mozzarella à 17 % M.G.
100 ml	Jus de pommes pur à 100 % Allen's ^{MC}

Pour éviter une surcharge en glycogène, tous les participants devaient tenir un journal alimentaire deux jours avant chacun des trois protocoles. Durant ces deux journées, un journal d'activité physique était complété pour vérifier si les consignes étaient respectées. En effet, les participants devaient s'en tenir à un niveau d'activité physique d'intensité faible à modérée avant les protocoles d'épuisement. Tous les participants ont reçu une feuille avec les instructions à suivre avant chacun des protocoles (Annexe 7).

Le lendemain des troisième, cinquième et septième visites, les participants se présentaient à jeun au laboratoire (visites 4, 6 et 8) pour la prise de la glycémie capillaire et les mesures anthropométriques. Après avoir consommé un déjeuner à indice glycémique variable (excepté pour le protocole A qui était réalisé à jeun), ils réalisaient une épreuve d'endurance sur vélo. De plus, ils devaient remettre leur journal alimentaire et d'activité physique complété. Le journal alimentaire était révisé et analysé par une nutritionniste.

4. Calcul de l'indice glycémique du déjeuner avec différents indices glycémiques

Seuls les aliments répertoriés dans *l'International table of glycemic index and glycemic load values* (2002) ont été choisis pour la création des déjeuners de ces protocoles, et leur indice

glycémique a été calculé à l'aide d'une formule élaborée par Wolever et Jenkins en 1986 (Foster-Powell et coll., 2002; Wolever et Jenkins, 1986). Le pain a été pris comme portion de référence. Cette formule est une sommation de chacun des indices glycémiques des glucides composant le repas (IGR). Dans un premier temps, il faut calculer le nombre de glucides totaux du repas pour ensuite calculer la proportion des glucides de chacun des aliments contribuant au repas (Pa). Deuxièmement, il faut multiplier l'indice glycémique de chaque aliment avec la proportion en glucides de celui-ci (IGRa). Finalement, on additionne tous les IGRa obtenus, ce qui permet de déterminer l'indice glycémique total du repas. Pour faciliter la compréhension de cette étape du projet, un exemple de calcul pour un repas contenant 30 grammes de Brand Buds^{MC} avec psyllium (IG = 67 et 12 grammes de glucides) et 250 ml de lait 0 % de M.G. (IG = 46 et 13 grammes de glucides) est présenté ci-dessous. Les glucides totaux pour ce repas sont de 25 grammes (12 g + 13 g = 25 g).

Exemple de calcul :

1) Calcul du Pa de chaque aliment (Pa = Glucides/glucides totaux)

$$\text{Pa (Brand Buds}^{\text{MC}}) = 12/25 = 0,48$$

$$\text{Pa (lait 0 \% M.G.)} = 13/25 = 0,52$$

2) Calcul du IGR de chaque aliment (IGRa = Pa*IGa)

$$\text{IGR (Brand Buds}^{\text{MC}}) = 0,48*67 = 32,16$$

$$\text{IGR (lait 0 \%)} = 0,52*46 = 23,92$$

3) Calcul de l'indice glycémique de ce repas

$$(\text{IGR} = \text{IGR [Brand Buds}^{\text{MC}}] + \text{IGR [lait 0 \% M.G.]})$$

$$\text{IGR total} = 32,16 + 23,92 = 56,08$$

Tous les menus des déjeuners étaient standardisés. Seul leur apport total en macronutriments variait en fonction du poids des participants. Ainsi, tous les déjeuners comprenaient 3 grammes de glucides par kg de poids (67 % de l'apport en énergie provenait des glucides). Cette valeur a été choisie en réponse à la lecture de différentes études sur le sujet qui observaient la réponse physique à l'exercice suite à la consommation d'un repas qui contenait entre 2 et 3 grammes de glucides par kg de poids corporel, trois heures avant un exercice physique. Pour les autres macronutriments, la répartition était de 13 % pour les protéines et de 20 % pour les lipides, soit le minimum recommandé pour un repas. Seule la quantité de fibres variait entre les déjeuners. Il est à noter que les fibres influencent l'indice glycémique du repas en ralentissant l'absorption des glucides (Wahren, Juhlin-Dannfelt, Bjorkman, DeFronzo, et Felig, 1982). Les descriptifs des déjeuners remis aux participants sont présentés dans le Tableau VI. Tous les déjeuners comportent des aliments qui n'ont pas d'indice glycémique, car ceux-ci sont composés de protéines, de lipides et ne comportent pas de glucides. Ces aliments ont été ajoutés au menu pour améliorer la palatabilité du repas.

Tableau VI - Déjeuners à indice glycémique (IG) bas et élevé pour un participant de 70 kg
IG calculé selon le pain

Protocoles	Aliments
Protocole A À jeun	Aucun
Protocole B Déjeuner à indice glycémique bas (< 55)	Pain de seigle noir (IG = 58) Cretons aux lentilles (IG = 41) Fromage Allégro ^{MC} 7 % M.G. (aliment qui n'a pas d'IG) * Margarine Becel ^{MC} (aliment qui n'a pas d'IG)* Lait 0 % M.G. (IG = 46)

	Céréales Brand Buds ^{MC} (IG = 67)
	Abricots séchés (IG = 44)
	Fructose (IG = 27)
	Jus de pomme (IG = 57)
	Pêches (IG = 40)
Poires (IG = 54)	
Eau (7 ml/kg de poids corporel)	
IG total : 52	
	Glucides (grammes) : 210
	Protéines (grammes) : 40
	Lipides (grammes) : 27
	Fibres (grammes) : 34

Protocole C Déjeuner à indice glycémique élevé (> 70)	Miel (IG = 78)
	Lait 1 % M.G. (IG = 46)
	Jus de canneberges (IG = 97)
	Bananes (IG = 74)
	Raisins (IG = 66)
Céréales Crispix ^{MC} (IG = 124)	
Margarine Becel ^{MC} (aliment qui n'a pas d'IG)*	
Bagel nature (IG = 103)	
Beurre d'arachides (IG = 19)	
Fromage Allégro ^{MC} 7 % M.G. (aliment qui n'a pas d'IG)*	
Eau (7 ml/kg de poids corporel)	
IG total: 92	
	Glucides (grammes) : 210
	Protéines (grammes) : 40
	Lipides (grammes) : 27
	Fibres (grammes) : 8

* *Aliments composés de protéines et de lipides : ils ne comportent donc aucun indice glycémique*

Le déjeuner a été préparé par l'équipe de recherche et a été remis aux participants trois heures avant l'épreuve. Ils l'ont consommé à la clinique de kinésiologie de l'UQAC sous la supervision de l'équipe de recherche. Les participants avaient 30 minutes pour consommer leur repas (le temps était calculé à l'aide d'un chronomètre). Tous les aliments non consommés étaient pesés et

inscrits dans le cahier du participant. Pour s'assurer d'une hydratation optimale, les participants recevaient, toutes les heures avant l'épreuve, une bouteille d'eau contenant 7 ml par kg de poids corporel (Sawka et coll., 2007).

Le temps d'attente entre le déjeuner et le protocole se déroulait à l'intérieur de la clinique car un membre de l'équipe devait prendre une glycémie toutes les heures, et ce, jusqu'au moment de l'épreuve d'endurance. Les participants devaient rester calmes tout au long de cette attente. Trois heures après le déjeuner, ils commençaient un échauffement sur ergocycle à une intensité faible pendant 15 minutes. Durant ce temps, l'équipe de recherche installait le vélo sur le rouleau Computrainer Lab^{MC} et calibrait les pneus pour permettre aux participants d'avoir une adhérence minimale sur le rouleau. La pression des pneus devait se situer entre 101 et 105 livres par pouce carré (PSI). Le protocole d'épuisement choisi par l'équipe de recherche était une épreuve contre la montre. Pour ce faire, le logiciel Computrainer^{MC} 3D version 3 avec le trajet Windach 54 km.3dc a été choisi pour la création du parcours de la course. Cette épreuve comportait une élévation de 32,6 mètres et la distance totale était de 54,2 km. Aucun facteur de vent n'a été ajouté à cette course. Il est à noter que ce trajet a été préalablement testé par un sujet qui ne participait pas au projet, et ce, afin de vérifier la difficulté de celui-ci et le temps nécessaire pour le réaliser.

Durant le parcours, les participants pouvaient changer la cadence de roulement et ajuster la résistance en fonction de la difficulté du trajet. Le même parcours était refait à chacun des trois protocoles. La pression artérielle était mesurée ainsi que la fréquence cardiaque au début de l'exercice et toutes les 15 minutes pendant l'exercice. Tout au long du test, la mesure des échanges gazeux avec l'appareil K4-b^{2MC} version 9.0 (COSMED, Rome, Italie) était réalisée. La température de la salle a été maintenue à 21 °C pour chacun des protocoles.

Durant le premier des trois protocoles d'épuisement, les participants pouvaient boire autant d'eau qu'ils le désiraient, et ce, toutes les 15 minutes (eau mesurée et quantité inscrite dans le cahier du participant). Pour les protocoles suivants, les participants recevaient la même quantité d'eau pour

ainsi éviter les fluctuations de l'apport hydrique entre les différents protocoles. Des glycémies capillaires ont été prises toutes les 30 minutes ainsi qu'à la fin de la course. Finalement, toutes les 15 minutes, les participants indiquaient leur perception subjective de l'effort à l'aide de l'échelle de Borg numérotée de 6 à 20. Cette donnée était enregistrée en même temps que leur fréquence cardiaque. Ils ne pouvaient consommer aucun liquide sucré durant les protocoles d'épuisement, mais immédiatement après, ils recevaient 200 ml de jus pour augmenter leur glycémie capillaire rapidement et éviter les malaises. Tout au long de l'épreuve, un membre de l'équipe inscrivait tous les symptômes physiques ressentis par les participants et s'assurait de leur bien-être. À la fin de l'épreuve, tous les participants étaient pesés. Ce poids était comparé au poids obtenu avant l'épreuve. Cette procédure permettait de vérifier le taux de déshydratation des participants.

5. Calcul des taux d'oxydation des glucides et des lipides

Les taux totaux d'oxydation des glucides et des lipides ont été estimés à partir des valeurs de VO_2 et de VCO_2 obtenues lors des protocoles d'exercice. Pour calculer ces taux d'oxydation, deux équations stoechiométriques ont été utilisées (Frayn, 1983). Celles-ci ont déjà été validées antérieurement par l'équipe de recherche de Frayn (1983). Pour utiliser ces équations, les valeurs de VO_2 et de VCO_2 doivent être en litre par minute. Par conséquent, toutes les valeurs recueillies dans le cadre de ce projet ont été ajustées. Les résultats obtenus à l'aide de ces équations ne démontrent pas de différences significatives entre les protocoles pour ce qui est du taux d'oxydation des glucides et des lipides.

Équations stoechiométriques de Frayn (1983)

Taux d'oxydation des glucides (g/min) : $(4,585 * VCO_2) - (3,2255 * VO_2)$

Taux d'oxydation des lipides (g/min) : $(-1,7012 * VCO_2) + (1,6946 * VO_2)$

6. Analyses Statistiques

Toutes les données recueillies ont été reportées dans un fichier SAS version 9.2, pour des fins d'analyses. La taille de l'échantillon n'a pas été calculée avec un critère statistique spécifique car l'étude nécessitait un échantillon homogène avec un niveau d'exercice particulier, ce qui restreignait fortement la population visée. Par conséquent, nous avons été dans l'impossibilité d'aller chercher une taille d'échantillon suffisante pour correspondre au critère statistique. Le nombre de participants pour ce projet de recherche est cependant comparable aux études réalisées dans le domaine. Les moyennes et les écarts-types des différentes variables ont été calculés pour toutes les variables et ce, à chacun des protocoles. Étant donné le petit échantillon de participants, les tests T bilatéraux ont été préférés aux tests non paramétriques, ces derniers perdant de la valeur statistique lorsque soumis à des petits échantillons et sous-estimant les valeurs du p. Des tests t pour échantillons appariés ont également été réalisés pour mesurer les différences sous les trois conditions expérimentales : à jeun, HGI et LGI. Ces tests ont permis de comparer les participants avec eux-mêmes et ainsi contribuer à donner de la puissance statistique à cette étude. Par contre, en utilisant le test t apparié, il a été accepté que le niveau de signification soit plus strict. Une valeur de $p < 0,016$ a été considérée comme étant significative.

Chapitre 6 - Résultats

Tableau VII
Caractéristiques physiques de l'échantillon de 11 cyclistes

Variables	Moyenne
Âge (années)	34,0 ± 11,5
Taille (m)	1,76 ± 0,09
Poids (kg)	73,5 ± 7,9
Tension artérielle systolique (mm Hg)	124,7 ± 11,5
Tension artérielle diastolique (mm Hg)	78,0 ± 6,9
Pourcentage de gras	
Bioimpédance (%)	16,1 ± 5,0
Plis cutanés (%)	10,2 ± 4,1
VO _{2max} (ml O ₂ /kg/min)	63,6 ± 6,7
Fréquence cardiaque maximale (batt/min)	186,4 ± 9,1

Valeur moyenne ± déviation standard

Le nombre de participants qui ont participé à l'étude (n=11) est supérieur à ce qui a été publié dans ce champ de recherche. Cependant, 10 participants ont complété tous les protocoles et un participant a réalisé seulement deux des trois protocoles, soit HGI et LGI. Les résultats du protocole non complété par le dernier participant ont été enlevés de l'étude. L'âge moyen de nos participants était de 34,0 ans. Nous avons également évalué le poids et le pourcentage de gras de chaque participant au début de l'étude, et ce, pour tous les protocoles. Le poids moyen de nos participants était de 73,5 kg et le pourcentage de gras moyen obtenu à l'aide de la technique des plis adipeux était de 10,2 % et de 16,1 % avec la méthode de la bioimpédance électrique. Les valeurs obtenues avec la méthode des plis cutanés sont comparables à ce qui a été évalué dans d'autres études.

Les tensions artérielles systolique et diastolique moyennes étaient de $124,7 \pm 11,5$ mm Hg et de $78,0 \pm 6,9$ mm Hg, respectivement. Ces valeurs sont normales selon les lignes directrices du programme éducatif canadien sur l'hypertension (PECH) (Hypertension Canada, 2013). Finalement, la fréquence cardiaque maximale moyenne qui a été observée pendant le test de VO_{2max} était de $186,4 \pm 9,1$ battements par minute. Cela correspond presque exactement à ce qui peut être estimé en utilisant $220 - \text{âge}$ pour estimer la fréquence cardiaque maximale. Le VO_{2max} moyen de nos participants, obtenu au cours d'un test maximal progressif sur vélo, était de $63,6 \pm 6,7$ ml O_2 /kg/min.

L'apport énergétique quotidien de nos participants a été évalué à l'aide d'un journal alimentaire qui a été rempli sur une période de trois jours. Ce journal a permis d'évaluer l'apport calorique moyen ainsi que la répartition journalière moyenne des macronutriments (Tableau VII). L'apport calorique moyen était de $3086,6 \pm 631,1$ kcal. L'apport glucidique moyen était de $1592,7 \pm 436,0$ kcal ou $5,5 \pm 1,5$ g par kg de poids corporel. L'apport protéique moyen était de $475,9 \pm 112,6$ kcal ou $1,6 \pm 0,4$ g par kg de poids. Pour ce qui est des lipides, l'apport calorique moyen était de $981,9 \pm 396,5$ kcal, ce qui représente 31,8 % de l'apport énergétique moyen quotidien. Finalement, l'apport en alcool moyen de nos participants était de $36,0 \pm 74,7$ kcal, ce qui représente 1,2 % de l'apport énergétique total moyen.

Tableau VIII

Apport énergétique moyen et répartition journalière moyenne des macronutriments des participants au début de l'étude

	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Moyenne
Kcal CHO	$1493,8 \pm 455,7$	$1637,2 \pm 478,2$	$1647,3 \pm 663,8$	$1592,7 \pm 436,0$
Kcal protéines	$502,5 \pm 111,9$	$455,3 \pm 116,2$	$470,0 \pm 211,5$	$475,9 \pm 112,6$
Kcal lipides	$1066,0 \pm 577,4$	$1052,3 \pm 530,0$	$828,4 \pm 353,0$	$981,9 \pm 396,5$
Kcal alcool	$6,7 \pm 22,2$	$13,4 \pm 44,4$	$88,0 \pm 196,2$	$36,0 \pm 74,7$
Kcal total	--	--	--	$3086,6 \pm 631,1$

Valeur moyenne \pm déviation standard. Kcal : kilocalories; CHO : glucides.

Le tableau IX présente la composition en macronutriments des deux types de déjeuners qui ont été consommés par les participants avant l'exercice (déjeuner 1 : HGI et déjeuner 2 : LGI). Il faut mentionner que les déjeuners ont été standardisés pour que la répartition en macronutriments et en calories soit la même pour les deux déjeuners comme démontré au tableau VI. À la fin du repas, tous les aliments qui n'avaient pas été consommés dans les délais prévus ont été recueillis, mesurés puis soustraits du volume initial offert. On observe une différence significative entre le déjeuner 1 et le déjeuner 2 en ce qui concerne le total de glucides et de fibres consommé par les participants. Toutefois, il n'y a pas de différence significative entre le déjeuner 1 et le déjeuner 2 en ce qui concerne les protéines, les lipides et les calories moyennes ingérés. Aucune différence significative n'a été trouvée dans le temps d'ingestion des deux déjeuners.

Tableau IX

Composition et temps d'ingestion des déjeuners consommés par les participants avant l'exercice

	Déjeuner 1 (HGI)	Déjeuner 2 (LGI)
Glucides (g)	221,2 ± 21,7	212,6 ± 22,7*
Protéines (g)	43,5 ± 4,9	39,9 ± 7,2
Lipides (g)	26,7 ± 6,0	26,5 ± 6,1
Fibres (g)	8,01 ± 0,85	35,3 ± 4,0*
Énergie (Kcal)	1299,2 ± 143,1	1248,3 ± 160,7
IG	94,6	52,2
Temps d'ingestion (min)	23,5 ± 7,0	34,6 ± 7,4

Valeur moyenne ± déviation standard

IG : indice glycémique

** Significativement différent du déjeuner 1 (p<0,02).*

Le tableau X présente l'état d'hydratation des participants durant les trois protocoles. Le pourcentage de déshydratation a été calculé à l'aide de la formule suivante : $(\text{Poids avant le protocole} - \text{poids après le protocole}) / [\text{Poids après protocole}] \times 100$). Aucune différence significative n'a été observée en ce qui a trait au niveau de déshydratation entre les trois protocoles.

Tableau X
Suivi de l'état d'hydratation au courant des trois protocoles

Protocole	Période	Poids (kg)	Eau (ml)	Déshydratation (%)
À jeun	<i>Avant</i>	71,9 ± 6,1	600,0 ± 292,3	--
	<i>Pendant</i>	--	714,5 ± 281,6	--
	<i>Après</i>	71,4 ± 5,9	--	0,69 ± 0,89
HGI	<i>Avant</i>	73,7 ± 7,7	1279,6 ± 377,1	--
	<i>Pendant</i>	--	768,2 ± 300,1	--
	<i>Après</i>	72,9 ± 8,0	--	1,09 ± 1,17
LGI	<i>Avant</i>	74,3 ± 8,1	1144,8 ± 307,3	--
	<i>Pendant</i>	--	757,3 ± 315,4	--
	<i>Après</i>	73,8 ± 8,1	--	0,63 ± 0,69

Valeur moyenne ± déviation standard.

LGI : indice glycémique bas; HGI : indice glycémique élevé.

Le tableau XI présente les performances obtenues lors des trois protocoles. Un test de t pour échantillon appariés a permis d'analyser les données de chaque groupe entre eux. Dix des onze participants ont complété les trois protocoles. En ce qui a trait au temps de course moyen, on remarque qu'il n'y pas de différence significative entre les protocoles. Par contre, on observe une différence significative entre le RPM du protocole HGI et celui à jeun ($p < 0,005$). En effet, on note un RPM plus rapide avec HGI. Il n'y a pas de différence significative entre tous les protocoles en ce qui concerne la vitesse et la puissance.

Tableau XI
Performances obtenues au cours des trois protocoles

	Temps (min)	Vitesse (km/h)	Cadence (RPM)	Puissance (Watts)
À jeun	102,7 ± 7,5	31,8 ± 2,2	91,3 ± 8,5	191,8 ± 25,6
HGI	100,8 ± 4,2	32,3 ± 1,4	94,3 ± 9,9*	196,6 ± 16,6
LGI	100,0 ± 3,7	32,6 ± 1,2	87,7 ± 8,9	199,9 ± 16,7

Valeur moyenne ± déviation standard.

HGI : indice glycémique élevé; LGI : indice glycémique bas.

**Significativement différent du protocole à jeun ($p < 0,005$).*

Afin de quantifier les différences à l'effort entre les protocoles à jeun, HGI et LGI, des tests t pour échantillons appariés ont été réalisés (Tableau XII). Les résultats obtenus pour toutes ces variables ne démontrent aucune différence significative entre les trois protocoles.

Tableau XII Fréquence cardiaque, perception de l'effort, quotient et échange respiratoire durant les trois jours de protocoles

Variables	Protocoles	0 min (n=10)	15 min (n=10)	30 min (n=10)	45 min (n=10)	60 min (n=10)	75 min (n=10)	90 min (n=10)	105 min (n=10)	120 min (n=10)
FC (batt/min)	À jeun	119,9±17,9	151,5±14,4	156,1±16,2	160,2±15,3	156,0±19,4	156,7±18,0	156,8±17,3	157,7±11,7	167
	HGI	118,6±23,8	155,4±11,4	153,3±15,3	161,5±12,2	158,7±14,0	161,3±11,6	160,1±12,1	165,5±2,12	--
	LGI	124,0±17,3	152,0±11,2	150,2±11,3	156,4±10,5	148,5±18,9	142,0±27,0	145,9±23,5	143,0	--
VO₂ (ml/min)	À jeun	2136,4±521,8	3668,5±553,3	3599,6±500,9	3674,7±494,8	3510,8±471,2	3469,9±446,5	3378,0±316,3	3119,3±353,7	4269
	HGI	2093,6±718,8	3637,4±409,7	3501,3±358,1	3613,0±393,4	3453,3±265,4	3448,8±314,7	3349,3±355,1	4052,0±161,2	--
	LGI	2355,1±446,8	3708,5±575,1	3424,6±412,4	3565,5±438,8	3283,3±466,4	3166,7±672,5	3122,7±670,7	2692,0	--
VCO₂ (ml/min)	À jeun	1686,4±308,6	2925,7±451,8	2801,6±464,6	2819,1±421,8	2762,2±525,5	2565,1±476,2	2595,1±604,9	2367,7±178,4	2770
	HGI	1871,1±620,2	3019,8±255,3	2786,1±299,7	2869,2±438,9	2679,4±308,3	2656,8±308,2	2575,6±417,9	3207,0±261,6	--
	LGI	1962,5±426,6	3019,6±412,0	2682,3±309,8	2807,5±256,7	2544,6±354,7	2372,1±500,3	2303,2±514,8	2107,0	--

QR	À jeun	0,81±0,12	0,80±0,11	0,78±0,10	0,77±0,11	0,79±0,13	0,74±0,11	0,76±0,14	0,77±0,14	0,65
	HGI	0,90±0,08	0,83±0,06	0,80±0,06	0,79±0,07	0,78±0,06	0,77±0,06	0,77±0,06	0,79±0,03	--
	LGI	0,83±0,06	0,82±0,06	0,79±0,06	0,79±0,05	0,78±0,08	0,75±0,07	0,74±0,07	0,78	--
PE	À jeun	7,63±1,85	13,05±1,01	13,80±1,23	14,00±1,56	14,45±1,30	15,40±1,07	16,06±1,63	17,00	--
	HGI	7,38±2,88	12,68±1,62	13,36±1,64	14,27±0,65	14,45±0,82	15,04±1,42	15,77±1,51	16,00	--
	LGI	8,05±3,26	12,91±1,58	13,77±1,29	14,54±1,13	15,23±1,59	15,82±1,45	16,10±1,20	--	--

Valeur moyenne ± déviation standard

FC : fréquence cardiaque; LGI : indice glycémique bas; HGI : indice glycémique élevé; QR : quotient respiratoire; PE : perception subjective de l'effort.

Figure 10: Taux d'oxydation des glucides durant l'exercice

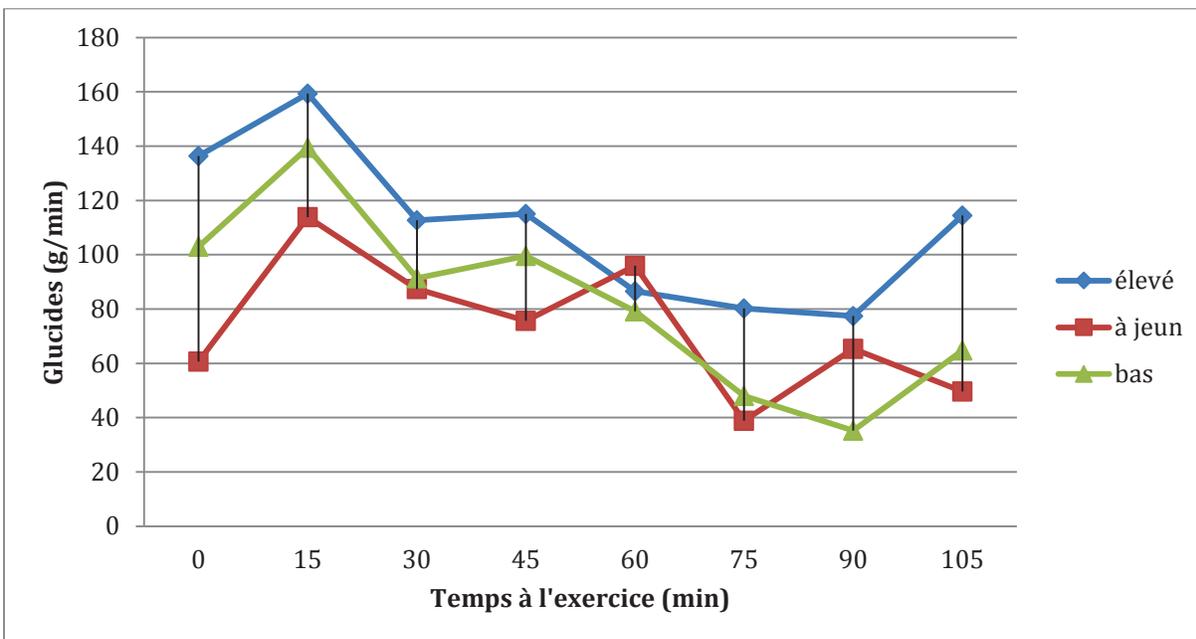


Figure 11: Taux d'oxydation des lipides durant l'exercice

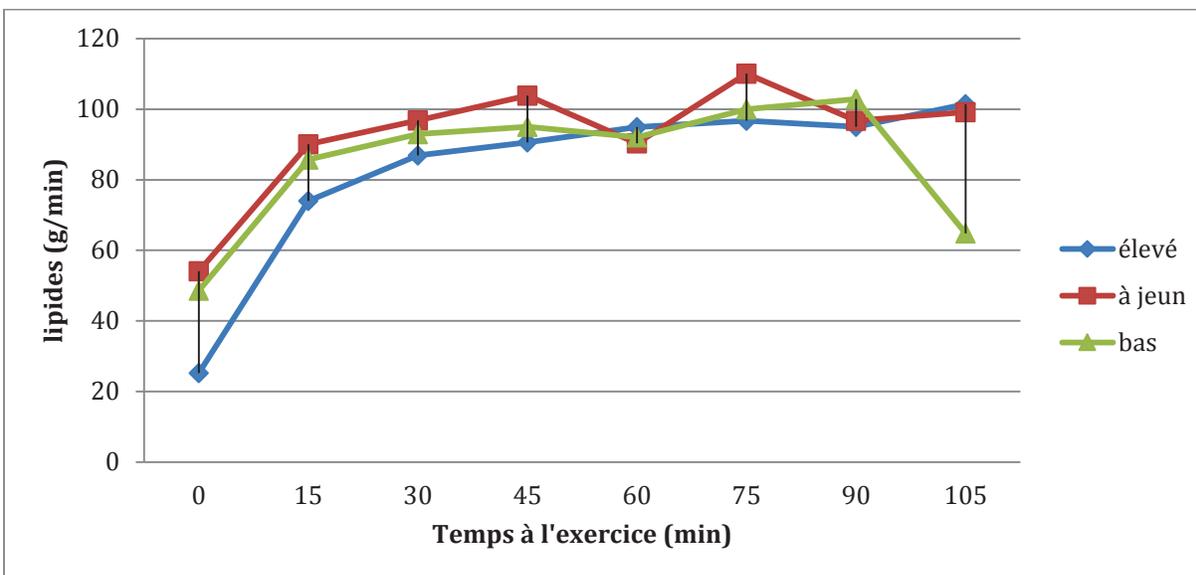


Tableau XIII
Glycémies capillaires avant et durant l'exercice en fonction du protocole d'épuisement

Variable	Protocole	<i>Période de repos (0 – 180 min)</i>				<i>Période durant la course (30 - 120 min)</i>			
		0 min	60 min	120 min	180 min	30 min	60 min	90 min	Fin du test
Glycémie	À jeun	4,93±0,44	--	--	--	5,47±0,76	5,20±0,66	4,78±0,53	4,30±0,54
capillaire	HGI	5,18±0,58	8,05±4,47	6,03±0,57	4,97±0,35	4,99±0,91*	4,96±0,78	4,64±0,61	4,66±0,46
(mmol/l)	LGI	5,11±0,51	6,03±0,92	5,33±0,86	5,08±0,78	4,64±0,44	4,76±0,91	4,54±0,58	4,67±0,43

Valeur moyenne ± déviation standard

**Significativement différent du protocole à jeun ($p < 0,002$)*

En observant la glycémie capillaire au cours de la première heure postprandiale, on remarque que celle-ci atteint un sommet à 60 minutes dans le protocole HGI et LGI (de $5,18 \pm 0,58$ à $8,05 \pm 4,47$ mmol/l pour HGI et de $5,11 \pm 0,51$ à $6,03 \pm 0,92$ mmol/l pour LGI) (Figure 12). Par la suite, la glycémie commence à diminuer, et ce, jusqu'à 30 minutes à l'exercice pour LGI et jusqu'à 90 minutes pour HGI. Par contre, les résultats ne démontrent pas de différences significatives entre les protocoles pour la période postprandiale. Durant l'exercice, au temps 30 minutes, on observe que la glycémie capillaire est significativement plus élevée avec le protocole à jeun comparativement au protocole HGI ($p < 0,002$). Par contre, il n'y a pas eu d'autres résultats significatifs après ce temps.

Chapitre 7- Discussion

Le but de notre étude était d'évaluer l'effet d'un repas à indice glycémique bas et élevé sur la performance physique lorsque celui-ci est consommé trois heures avant une course contre la montre. Il a été rapporté que la diminution de l'hyperinsulinémie et de l'hyperglycémie postprandiales constitue un des principaux avantages de consommer un repas à indice glycémique bas avant l'exercice (Mondazzi et Arcelli, 2009). Cette diminution favoriserait l'augmentation de l'oxydation des acides gras libres et possiblement l'amélioration du maintien de la concentration du glucose sanguin durant l'exercice, ce qui, par conséquent, améliorerait l'endurance physique (DeMarco et coll., 1999; Karamanolis et coll., 2011; Siu et Wong, 2004). Les résultats obtenus démontrent que la consommation d'un déjeuner à indice glycémique bas, si celui-ci est consommé 3 heures avant la course, n'améliore pas la performance de façon significative comparativement à la consommation d'un déjeuner à indice glycémique élevé. Ces résultats corroborent plusieurs recherches qui n'ont pas indiqué d'amélioration significative de la performance physique ou de l'endurance lorsque les participants consommaient un repas LGI avant l'exercice physique (Febbraio et coll., 2000; Febbraio et Stewart, 1996; Sparks et coll., 1998; Stannard et coll., 2000; Thomas et coll., 1994; Wee et coll., 1999). Cependant, il est difficile de comparer nos résultats avec ceux obtenus par nos prédécesseurs, car les protocoles employés pour évaluer l'effet sur la performance physique, le temps d'ingestion avant l'exercice et les aliments constituant le repas étaient très différents d'une étude à l'autre. Certains auteurs ont mentionné que ce problème pouvait être une limite lors de la comparaison des résultats avec d'autres études (Karamanolis et coll., 2011; Moore et coll., 2010). Par contre, si on compare les études utilisant le même type de protocole à l'exercice, soit la course contre la montre, on note que les temps de course sont significativement plus rapides après la consommation d'un repas LGI par rapport à un repas HGI, ce qui n'a pu être observé dans notre étude (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010). Cette différence pourrait être expliquée par le temps entre l'ingestion du repas et l'exercice physique. En effet, les participants de ces études ont consommé leur repas 45 minutes avant l'exercice comparativement à 3 heures dans notre étude. On remarque avec ces études que le niveau de glucose plasmatique est significativement plus élevé durant l'exercice après l'ingestion d'aliments LGI comparativement à HGI. Cette glycémie plus

élevée permet de ralentir l'oxydation des glucides et contribue à l'augmentation de l'utilisation des AGL au cours de l'exercice et ainsi, peut aider à l'amélioration des performances physiques. Il en est de même avec les études qui ont eu des résultats significatifs lorsque le repas était consommé deux heures avant un exercice en endurance (Wong et coll., 2008). Il est habituellement plus difficile de maintenir une glycémie élevée trois heures après avoir ingéré un repas (LGI ou HGI) ce qui a pu être démontré par plusieurs études, dont la nôtre. Wu et Williams (2006) sont les seuls qui ont démontré un temps de course plus long avec LGI comparativement à HGI. Ce qui peut expliquer cette différence est le taux de glucose plasmatique significativement plus élevé durant les trente premières minutes de l'exercice avec LGI comparativement avec HGI. Pour les études qui n'ont pas démontré de diminution significative du temps de course, comme dans notre étude, ceci pourrait être expliqué par le taux de glucose plasmatique durant la course qui n'était pas significativement différent entre HGI et LGI. Par conséquent, la différence de temps entre le repas et l'exercice physique a pu avoir un impact sur le taux d'utilisation des glucides durant l'exercice. En effet, la consommation de glucides trois heures avant l'exercice peut entraîner des glycémies plus basses au début de l'exercice ce qui pourrait augmenter l'utilisation des glucides, diminuer l'oxydation des lipides et ainsi, influencer la performance de la course contre la montre.

Un autre facteur qui a pu influencer la performance de nos participants est la composition du déjeuner avant l'exercice. Lorsqu'on compare le déjeuner 1 (HGI) et le déjeuner 2 (LGI), on note une différence significative en ce qui concerne l'apport total en glucides et en fibres. Ceci peut être expliqué par le fait que les valeurs recueillies sont celles du déjeuner après consommation et non celles avant sa consommation. En effet, nous avons calculé pour chaque participant la quantité d'aliments ingérés durant ce repas et nous avons remarqué que les participants avaient consommé moins d'aliments avec le déjeuner 2. Le déjeuner 2 (LGI) avait une teneur plus élevée en fibres, avec $35,3 \pm 4,0$ g que le déjeuner 1 (HGI) qui en contenait $8,01 \pm 0,85$ g. Cette situation est normale considérant que la plupart des aliments à indice glycémique bas ont naturellement une teneur plus élevée en fibres comparativement aux aliments avec un indice glycémique élevé. Les repas riches en fibres sont absorbés plus lentement ce qui favorise le maintien de la glycémie postprandiale, améliorant ainsi la

performance physique (Burkitt et Trowell, 1977). Par contre, les fibres peuvent entraîner certains effets négatifs qui peuvent avoir un impact sur la performance. Si les athlètes ne sont pas habitués à consommer des fibres, l'ingestion de celles-ci pourra occasionner des problèmes digestifs, comme des flatulences ou des crampes abdominales durant l'activité physique. Dans notre étude, deux participants ont eu des flatulences durant l'activité physique, mais aucun d'entre eux n'a mentionné que ces problèmes digestifs avaient eu un effet sur leur performance physique. Une des propriétés des fibres est d'augmenter le sentiment de satiété. Si le participant se sent rassasié plus rapidement, il se peut qu'il ne consomme pas tous les éléments du déjeuner qui comporte davantage de fibres. Il a été suggéré que la consommation d'un repas LGI augmentait la satiété, diminuait les rages de faim et favorisait l'ingestion d'une moins grande quantité d'aliments au cours de ce repas (Holt, Brand Miller, et Petocz, 1996; Ludwig et Eckel, 2002; Warren, Henry, et Simonite, 2003). De plus, selon l'équipe de Chew, la grande différence de fibres observée entre les repas pourrait occasionner une diminution de la vitesse de la vidange gastrique et du taux de l'absorption intestinale et ainsi diminuer l'apport calorique total ingéré. (Chew, Brand, Thorburn, & Truswell, 1988).

Comme le déjeuner 2 est considéré LGI, ces propriétés ont peut-être entraîné la diminution de la quantité de glucides consommée par les participants lors de ce repas. Il est donc normal de constater une différence significative en ce qui concerne les glucides entre le déjeuner 2 et le déjeuner 1. Par contre, il est important de mentionner qu'initialement, les deux déjeuners comportaient la même quantité de glucides. Dans les autres études avec le même type de protocole, il n'y avait pas de différence significative entre les déjeuners sauf pour les fibres (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010). L'apport calorique élevé de notre déjeuner pourrait aussi avoir influencé les résultats de notre recherche. En effet, si on compare nos résultats avec ceux des chercheurs qui ont utilisé un protocole qui implique un temps d'attente de 3 heures avant le début de l'exercice physique, on observe que l'apport calorique de notre déjeuner est supérieur aux études précédentes. On remarque que la teneur calorique moyenne de leur déjeuner contenait entre 675 à 1075 kcal comparativement à 1250 kcal pour notre étude. (Stevenson et coll., 2006; Wee et coll., 2005; Wu et Williams, 2006). Cette situation pourrait être occasionnée par la différence en macronutriments entre notre déjeuner et ceux

des autres auteurs. Les déjeuners offerts par nos prédécesseurs contenaient entre 2 et 2,5 g de glucides par kg de poids tandis que notre déjeuner contenait 3 g de glucides par kg de poids. Nous avons choisi d'utiliser 3 grammes de glucides par kg de poids afin de respecter les recommandations suggérées par l'équipe de Burke (2011). En effet, ils recommandent que les athlètes consomment entre 1 à 4 grammes de glucides par kg de poids, une à quatre heures avant un exercice d'une durée minimale de 60 minutes. De plus, la position publiée en 2000 par l'ACSM, l'ADA et les DC suggère que les athlètes consomment entre 200 à 300 g de glucides trois à quatre heures avant l'exercice réalisé en endurance. Donc, cette présente recherche respecte les pratiques utilisées par les athlètes en ce qui concerne la consommation des glucides avant un événement en endurance. Par conséquent, cette hausse de glucides a entraîné une augmentation des calories ingérées par nos participants. Ce facteur a donc pu augmenter les glycémies postprandiales et occasionner un ralentissement de la vidange gastrique. Par contre, comme nous avons comparé nos résultats entre eux et que les repas étaient équivalents dans leur composition cela ne semble pas avoir eu d'effet sur la performance. Dans une prochaine étude, il sera important de s'assurer que les participants consomment tous les aliments prescrits avant l'exercice physique afin que la même quantité de glucides soit consommée pour chacun des déjeuners. Pour ce faire, il serait pertinent de demander aux participants de consommer un déjeuner riche en fibres quelques semaines avant le protocole pour que leur organisme s'habitue à ce type d'alimentation.

Si on compare nos résultats avec les deux études utilisant la course contre la montre comme protocole (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010), on note que dans les études de Moore et coll. (2009 et 2010), le niveau de glucose sanguin était significativement plus élevé avec LGI comparativement à HGI, et ce, avant et tout au long de l'exercice physique. De plus, ils ont observé que le temps de course était meilleur avec LGI comparativement à HGI. Pour expliquer l'amélioration du temps de course, les auteurs ont suggéré que le niveau de glucose sanguin, qui était plus élevé durant l'exercice physique avec LGI, était un des facteurs qui pouvait avoir contribué à l'amélioration de la performance. Selon eux, une glycémie plus élevée permettrait de fournir suffisamment d'énergie aux muscles pour soutenir l'effort prolongé que nécessite un exercice en endurance et ainsi, permettre d'améliorer les

performances. Cette affirmation a aussi été mentionnée par d'autres auteurs qui ont démontré que la consommation d'aliments LGI diminuait les hyperglycémies et les hyperinsulinémies postprandiales et maintenait le glucose plasmatique à des niveaux plus élevés durant les périodes critiques de l'exercice, et ce, tout en améliorant la performance en endurance (DeMarco et coll., 1999; Thomas et coll., 1991; Wu et Williams, 2006). En ce qui concerne notre étude, durant l'exercice, au temps 30 minutes, il a été observé que la glycémie capillaire était significativement plus élevée avec le protocole à jeun comparativement au protocole HGI ($p < 0,002$). Par contre, nous n'avons noté ni de glycémie significativement plus élevée avec LGI durant l'exercice ni d'amélioration significative de la performance avec le protocole LGI comparativement au protocole HGI et à jeun. Les chercheurs qui n'ont pas observé de différences significatives entre les niveaux de glucose sanguin du protocole HGI et du protocole LGI durant l'exercice ont mentionné qu'il n'y avait pas d'amélioration significative de la performance comme démontré par notre étude (Febbraio et Stewart, 1996; Sparks et coll., 1998; Wee et coll., 1999).

Dans cette présente étude, il a été démontré que la glycémie capillaire était significativement plus élevée avec le protocole à jeun en comparaison avec le protocole HGI durant l'exercice (au temps 30 minutes). Ce résultat n'a jamais été répertorié par une autre étude qui comparait des protocoles à jeun à des protocoles LGI et HGI. Par exemple, Febbraio et coll. (2000) ont observé que les niveaux de glucose sanguin durant l'exercice HGI étaient plus bas comparativement au niveau obtenu pour LGI et à jeun (aux temps 15 et 30 min). Cette situation a déjà été relevée par Sparks et coll. (1998) qui avaient remarqué que le niveau de glucose sanguin durant l'exercice pour le protocole HGI était plus bas que le protocole LGI et le témoin (aux temps 10 et 20 min). Pour leur part, Wee et coll. (1999) ont remarqué que durant l'exercice (au temps 10 min) la concentration du glucose sanguin de HGI diminuait rapidement et que les valeurs étaient plus basses que les valeurs obtenues au début de l'exercice. Selon eux, la diminution du glucose sanguin remarquée au début de l'exercice pourrait être expliquée par un niveau d'insuline plasmatique plus élevé à la suite de la consommation d'aliments HGI comparativement aux aliments LGI ou à la situation témoin (à jeun). En effet, il a été établi que les aliments à indice glycémique élevé étaient rapidement digérés et absorbés après leur ingestion, ce qui entraînait l'élévation immédiate de la

concentration du glucose plasmatique et par conséquent, d'une augmentation de la réponse insulinémique (Karamanolis et coll., 2011). Au début de l'exercice, la concentration du glucose plasmatique de HGI continue à diminuer et l'insuline continue à s'élever, car l'absorption du glucose par les muscles est augmentée par l'exercice. En conséquence, l'utilisation des glucides comme carburant est augmentée ce qui entraîne une augmentation de la glycogénolyse musculaire et de l'apport en glucose aux muscles actifs (Hargreaves et coll., 1987; Moore et coll., 2009; Sparks et coll., 1998). Par contre, notre étude ne peut confirmer cette hypothèse, car nous n'avons pas évalué l'effet de l'insuline sur la performance physique. Dans une prochaine étude, il serait pertinent d'évaluer l'effet d'un repas LGI et HGI sur la réponse insulinémique.

Quelques études ont évalué l'influence de l'indice glycémique sur la glycogénolyse musculaire et sur les niveaux du glucose sanguin au cours de l'exercice physique. Febbraio et coll. (2000) ont remarqué que la consommation d'aliments HGI avant l'exercice n'affectait pas la glycogénolyse musculaire lors de l'exercice. Par contre, Hargreaves et coll. (1987) ont noté que la glycogénolyse musculaire était augmentée lorsque le niveau de glucose sanguin était inférieur à 3,5 mmol/l et qu'il n'augmentait pas au-delà de ce niveau durant l'exercice. Il faut souligner que ces deux études n'ont pas observé de différences significatives entre les protocoles en ce qui concerne le glucose plasmatique durant l'exercice. Pour notre part, nous n'avons pas eu de différence significative entre les protocoles après 30 minutes à l'exercice, ce qui peut présager qu'il n'y a possiblement pas eu d'augmentation de la glycogénolyse musculaire après cette période, comme démontré par nos prédécesseurs.

Les participants qui ont participé à notre étude devaient consommer, une journée avant le protocole, une diète contrôlée en glucides pour favoriser une réserve en glycogène musculaire optimale avant la course contre la montre. Comme nos participants étaient bien entraînés et qu'ils étaient habitués à ce type d'entraînement, il se pourrait que ceux-ci utilisent plus rapidement la voie de la glycogénolyse musculaire ce qui permettrait de maintenir leurs glycémies dans des valeurs normales durant l'exercice. Par contre, il a été démontré que l'entraînement en endurance améliorerait la sensibilité à l'insuline (Sato et coll., 1986). On peut

connaître la capacité en endurance de nos athlètes en évaluant leur VO_{2max} . Si on utilise ce critère pour déterminer la capacité en endurance, on note que notre cohorte à un VO_{2max} plus élevé que les autres études qui ont été précédemment publiées ce qui peut présager que notre cohorte pourrait avoir une sensibilité plus élevée à l'insuline et ainsi, avoir des glycémies plus basses durant l'exercice. Ceci n'a pu être démontré durant cette étude.

Une de nos hypothèses est que le repas LGI consommé avant l'exercice augmenterait le taux d'oxydation des lipides durant l'exercice comme démontré par plusieurs chercheurs (Febbraio et coll., 2000; Sparks et coll., 1998; Stevenson et coll., 2006; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003; Wu et Williams, 2006). Cependant, nous n'avons pas observé de différences significatives entre les protocoles en ce qui concerne le taux d'oxydation des lipides. L'intensité de l'exercice peut avoir un effet sur le taux d'oxydation des lipides. En effet, des chercheurs ont démontré qu'un exercice physique réalisé à 64 % ou moins du VO_2 permettait de susciter un taux d'oxydation maximale des lipides (Achten, Gleeson, et Jeukendrup, 2002). Pour notre part, il est difficile d'évaluer cet aspect, car notre protocole est une course contre la montre où le VO_{2max} fluctue d'un moment à l'autre selon le parcours (montée ou descente). Ce facteur pourrait être une limite de l'étude, puisqu'il est possible que les participants n'aient pas utilisé au maximum les lipides à cause du protocole d'exercice. Lors d'une prochaine étude, il serait intéressant d'utiliser un protocole qui implique la réalisation d'un exercice en endurance fait à plus de 64 % du VO_{2max} pour maximiser l'utilisation des lipides au cours de l'exercice. Certains chercheurs ont remarqué qu'un taux d'oxydation des lipides plus grand avec LGI comparativement à HGI était souvent accompagné d'un temps de course prolongé pour le protocole LGI (Wong et coll., 2008). L'amélioration de l'endurance et de la durée de l'exercice serait la conséquence de l'augmentation de l'utilisation des AGL circulant ce qui économiserait les réserves de glycogène musculaire et hépatique. Il se pourrait bien que nous n'ayons pas eu de résultat significatif pour la performance avec LGI car nous n'avons pas eu d'augmentation significative du taux d'oxydation des lipides avec ce protocole. Cependant, il est difficile d'extrapoler nos résultats avec ceux obtenus par nos prédécesseurs, car leurs protocoles étaient différents autant au niveau du temps écoulé avant l'ingestion du repas que du protocole utilisé

pour évaluer la performance physique ou l'endurance que du niveau d'entraînement des participants avant l'exercice.

La plupart des études ont démontré que le QR était plus élevé avec HGI comparativement à LGI, et ce, peu importe le résultat obtenu lors de la performance physique (DeMarco et coll., 1999; Sparks et coll., 1998; Thomas et coll., 1991; Thomas et coll., 1994; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et Williams, 2006). De plus, Febbraio et coll. (1996) ont remarqué que le QR et le taux d'oxydation des glucides étaient plus bas durant le protocole à jeun comparativement au protocole LGI et HGI. Kirwan et coll. (1998) et Wu et coll. (2003) ont aussi remarqué le même phénomène dans leur étude. Pour leur part, Moore et coll. (2009 et 2010) ont noté que le QR et le taux d'oxydation des glucides étaient plus élevés durant l'exercice (à partir de 20 min après le début jusqu'à la fin de l'exercice) avec LGI en comparaison à HGI. Notre étude n'a pu corroborer ces résultats, puisqu'il n'y avait pas de différence significative pour le QR entre les protocoles, ni pour le taux d'oxydation des glucides. À l'opposé, Thomas et coll. (1994) ont noté une association positive entre le QR et l'oxydation des glucides (Thomas et coll., 1994). Cependant, notre étude n'a pu démontrer cette relation. Selon Thomas et coll. (1991), il ne serait pas souhaitable pour les athlètes d'endurance d'avoir un QR et un taux d'oxydation des glucides élevés, car ceci indiquerait que les réserves en glycogène sont plus rapidement épuisées, favorisant l'apparition des symptômes de la fatigue et ainsi, diminuant la performance. Par contre, cette théorie fut contredite par Febbraio et coll. (2000) qui a démontré que l'augmentation de l'oxydation des glucides n'était pas reliée à l'augmentation de la glycogénolyse musculaire, mais plutôt à l'augmentation de l'absorption du glucose par les cellules musculaires. Dans sa recherche, il n'a pas observé de différence entre les protocoles dans la concentration du glucose plasmatique durant l'exercice, mais il a noté que le glycogène musculaire était diminué avant l'exercice pour les deux protocoles soit LGI et HGI.

Le protocole utilisé pour évaluer l'effet de la consommation d'un déjeuner avec différents indices glycémiques sur la performance de nos participants pourrait être une des limites de cette étude. En effet, quelques auteurs suggèrent que la méthode la plus efficace pour évaluer ce point serait la réalisation d'un exercice pratiqué jusqu'à l'épuisement ou qui a une durée de

plus de 90 min (Burke et coll., 1998). La course contre la montre employée dans notre projet répondait à ce critère, car le temps pour compléter le parcours variait entre 91 minutes et 105 minutes selon la vitesse moyenne de chaque participant. Par contre, peu d'études ont utilisé ce protocole ce qui fait en sorte qu'il est difficile de faire des comparaisons. La plupart des études ont utilisé un exercice réalisé jusqu'à épuisement pour s'assurer de vider complètement les réserves en glycogène et que l'exercice soit réalisé en endurance.

Dans notre étude, on supposait que le taux d'oxydation des glucides était supérieur durant le protocole HGI comparativement au protocole LGI comme noté dans la majorité des études antérieures (DeMarco et coll., 1999; Febbraio et coll., 2000; Karamanolis et coll., 2011; Kirwan et coll., 1998; Sparks et coll., 1998; Thomas et coll., 1991; Wee et coll., 1999; Wee et coll., 2005; Wong et coll., 2008; Wu et coll., 2003). Par contre, certains auteurs n'ont pas observé cette tendance, mais ont plutôt noté une augmentation de l'oxydation des glucides durant l'exercice avec le protocole LGI comparativement au protocole HGI (Moore et coll., 2009; Moore et coll., 2010). Ces chercheurs avaient opté pour une méthodologie semblable à la nôtre soit la course contre la montre. Ce protocole est utilisé pour évaluer la performance physique et imiter un événement sportif. Il diffère de ceux évaluant la capacité à l'endurance, protocole qui est utilisé dans la majorité des études mentionnées précédemment. Nos résultats ne corroborent pas avec ceux obtenus par Moore et coll. (2009 et 2010), car nous n'avons pas noté de différences significatives entre HGI et LGI en ce qui concerne le taux total d'oxydation des glucides. La variation des glycémies capillaires obtenues lors de l'exercice pourrait expliquer nos résultats. En effet, la plupart des études ont observé des hyperglycémies et des hyperinsulinémies significatives après l'ingestion d'un repas HGI et au début de l'exercice ce que nous n'avons pas observé. Ce niveau d'insuline plus élevé au début de l'exercice a eu pour effet de supprimer la libération des AGL circulant ce qui a eu pour conséquence d'augmenter la quantité de glucides oxydés et ainsi, d'accélérer l'utilisation des réserves en glycogène par l'entremise de la glycogénolyse. Nous avons plutôt noté que la glycémie capillaire était plus élevée à 30 minutes durant l'exercice avec le protocole à jeun en comparaison au protocole HGI. Cela nous fait présumer que le taux d'insuline pourrait être plus élevé avec les protocoles HGI et LGI et ainsi, avoir eu un effet d'augmentation du taux d'oxydation des glucides pour ces deux protocoles, mais nous n'avons pas évalué cet aspect.

Lors d'une prochaine étude, il serait intéressant d'évaluer l'effet de l'indice glycémique en mesurant l'insuline plasmatique au cours de l'exercice physique.

Dans les études évaluant l'impact de l'indice glycémique sur la performance physique, on observe que la taille de l'échantillon varie entre 6 et 10 participants (tableau III), ce qui nous permet d'affirmer que l'échantillon utilisé dans notre projet correspond à ce qui a été fait dans d'autres études. L'âge moyen de nos participants est de 34 ans, ce qui est légèrement plus élevé que la moyenne des autres études recensées dans ce mémoire. Dans ces dernières, l'étendue d'âge des participants était de 21 à 31 ans. Cependant, ce facteur n'a pas faussé les résultats, car ces athlètes sont encore au sommet de leur performance à 34 ans. En effet, selon Tanaka et Seal (2003), les performances obtenues lors de course en endurance sont maintenues jusqu'à l'âge d'environ 35 ans. Par la suite, les performances semblent se maintenir entre 35 et 40 ans puis diminuent modestement jusqu'à 50 ans. Cette diminution serait plus importante chez la femme que chez l'homme (Joyner, 1993; Lepers et Cattagni, 2012). Des études récentes ont démontré que les athlètes d'endurance classifiées « maîtres », qui ont plus de 40 ans, étaient capables de maintenir leur performance malgré la présence de changements dans leur performance musculaire et dans leur puissance aérobie maximale, qui est communément associée au vieillissement (Bieuzen, Hausswirth, Louis, et Brisswalter, 2010; Lepers, Sultana, Bernard, Hausswirth, et Brisswalter, 2010; Tanaka et Seals, 2008).

Les valeurs de pourcentage de gras obtenues avec la méthode des plis cutanés sont comparables à ce qui a été évalué dans d'autres études. Par exemple, dans l'étude de Kirwan et coll. (2001), le pourcentage de gras moyen obtenu était de 24,7 %, mais dans l'étude de Wong et coll. (2008), celui-ci était de 15,6 %. Heyward et Wagner (2004) ont rapporté que le pourcentage de gras moyen chez un cycliste masculin, évalué avec la méthode des plis cutanés, se situait entre 8 et 10 % ce qui correspond à ce que nous avons pu observer dans notre échantillon (Heyward et Wagner, 2004). En effet, nos participants avaient un pourcentage de gras moyen d'environ 10 % selon la méthode des plis cutanés. Il est recommandé chez les athlètes qui pratiquent un sport d'endurance comme le vélo, d'avoir une masse adipeuse faible pour permettre à ceux-ci de diminuer leur masse totale et ainsi améliorer

la puissance produite lors d'ascension de collines et de cols (Atkinson, Davison, Jeukendrup, et Passfield, 2003). Les participants de cette étude ont donc une masse adipeuse représentative de la population des cyclistes de haut niveau. L'indice de masse corporelle n'a pas été calculé, car il est peu utilisé chez les athlètes. En effet, il ne permet pas de distinguer la masse maigre de la masse grasse. De plus, cet indice a été très peu utilisé dans les études publiées antérieurement.

La VO_{2max} moyenne observée chez nos participants ($63,6 \pm 6,7$ ml O_2 /kg/min) est semblable à celle qui a été notée dans les études réalisées antérieurement. En effet, on retrouve des valeurs de VO_{2max} se situant entre 46,6 et 62,1 ml O_2 /kg/min. Certains auteurs mentionnent que les valeurs de VO_{2max} moyens de cyclistes professionnels doivent être assez élevées pour que ces derniers connaissent du succès sur la scène internationale (Faria, Parker, et Faria, 2005). Ils ont noté que la VO_{2max} moyenne pour un cycliste de route professionnel se situerait entre 70,0 et 78,8 ml O_2 /kg/min tandis que celui d'un cycliste élite se situerait entre 67,1 et 75,5 ml O_2 /kg/min. En ce qui concerne notre échantillon, nos participants ont un VO_{2max} légèrement inférieur aux cyclistes de catégorie élite. Si on compare les valeurs VO_{2max} moyennes de nos participants avec celles des hommes canadiens âgés entre 20 à 39 ans on remarque que les valeurs obtenues sont nettement supérieures à la moyenne canadienne. Selon l'enquête canadienne sur les mesures de la santé réalisée entre 2007 et 2009, la VO_{2max} moyenne prévue étaient de 44.1 ml O_2 /kg/min en 2009 comparativement à 63,6 ml O_2 /kg/min pour nos participants (Statistique Canada, 2009).

Même si la VO_{2max} est une qualité importante dans la performance en endurance, selon Faria et coll. (2005), cette méthode employée seule ne serait pas un bon indicateur pour comparer les performances en endurance d'athlètes qui ont des capacités cardiovasculaires similaires. Ils suggèrent que le dosage du lactate sanguin serait une meilleure mesure pour évaluer la performance en endurance physique parce que la VO_{2max} est une mesure qui est limitée par l'apport en oxygène de la mitochondrie. Lors d'une prochaine étude, il serait intéressant de combiner le dosage du lactate sanguin et la mesure de la consommation maximale d'oxygène

afin d'évaluer la performance physique des participants qui ont des capacités cardiovasculaires similaires et ainsi, diminuer les erreurs d'interprétation.

Le journal alimentaire de 3 jours nous a permis de connaître l'apport calorique moyen ainsi que la répartition journalière moyenne en macronutriments. L'apport glucidique moyen de nos participants était de 5,5 g par kg de poids corporel. La dernière prise de position de l'ACSM, des DC et de l'ADA mentionnait que les athlètes devaient consommer entre 6 et 10 g de glucides par kg de poids pour maximiser les réserves de glycogènes musculaire et hépatique et maintenir le niveau de glucose sanguin durant l'exercice. La consommation moyenne en glucides de nos participants est donc inférieure aux recommandations de ces organismes. Aux fins de cette recherche, la consommation de glucides dans le menu consommé avant le protocole a été ajustée afin d'atteindre les recommandations de ces organismes. Ceci a permis de maximiser les réserves en glycogène musculaires et hépatiques avant chaque course et pour assurer une consommation semblable de glucides par chaque participant. L'apport en lipides représentait 31,8 % de l'apport énergétique moyen quotidien. Ce ratio est adéquat si on considère que les athlètes devraient consommer de 20 à 35 % de l'énergie totale sous forme de lipides afin de consommer suffisamment de vitamines liposolubles et d'acides gras essentiels. Le menu développé pour la journée précédant les protocoles respecte cette recommandation en apportant 25 % de l'énergie sous forme de lipides. L'apport protéique moyen de nos participants était de 1,63 g par kg de poids corporel, ce qui rencontre les recommandations, soit entre 1,2 à 1,7 g de protéine par kg de poids moyen. Le menu précédant les protocoles, comme recommandé par l'ACSM, l'ADA et les DC, comble 20 % de l'énergie totale de la journée ("Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada," 2000). Pour éviter les baisses de performance et la déshydratation avant les tests, les participants devaient s'exempter de consommer de l'alcool deux jours avant le test de VO_{2max} ainsi que deux jours avant les protocoles d'activité physique (Annexe 5). Leur consommation moyenne avant l'étude représentait 1,17 % de l'apport énergétique total moyen.

La pesée avant et après chaque protocole a permis d'évaluer l'état hydrique de nos participants. On remarque que les participants sous le protocole HGI présentent le niveau de déshydratation le plus élevé avec 1,09 %. Selon l'ACSM, pour occasionner une baisse de la performance aérobique et avoir un effet sur la performance cognitive et mentale, l'athlète doit avoir un niveau de déshydratation supérieur à 2 %. Par contre, Goulet et ses collaborateurs ont rapporté que lorsque l'exercice est pratiqué dans un environnement contrôlé et à une intensité fixe, un pourcentage de déshydratation supérieur à 1,75 % serait associé à une diminution de l'endurance (Goulet, 2011). Dans notre étude, aucun participant n'atteint ce seuil critique et aucune différence significative n'a été notée pour le pourcentage de déshydratation entre les protocoles. On peut donc suggérer que l'état d'hydratation ne semble pas avoir affecté la performance moyenne des participants de notre échantillon. Par contre, il est à noter que de façon individuelle, trois participants ont eu un niveau de déshydratation plus élevé que 2 %. Cette situation s'est produite lors du premier protocole, ce qui a pu influencer les temps de performance lors du premier protocole de ces trois participants. Même si les participants étaient encouragés à boire de l'eau ad libitum toutes les 15 minutes, ils ont consommé une quantité moindre de liquides que recommandé par l'ACSM (7 ml de liquides par kilogramme de poids). Pour éviter que les résultats soient faussés, tous les participants devaient consommer la même quantité d'eau que lors du premier protocole. Un autre facteur qui pourrait expliquer la différence dans le niveau d'hydratation est la quantité de glucides ingérée au repas. Certaines études ont observé que lorsque la consommation de glucides dans l'alimentation est plus élevée, les réserves en glycogène sont supérieures ce qui pourraient contribuer à une perte de poids plus importante à l'effort (Hargreaves, Mark, Spriet et Lawrence, 2006). Par conséquent, cette perte de poids aurait pu affecter le pourcentage d'hydratation obtenu après l'entraînement. Finalement, la température de la pièce était contrôlée pour éviter toute perte hydrique causée par la chaleur. Malgré les trois participants, l'ensemble des résultats nous fait croire que le taux d'hydratation n'a pas influencé les résultats obtenus lors de la performance physique. Lors d'un prochain test, il sera important de demander aux participants au début de l'étude d'augmenter leur consommation de liquides durant la pratique de leur sport afin de favoriser l'ingestion optimale de liquides lors des tests.

Limites :

L'utilisation de glycémie capillaire plutôt que le glucose plasmatique pourrait être une limite importante de notre étude. En effet, les conditions expérimentales et le manque de ressources financières, nous ont fait opter pour des glycémies capillaires plutôt que des prélèvements sanguins. Même si des précautions ont été prises pour améliorer le contrôle de la qualité, comme utiliser une solution de contrôle pour calibrer le glucomètre ou encore, éviter de toucher le point d'application des bandelettes avec les doigts, il peut y avoir des différences entre les résultats obtenus avec le glucomètre et ceux obtenus par les laboratoires sanguins. Tout d'abord, la précision d'un glucomètre est moins élevée que l'appareil utilisé en laboratoire, même si celle-ci s'est grandement améliorée depuis la dernière décennie. Les glucomètres sont aussi plus sujets à des interférences. De plus, le contenu en oxygène du sang du participant peut fausser les résultats de la glycémie capillaire contrairement au glucose sanguin. Le niveau d'hydratation et la circulation sanguine vont aussi influencer les résultats obtenus par la glycémie capillaire. Finalement, les coefficients de variations sont moins grands avec les mesures du glucose en laboratoire que celles obtenues par le glucomètre (Dufraite-Patouraux, Vague et Lassmann-Vague, 2003).

Le type de protocole utilisé pour évaluer l'effet de la consommation d'un déjeuner avec différents indices glycémiques sur la performance de nos participants pourrait être une autre limite de cette étude. En effet, il a été difficile de comparer notre étude avec d'autres études car peu d'entre elles ont employé la course contre la montre comme protocole. La plupart des études ont utilisé un exercice réalisé jusqu'à épuisement et qui demandait de maintenir un VO_{2max} supérieur à 65 % pour favoriser l'utilisation des lipides. Il serait donc intéressant de répéter cette étude en utilisant un protocole d'épuisement tout en s'assurant d'avoir un travail effectué à plus de 65 % du VO_{2max} pour permettre au participant d'optimiser l'utilisation des lipides durant l'exercice.

Finalement, l'alimentation du participant les jours précédant la course contre la montre a pu avoir une influence sur les résultats. Pour éviter toute surcharge en glycogène, il aurait été bénéfique de fournir les repas aux participants, deux jours avant la course contre la montre

pour ainsi contrôler l'apport énergétique quotidien. Dû à un budget limité, il a été impossible de fournir tous les repas les deux journées précédant le protocole.

Conclusion

Modifier l'indice glycémique du repas consommé avant l'exercice peut offrir des bénéfices pour certaines situations. En effet, les athlètes qui ne peuvent pas consommer de glucides durant l'exercice ou qui sont sensibles aux réponses hyperinsulinémiques occasionnées par la consommation de glucides (hypoglycémique réactionnelle et diabétiques) pourraient tirer avantage à utiliser la méthode de l'indice glycémique pour choisir les aliments à prendre avant l'exercice physique. La plupart des recherches ont pu démontrer que la consommation d'un repas LGI permettait de diminuer les hyperglycémies et les hyperinsulinémies postprandiales ce qui peut être un avantage pour les athlètes sensibles aux variations glycémiques. Par contre, les études sont contradictoires en ce qui concerne l'amélioration de la performance après la consommation d'un repas LGI. Notre étude n'a pas permis d'affirmer que la consommation d'un repas LGI avant un exercice physique améliorerait la performance physique telle que rapportée dans certaines études. Cependant, notre recherche a pu mettre en lumière que la diversité des protocoles utilisés pour évaluer l'impact de l'indice glycémique sur la performance physique pouvait être en cause de cette grande variété de résultats. En effet, nous avons soulevé que la plupart des études avaient un mode d'administration des glucides avant l'exercice très différents passant de 15 minutes à 3 heures avant l'exercice. De plus, les protocoles d'exercice variaient beaucoup entre chaque étude. Certains utilisaient le vélo ou la course à pied comme mode d'exercice, d'autres employaient comme protocole la course contre la montre ou l'exercice jusqu'à épuisement. Pour l'instant, il faut encore d'autres études sur le sujet pour confirmer l'hypothèse que la consommation d'aliments LGI avant l'exercice physique améliore ou n'a pas d'impact sur la performance. D'autre part, pour les prochaines études, il sera important de considérer l'influence de l'indice insulinémique des aliments, car selon certains chercheurs cela aurait un impact sur l'indice glycémique du repas. Cet aspect est difficile à évaluer pour l'instant, car il n'y a pas de table exhaustive sur les aliments et leur indice insulinémique. Finalement, il serait intéressant de vérifier l'hypothèse soulevée par quelques auteurs qui mentionnent que la consommation de glucides durant un exercice réalisé en endurance diminue l'impact qu'occasionne l'ingestion d'un aliment ou d'un repas LGI

avant un exercice sur les glycémies sanguines (Burke et coll., 1998; Chen et coll., 2009; Wong et coll., 2008).

Bibliographie

- Achten, J., Gleeson, M., et Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 92-97.
- Ahlborg, B. , Bergstrom, J., et IG, Ekelund. (1967). Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 70, 129.
- Anastasiou, C. A., Kavouras, S. A., Koutsari, C., Georgakakis, C., Skenderi, K., Beer, M., et Sidossis, L. S. (2004). Effect of maltose-containing sports drinks on exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14(6), 609-625.
- Atkinson, G., Davison, R., Jeukendrup, A., et Passfield, L. (2003). Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 767-787. doi: 10.1080/0264041031000102097
- Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., et Saltin, B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2), 140-150.
- Bieuzen, F., Hauswirth, C., Louis, J., et Brisswalter, J. (2010). Age-related changes in neuromuscular function and performance following a high-intensity intermittent task in endurance-trained men. *Gerontology*, 56(1), 66-72. doi: 10.1159/000262286
- Borg, Gunnar. (1998). *Borg's Perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Brand-Miller, J., et Buyken, A. E. (2012). The glycemic index issue. *Current Opinion in Lipidology*, 23(1), 62-67. doi: 10.1097/MOL.0b013e32834ec705

- Burelle, Y., Lamoureux, M. C., Peronnet, F., Massicotte, D., et Lavoie, C. (2006). Comparison of exogenous glucose, fructose and galactose oxidation during exercise using 13C-labelling. *Br J Nutr*, 96(1), 56-61.
- Burke, L. (1995). Practical issues in nutrition for athletes. *Journal of Sports Sciences*, 13 Spec No, S83-90. doi: 10.1080/02640419508732281
- Burke, L. M. (2003). The IOC consensus on sports nutrition 2003: new guidelines for nutrition for athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 13(4), 549-552.
- Burke, L. M., Collier, G. R., et Hargreaves, M. (1998). Glycemic index--a new tool in sport nutrition? *International Journal of Sport Nutrition*, 8(4), 401-415.
- Burke, L. M., et Hawley, J. A. (1999). Carbohydrate and exercise. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2(6), 515-520.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., et Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29 Suppl 1, S17-27. doi: 10.1080/02640414.2011.585473
- Burke, L. M., et Read, R. S. (1987). A study of carbohydrate loading techniques used by marathon runners. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 12(1), 6-10.
- Burkitt, D. P., et Trowell, H. C. (1977). Dietary fibre and western diseases. *Irish Medical Journal*, 70(9), 272-277.
- Carbohydrates in human nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. (1998). *FAO Food and Nutrition Paper*, 66, 1-140.
- Chen, Y. J., Wong, S. H., Chan, C. O., Wong, C. K., Lam, C. W., et Siu, P. M. (2009). Effects of glycemic index meal and CHO-electrolyte drink on cytokine response and run performance in endurance athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 697-703. doi: 10.1016/j.jsams.2008.05.007

- Chew, I., Brand, J. C., Thorburn, A. W., et Truswell, A. S. (1988). Application of glycemic index to mixed meals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 47(1), 53-56.
- Chryssanthopoulos, C., Hennessy, L. C., et Williams, C. (1994). The influence of pre-exercise glucose ingestion on endurance running capacity. *British Journal of Sports Medicine*, 28(2), 105-109.
- Costill, D. L., Sherman, W. M., Fink, W. J., Maresh, C., Witten, M., et Miller, J. M. (1981). The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34(9), 1831-1836.
- Couture, S., Massicotte, D., Lavoie, C., Hillaire-Marcel, C., et Peronnet, F. (2002). Oral [(13)C]glucose and endogenous energy substrate oxidation during prolonged treadmill running. *J Appl Physiol (1985)*, 92(3), 1255-1260.
doi:10.1152/jappphysiol.00437.2001
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., et Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165-172.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., Lowe, R. C., et Walters, T. J. (1985). Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 429-433.
- Coyle, E. F., Jeukendrup, A. E., Oseto, M. C., Hodgkinson, B. J., et Zderic, T. W. (2001). Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280(3), E391-398.
- Cramp, T., Broad, E., Martin, D., et Meyer, B. J. (2004). Effects of preexercise carbohydrate ingestion on mountain bike performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(9), 1602-1609.

- Decombaz, J., Sartori, D., Arnaud, M. J., Thelin, A. L., Schurch, P., et Howald, H. (1985). Oxidation and metabolic effects of fructose or glucose ingested before exercise. *Int J Sports Med*, 6(5), 282-286.
- DeMarco, H. M., Sucher, K. P., Cisar, C. J., et Butterfield, G. E. (1999). Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 164-170.
- Devlin, J. T., Calles-Escandon, J., et Horton, E. S. (1986). Effects of preexercise snack feeding on endurance cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 60(3), 980-985.
- Donaldson, C. M., Perry, T. L., et Rose, M. C. (2010). Glycemic index and endurance performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20(2), 154-165.
- Dufaitre-Patouraux, L., Vague, P., & Lassmann-Vague, V. (2003). History, accuracy and precision of SMBG devices. *Diabetes Metab*, 29(2 Pt 2), S7-14.
- Earnest, C. P., Lancaster, S. L., Rasmussen, C. J., Kerksick, C. M., Lucia, A., Greenwood, M. C., Kreider, R. B. (2004). Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during simulated 64-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*, 18(3), 466-472. doi: 10.1519/R-xxxxx.1
- Faria, E. W., Parker, D. L., et Faria, I. E. (2005). The science of cycling: physiology and training - part 1. *Sports Medicine*, 35(4), 285-312.
- Febbraio, M. A., Keenan, J., Angus, D. J., Campbell, S. E., et Garnham, A. P. (2000). Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1845-1851.
- Febbraio, M. A., et Stewart, K. L. (1996). CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 81(3), 1115-1120.

- Foster-Powell, K., Holt, S. H., et Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 5-56.
- Foster-Powell, K., et Miller, J. B. (1995). International tables of glycemic index. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(4), 871S-890S.
- Foster, C., Costill, D. L., et Fink, W. J. (1979). Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Medicine and Science in Sports*, 11(1), 1-5.
- Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 628-634.
- Gilbert, N. (2009). Conference on "Multidisciplinary approaches to nutritional problems". Symposium on "Performance, exercise and health". Practical aspects of nutrition in performance. *Proceedings of the Nutrition Society*, 68(1), 23-28. doi: 10.1017/S0029665108008793
- Goulet, E. D. (2011). Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 45(14), 1149-1156. doi: 10.1136/bjism.2010.077966
- Hargreaves, M. (2001). Pre-exercise nutritional strategies: effects on metabolism and performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 26 Suppl, S64-70.
- Hargreaves, M., Costill, D. L., Fink, W. J., King, D. S., et Fielding, R. A. (1987). Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(1), 33-36.
- Hargreaves, Mark, et Spriet, Lawrence L. (2006). *Exercise metabolism* (2nd ed.). Champaign, IL ; Windsor: Human Kinetics.

- Hawley, J. A., et Burke, L. M. (1997). Effect of meal frequency and timing on physical performance. *British Journal of Nutrition*, 77 Suppl 1, S91-103. doi: S0007114597000123 [pii]
- Hermansen, L., Hultman, E., et Saltin, B. (1967). Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2), 129-139.
- Heyward, Vivian H., et Wagner, Dale R. (2004). *Applied body composition assessment* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Holt, S. H., Brand Miller, J. C., et Petocz, P. (1996). Interrelationships among postprandial satiety, glucose and insulin responses and changes in subsequent food intake. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50(12), 788-797.
- Hultman, E. (1967). Studies on muscle metabolism of glycogen and active phosphate in man with special reference to exercise and diet. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation. Supplement*, 94, 1-63.
- Hypertension Canada (2013). Ligne directrice du programme éducatif canadien sur l'hypertension. Repéré à <http://www.hypertension.ca/fr/chep>.
- IOC consensus statement on sports nutrition 2010. (2011). *Journal of Sports Sciences*, 29 Suppl 1, S3-4. doi: 10.1080/02640414.2011.619349
- Ivy, J. L. (1999). Role of carbohydrate in physical activity. *Clinics in Sports Medicine*, 18(3), 469-484, v.
- Jackson, A. S., et Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40(3), 497-504.
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., . . . Axelsen, M. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 266S-273S.

- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., . . . Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362-366.
- Jentjens, R. L., Venables, M. C., et Jeukendrup, A. E. (2004). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J Appl Physiol* (1985), 96(4), 1285-1291. doi: 10.1152/jappphysiol.01023.2003
- Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20(7-8), 669-677. doi:10.1016/j.nut.2004.04.017
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29 Suppl 1, S91-99. doi: 10.1080/02640414.2011.610348
- Jeukendrup, A. E., et Killer, S. C. (2010). The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 57 Suppl 2, 18-25. doi: 10.1159/000322698
- Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. (2000). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(12), 2130-2145.
- Joyner, M. J. (1993). Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performances. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 21, 103-133.
- Karamanolis, I. A., Laparidis, K. S., Volaklis, K. A., Douda, H. T., et Tokmakidis, S. P. (2011). The effects of pre-exercise glycemic index food on running capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 32(9), 666-671. doi: 10.1055/s-0031-1277180

- Kerksick, C., Harvey, T., Stout, J., Campbell, B., Wilborn, C., Kreider, R., . . . Antonio, J. (2008). International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*, 5, 17. doi: 10.1186/1550-2783-5-17
- Kirwan, J. P., Cyr-Campbell, D., Campbell, W. W., Scheiber, J., et Evans, W. J. (2001). Effects of moderate and high glycemic index meals on metabolism and exercise performance. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 50(7), 849-855. doi: 10.1053/meta.2001.24191
- Kirwan, J. P., O'Gorman, D., & Evans, W. J. (1998). A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *Journal of Applied Physiology*, 84(1), 53-59.
- Krogh, A., & Lindhard, J. (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. *Biochem J*, 14(3-4), 290-363.
- Leijssen, D. P., Saris, W. H., Jeukendrup, A. E., et Wagenmakers, A. J. (1995). Oxidation of exogenous [13C]galactose and [13C]glucose during exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 79(3), 720-725.
- Lepers, R., et Cattagni, T. (2012). Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? *Age (Dordr)*, 34(3), 773-781. doi: 10.1007/s11357-011-9271-z
- Lepers, R., Sultana, F., Bernard, T., Hausswirth, C., et Brisswalter, J. (2010). Age-related changes in triathlon performances. *International Journal of Sports Medicine*, 31(4), 251-256. doi: 10.1055/s-0029-1243647
- Levine sa, Gordon b, Derrick cl. (1924). Some changes in the chemical constituents of the blood following in a marathon race: with reference to the development of hypoglycemia. *JAMA*, 82, 1778.

- Ludwig, D. S., et Eckel, R. H. (2002). The glycemic index at 20 y. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 264S-265S.
- MacLaren, D. (2007). *Nutrition and sport*. Edinburgh ; New York: Elsevier.
- Massicotte, D., Peronnet, F., Adopo, E., Brisson, G. R., et Hillaire-Marcel, C. (1994). Effect of metabolic rate on the oxidation of ingested glucose and fructose during exercise. *Int J Sports Med*, 15(4), 177-180. doi: 10.1055/s-2007-1021043
- McArdle, William D., Katch, Frank I., et Katch, Victor L. (2001). *Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition, performance* (4e éd. ed.). Paris: Maloine/Edisem.
- Mondazzi, L., et Arcelli, E. (2009). Glycemic index in sport nutrition. *Journal of the American College of Nutrition*, 28 Suppl, 455S-463S.
- Moore, L. J., Midgley, A. W., Thomas, G., Thurlow, S., et McNaughton, L. R. (2009). The effects of low- and high-glycemic index meals on time trial performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(3), 331-344.
- Moore, L. J., Midgley, A. W., Thurlow, S., Thomas, G., et Mc Naughton, L. R. (2010). Effect of the glycaemic index of a pre-exercise meal on metabolism and cycling time trial performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 182-188. doi: 10.1016/j.jsams.2008.11.006
- O'Reilly, J., Wong, S. H., et Chen, Y. (2010). Glycaemic index, glycaemic load and exercise performance. *Sports Medicine*, 40(1), 27-39. doi: 10.2165/11319660-000000000-00000
- Okano, G., Sato, Y., Takumi, Y., et Sugawara, M. (1996). Effect of 4h preexercise high carbohydrate and high fat meal ingestion on endurance performance and metabolism. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 530-534. doi: 10.1055/s-2007-972890

- Pi-Sunyer, F. X. (2002). Glycemic index and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 290S-298S.
- Rodriguez, N. R., Di Marco, N. M., et Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 709-731.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., et Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology*, 265(3 Pt 1), E380-391.
- Santer, R., Hillebrand, G., Steinmann, B., et Schaub, J. (2003). Intestinal glucose transport: evidence for a membrane traffic-based pathway in humans. *Gastroenterology*, 124(1), 34-39. doi: 10.1053/gast.2003.50009
- Sato, Y., Hayamizu, S., Yamamoto, C., Ohkuwa, Y., Yamanouchi, K., et Sakamoto, N. (1986). Improved insulin sensitivity in carbohydrate and lipid metabolism after physical training. *International Journal of Sports Medicine*, 7(6), 307-310. doi: 10.1055/s-2008-1025781
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., et Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 377-390. doi: 10.1249/mss.0b013e31802ca597
- Sedlock, D. A. (2008). The latest on carbohydrate loading: a practical approach. *Curr Sports Med Rep*, 7(4), 209-213. doi: 10.1249/JSR.0b013e31817ef9cb
- Sherman, W. M., Costill, D. L., Fink, W. J., et Miller, J. M. (1981). Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2(2), 114-118. doi: 10.1055/s-2008-1034594

- Shils, Maurice E., et Shike, Moshe. (2006). *Modern nutrition in health and disease* (10th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Siu, P. M., et Wong, S. H. (2004). Use of the glycemic index: effects on feeding patterns and exercise performance. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 23(1), 1-6.
- Slama, G., Boillot, J., Hellal, I., Darmaun, D., Rizkalla, S. W., Orvoen-Frija, E., . . . Coursaget, J. (1989). Fructose is as good a fuel as glucose for exercise in normal subjects. *Diabete Metab*, 15(3), 105-106.
- Sparks, M. J., Selig, S. S., et Febbraio, M. A. (1998). Pre-exercise carbohydrate ingestion: effect of the glycemic index on endurance exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 844-849.
- Spriet, L. L., Lindinger, M. I., McKelvie, R. S., Heigenhauser, G. J., et Jones, N. L. (1989). Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of Applied Physiology*, 66(1), 8-13.
- Stannard, S. R., Thompson, M. W., et Brand Miller, J. C. (2000). The effect of glycemic index on plasma glucose and lactate levels during incremental exercise. / Effet de l'index glycémique sur le glucose plasmatique et les niveaux de lactate lors d'un exercice différentiel. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 10(1), 51-61.
- Statistique Canada (2009). Capacité aérobie au Canada 2007-2009. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-625-x/2010001/article/11092-fra.htm>
- Stevenson, E. J., Williams, C., Mash, L. E., Phillips, B., et Nute, M. L. (2006). Influence of high-carbohydrate mixed meals with different glycemic indexes on substrate utilization during subsequent exercise in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84(2), 354-360.

- Stumpel, F., Burcelin, R., Jungermann, K., et Thorens, B. (2001). Normal kinetics of intestinal glucose absorption in the absence of GLUT2: evidence for a transport pathway requiring glucose phosphorylation and transfer into the endoplasmic reticulum. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98(20), 11330-11335. doi: 10.1073/pnas.211357698
- Tanaka, H., et Seals, D. R. (2008). Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *J Physiol*, 586(1), 55-63. doi: 10.1113/jphysiol.2007.141879
- Thomas, D. E., Brotherhood, J. R., et Brand, J. C. (1991). Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. *International Journal of Sports Medicine*, 12(2), 180-186. doi: 10.1055/s-2007-1024664
- Thomas, D. E., Brotherhood, J. R., et Miller, J. B. (1994). Plasma glucose levels after prolonged strenuous exercise correlate inversely with glycemic response to food consumed before exercise. *International Journal of Sport Nutrition*, 4(4), 361-373.
- Tsintzas, K., et Williams, C. (1998). Human muscle glycogen metabolism during exercise. Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Medicine*, 25(1), 7-23.
- Wahren, J., Juhlin-Dannfelt, A., Bjorkman, O., DeFronzo, R., et Felig, P. (1982). Influence of fibre ingestion on carbohydrate utilization and absorption. *Clinical Physiology*, 2(4), 315-321.
- Wallis, G. A., Dawson, R., Achten, J., Webber, J., et Jeukendrup, A. E. (2006). Metabolic response to carbohydrate ingestion during exercise in males and females. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 290(4), E708-715. doi: 10.1152/ajpendo.00357.2005
- Warren, J. M., Henry, C. J., et Simonite, V. (2003). Low glycemic index breakfasts and reduced food intake in preadolescent children. *Pediatrics*, 112(5), e414.

- Wee, S. L., Williams, C., Gray, S., et Horabin, J. (1999). Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(3), 393-399.
- Wee, S. L., Williams, C., Tsintzas, K., et Boobis, L. (2005). Ingestion of a high-glycemic index meal increases muscle glycogen storage at rest but augments its utilization during subsequent exercise. *Journal of Applied Physiology*, 99(2), 707-714. doi: 10.1152/jappphysiol.01261.2004
- Widrick, J. J., Costill, D. L., Fink, W. J., Hickey, M. S., McConell, G. K., et Tanaka, H. (1993). Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 2998-3005.
- Wolever, T. M., et Jenkins, D. J. (1986). The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 43(1), 167-172.
- Wolever, T. M., Jenkins, D. J., Jenkins, A. L., et Josse, R. G. (1991). The glycemic index: methodology and clinical implications. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54(5), 846-854.
- Wolinsky, Ira, et Driskell, Judy A. (2008). *Sports nutrition : energy metabolism and exercise*. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis.
- Wong, Stephen H. S., Siu, Parco M., Lok, Andy, Chen, Y. J., Morris, John, et Lam, C. W. (2008). Effect of the glycaemic index of pre-exercise carbohydrate meals on running performance. *European Journal of Sport Science*, 8(1), 23-33. doi: 10.1080/17461390701819451
- Wu, C. L., Nicholas, C., Williams, C., Took, A., et Hardy, L. (2003). The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during subsequent exercise. *British Journal of Nutrition*, 90(6), 1049-1056.

Wu, C. L., et Williams, C. (2006). A low glycemic index meal before exercise improves endurance running capacity in men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 16(5), 510-527.

Yoon, J. H., Thompson, L. U., et Jenkins, D. J. (1983). The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response. *Am J Clin Nutr*, 38(6), 835-842.

Annexe 1 : Q-AAP

Q-AAP et VOUS

(Un questionnaire pour les gens de 15 à 69 ans)

L'exercice physique pratiqué d'une façon régulière constitue une occupation de loisir saine et agréable. D'ailleurs, de plus en plus de gens pratiquent une activité physique de façon régulière. Règle générale, augmenter la pratique sportive n'entraîne pas de risques de santé majeurs. Dans certains cas, il est cependant conseillé de passer un examen médical avant d'entreprendre un programme régulier d'activités physiques. Le Q-AAP (questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique) vise à mieux cerner les personnes pour qui un examen médical est recommandé.

Si vous prévoyez modifier vos habitudes de vie pour devenir un peu plus actif(ve), commencez par répondre aux 7 questions qui suivent. Si vous êtes âgé(e) de 15 à 69 ans, le Q-AAP vous indiquera si vous devez ou non consulter un médecin avant d'entreprendre votre nouveau programme d'activités. Si vous avez plus de 69 ans et ne participez pas d'une façon régulière à des activités physiques exigeantes, vous devriez consulter votre médecin avant d'entreprendre ces activités.

Lisez attentivement et répondez honnêtement à chacune des questions suivantes. Le simple bon sens sera votre meilleur guide pour répondre correctement à ces questions. Cochez OUI ou NON.

OUI	NON	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque et que vous ne deviez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine lorsque vous faites de l'activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Au cours du dernier mois, avez-vous ressenti des douleurs à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participiez à une activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires (par exemple, au dos, au genou ou à la hanche) qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Connaissez-vous une autre raison pour laquelle vous ne devriez pas faire de l'activité physique?

Si vous
avez
répondu

OUI à une ou plusieurs questions

Consultez votre médecin AVANT d'augmenter votre niveau de participation à une activité physique et AVANT de faire évaluer votre condition physique. Dites à votre médecin que vous avez complété le questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique et expliquez-lui précisément à quelles questions vous avez répondu «OUI».

- Il se peut que vous n'avez aucune contre-indication à l'activité physique dans la mesure où vous y allez lentement et progressivement. Par ailleurs, il est possible que vous ne puissiez faire que certains types d'efforts adaptés à votre état de santé. Indiquez à votre médecin le type d'activité physique que vous comptez faire et suivez ses recommandations.
- Informez-vous quant aux programmes d'activités spécialisés les mieux adaptés à vos besoins, offerts dans votre localité.

NON à toutes ces questions

Si, en toute honnêteté, vous avez répondu «NON» à toutes les questions du Q-AAP, vous êtes dans une certaine mesure, assuré(e) que:

- vous pouvez augmenter votre pratique régulière d'activités physiques en commençant lentement et en augmentant progressivement l'intensité des activités pratiquées. C'est le moyen le plus simple et le plus sécuritaire d'y arriver.
- vous pouvez faire évaluer votre condition physique. C'est le meilleur moyen de connaître votre niveau de condition physique de base afin de mieux planifier votre participation à un programme d'activités physiques.

REMETTRE À PLUS TARD L'AUGMENTATION DE VOTRE PARTICIPATION ACTIVE :

- si vous souffrez présentement de fièvre, d'une grippe ou d'une autre affection passagère, attendez d'être remis(e); ou
- si vous êtes enceinte ou croyez l'être, consultez votre médecin avant de modifier votre niveau de pratique sportive régulière.

Veillez noter que si votre état de santé se trouve modifié de sorte que vous deviez répondre «OUI» à l'une ou l'autre des questions précédentes, consultez un professionnel de la santé ou de la condition physique, afin de déterminer s'il vous faut modifier votre programme d'activités.

Formule de consentement du Q-AAP: La Société canadienne de physiologie de l'exercice, Santé Canada et ses représentants n'assument aucune responsabilité vis-à-vis des accidents qui pourraient survenir lors de l'activité physique. Si, après avoir complété le questionnaire ci-dessus, un doute persiste quant à votre aptitude à faire une activité physique, consultez votre médecin avant de vous y engager.

Toute modification est interdite. Nous vous encourageons à copier le Q-AAP dans sa totalité.

Dans la mesure où le Q-AAP est administré avant que la personne ne s'engage dans un programme d'activités ou qu'elle fasse évaluer sa condition physique, la section suivante constitue un document ayant une valeur légale et administrative.

«Je sous-signé(e) affirme avoir lu, compris et complété le questionnaire et avoir reçu une réponse satisfaisante à chacune de mes questions.»

NOM _____

SIGNATURE _____

DATE _____

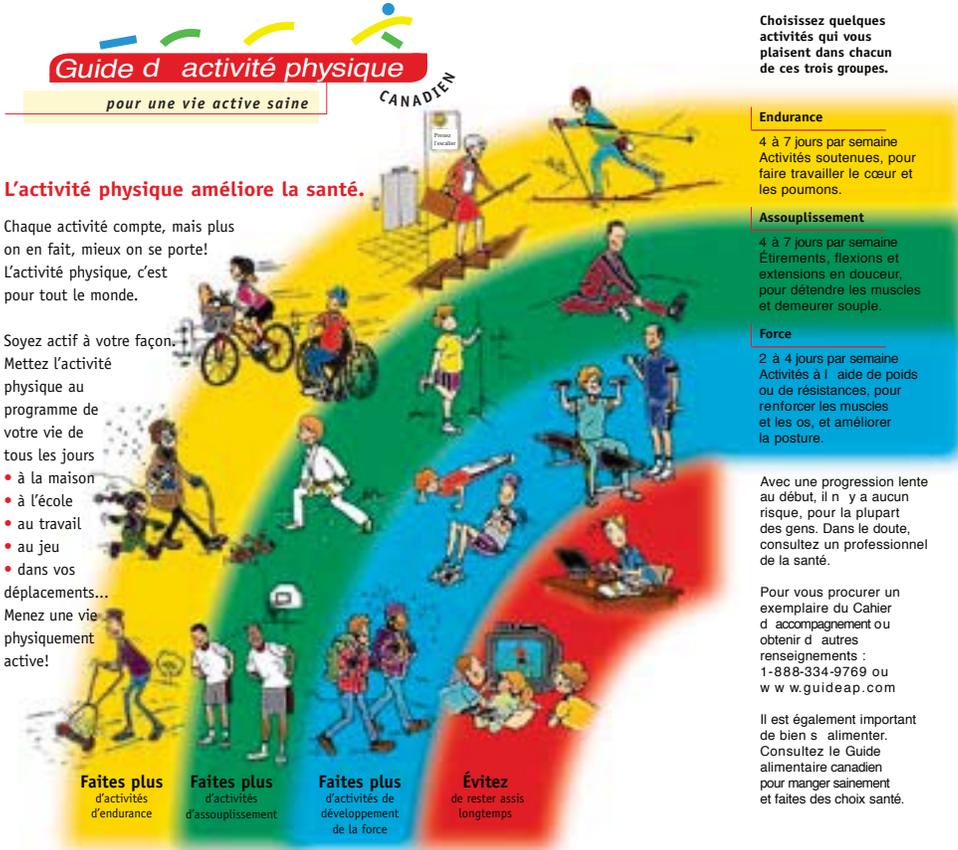
SIGNATURE D'UN PARENT
or TUTEUR (pour les mineurs) _____

TÉMOIN _____

N.B.— Cette autorisation de faire de l'activité physique est valide pour une période maximale de 12 mois à compter du moment où le questionnaire est rempli. Elle n'est plus valide si votre état de santé change de telle sorte que vous répondez «OUI» à l'une des sept questions.

Q-AAP et VOUS

Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique - Q-AAP (version révisée en 2002)



Guide d'activité physique
pour une vie active saine

CANADIEN

L'activité physique améliore la santé.

Chaque activité compte, mais plus on en fait, mieux on se porte! L'activité physique, c'est pour tout le monde.

Soyez actif à votre façon. Mettez l'activité physique au programme de votre vie de tous les jours

- à la maison
- à l'école
- au travail
- au jeu
- dans vos déplacements...

Menez une vie physiquement active!

Faites plus d'activités d'endurance

Faites plus d'activités d'assouplissement

Faites plus d'activités de développement de la force

Évitez de rester assis longtemps

Choisissez quelques activités qui vous plaisent dans chacun de ces trois groupes.

Endurance

4 à 7 jours par semaine
Activités soutenues, pour faire travailler le cœur et les poumons.

Assouplissement

4 à 7 jours par semaine
Étirements, flexions et extensions en douceur, pour détendre les muscles et demeurer souple.

Force

2 à 4 jours par semaine
Activités à l'aide de poids ou de résistances, pour renforcer les muscles et les os, et améliorer la posture.

Avec une progression lente au début, il n'y a aucun risque, pour la plupart des gens. Dans le doute, consultez un professionnel de la santé.

Pour vous procurer un exemplaire du Cahier d'accompagnement ou obtenir d'autres renseignements : 1-888-334-9769 ou www.guideap.com

Il est également important de bien s'alimenter. Consultez le Guide alimentaire canadien pour manger sainement et faites des choix sains.

Soyez actif à votre façon, tous les jours, à tout âge!

Les scientifiques affirment qu'il faut faire 60 minutes d'activité physique par jour pour demeurer en forme ou améliorer sa santé. À mesure que vous passerez à des activités plus intenses, vous pourrez réduire cet objectif à 30 minutes, 4 jours par semaine. Combinez diverses activités d'au moins 10 minutes chacune. Commencez lentement, puis augmentez graduellement le rythme.

La durée recommandée varie selon l'effort.

Intensité très légère	Intensité légère	Intensité moyenne	Intensité élevée	Intensité très élevée
60 minutes	30 - 60 minutes	20 - 30 minutes		
<ul style="list-style-type: none"> • Marcher d'un pas lentement • Épousseter 	<ul style="list-style-type: none"> • Marcher d'un pas modéré • Jouer au volley-ball • Effectuer de légers travaux de jardinage • Faire des exercices d'étirement 	<ul style="list-style-type: none"> • Faire d'un bon pas de la bicyclette • Ramasser des feuilles • Nager • Danser • Suivre une classe d'aérobic aquatique 	<ul style="list-style-type: none"> • Suivre une classe de danse aérobique • Faire du jogging • Jouer au hockey • Jouer au basket-ball • Nager ou danser à un rythme continu 	<ul style="list-style-type: none"> • Faire des sprints • Participer à une compétition de course à pied

Les niveaux d'activité pour rester en santé

Allez-y. Vous aussi, vous en êtes capable.

L'activité physique n'a pas besoin d'être très difficile. Ajoutez des activités physiques à vos occupations habituelles.

- Marchez chaque fois que vous en avez l'occasion, descendez de l'autobus un peu plus tôt et utilisez l'escalier plutôt que l'ascenseur.
- Évitez de demeurer inactif pendant de longues périodes, comme lorsqu'on regarde la télé.
- Levez-vous de votre siège, étirez-vous, faites des exercices d'assouplissement pendant quelques minutes toutes les heures.
- Activez-vous en jouant avec vos enfants.
- Pour les courtes distances, choisissez la bicyclette, la marche ou, si l'y a lieu, le fauteuil roulant.
- Commencez par une promenade à pied d'une dizaine de minutes, puis augmentez-en la durée graduellement.
- Renseignez-vous sur les pistes cyclables et les sentiers de randonnée pédestre les plus proches et utilisez-les.
- Observez le déroulement d'un cours d'activité physique pour voir si vous aimeriez y participer.
- Commencez par un cours, il n'est pas nécessaire de s'engager à long terme.
- Pratiquez plus souvent les activités physiques que vous faites déjà.

Les bienfaits de l'activité régulière : Les risques liés à l'inactivité :

- meilleure santé
- meilleure condition physique
- amélioration de la posture et de l'équilibre
- meilleure estime de soi
- contrôle du poids
- renforcement des muscles et des os
- regain d'énergie
- détente et contrôle du stress
- plus grande autonomie au troisième âge
- décès prématuré
- maladies du cœur
- obésité
- hypertension artérielle
- diabète de maturité
- ostéoporose
- accidents cardiovasculaires
- dépression
- cancer du côlon

Source: Guide d'activité physique canadien pour une vie saine, Santé Canada, 1998 <http://www.hc-sc.gc.ca/hppb/guideap/pdf/guidefre.pdf>

© Reproduit avec la permission du Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2002.

AUX PROFESSIONNELS DE LA CONDITION PHYSIQUE ET DE LA SANTÉ :

Les formulaires complémentaires suivants sont aussi disponibles. Veuillez consulter notre site web à l'adresse : <http://www.csep.ca/formulaires.asp>.

L'Évaluation médicale de l'aptitude à l'activité physique (PARmed-X). Formulaire conçu pour le médecin traitant de la personne ayant répondu "OUI" à au moins une des questions du Q-AAP.

L'Évaluation médicale de l'aptitude à l'activité physique pour la grossesse (PARmed-X pour femmes enceintes). Formulaire conçu pour le médecin dont les patientes enceintes veulent faire de l'activité physique.

Références :

Arraix, G.A., Wigle, D.T., Mao, Y. (1992). Risk Assessment of Physical Activity and Physical Fitness in the Canada Health Survey Follow-Up Study. **J. Clin. Epidemiol.** 45:4 419-428.

Mottola, M., Wolfe, L.A. (1994). Active Living and Pregnancy, In: A. Quinney, L. Gauvin, T. Wall (eds.), **Toward Active Living: Proceedings of the International Conference on Physical Activity, Fitness and Health**. Champaign, IL: Human Kinetics.

PAR-Q Validation Report, British Columbia Ministry of Health, 1978.

Thomas, S., Reading, J., Shephard, R.J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). **Can. J. Spt. Sci.** 17:4 338-345.

Pour télécharger les copies additionnels, veuillez consulter notre site web : <http://www.csep.ca/formulaires.asp>. Pour plus d'informations veuillez contacter la :

Société canadienne de physiologie de l'exercice
202-185 rue Somerset Ouest
Ottawa (Ontario) CANDADA K2P 0J2
Tél. (sans frais) 1-877-651-3755 • Téléc. (613) 234-3565
Site web : www.csep.ca

Le Q-AAP original a été conçu par le ministère de la Santé de la Colombie-Britannique. Il a été révisé par les membres d'un Comité consultatif d'experts de la Société canadienne de physiologie de l'exercice sous la direction du Dr N. Gledhill (2002).

Available in English under the title: "Physical Activity Readiness Questionnaire - PAR-Q and YOU (revised 2002)"

Annexe 2 : Questionnaire médical

QUESTIONNAIRE

Nom : _____ Date (JJ/MM/AAAA) : _____

Dossier : _____

Ce questionnaire sera rempli avec un membre du personnel de l'étude lors de la première visite.

DATE DE NAISSANCE (JJ/MM/AAAA): ____ / ____ / ____

ORIGINE ETHNIQUE : _____

EMPLOIE :

_____ Oui _____ Non

ACTIVITÉ PHYSIQUE :

Vous pratiquez le vélo de route depuis combien de temps? _____

Combien de kilomètres faites-vous en moyenne par semaine? _____

Nombre d'heures par semaine? _____

Faites-vous d'autres types d'activité physique? _____

_____ Oui _____ Non

Si oui :

De quel type? _____

Depuis combien de temps? _____

Fréquence/semaine? _____

Durée/semaine? _____

MÉDICAMENTS :

Prenez-vous des médicaments?

_____ Oui _____ Non

Si oui, précisez (type, temps) :

DIABÈTE :

Êtes-vous diabétique?

_____ Oui _____ Non

Si oui :

De quel type? _____

Depuis combien de temps? _____

Y a-t-il des personnes diabétiques de type 2 dans votre famille?

_____ Oui _____ Non

Si oui, précisez :

HABITUDES TABAGIQUES (CIGARETTE, PIPE OU CIGARE) :

Êtes-vous fumeur ou avez-vous déjà fumé?

_____ Jamais _____ Occasionnel
 _____ Actuel _____ Ancien

Si oui :

Nombre par jour : _____

Date de début : _____

Date d'arrêt : _____

CONSOMMATION D'ALCOOL :

À quelle fréquence consommez-vous de l'alcool?

_____ Jamais _____ Occasionnel
 _____ Épisodique _____ Régulier

Nombre de consommation moyenne par jour : _____

Nombre de consommation moyenne par semaine : _____

CONSOMMATION DE CAFÉINE :

À quelle fréquence consommez-vous de la caféine?

_____ Jamais _____ Occasionnel
_____ Épisodique _____ Régulier

Nombre de consommation moyenne par jour : _____

AIDES ERGOGÉNIQUES :

Vous arrive-t-il de consommer des aides ergogéniques avant, pendant ou après un entraînement?

_____ Oui _____ Non

Si oui :

Quel(s) type(s) et à quelle fréquence?

Pourquoi?

HISTOIRE MÉDICALE PERSONNELLE :

AUTRE :

Avez-vous participé à un autre projet de recherche au cours des trois derniers mois?

_____ Oui _____ Non

SUR LA BASE DU QUESTIONNAIRE :

Éligible :

_____ Oui _____ Non

Annexe 3 : Certificat du comité de l'éthique de l'UQAC



Université du Québec à Chicoutimi

APPROBATION ÉTHIQUE

Dans le cadre de l'Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la *Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains* de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

La présente est délivrée pour la période du 16 mai au 31 décembre 2008

Pour le projet de recherche intitulé : *Impact de l'index glycémique sur la tolérance à l'effort de cyclistes de haut niveau.*

Chercheur responsable du projet de recherche : *Patricia Blackburn*

Fait à Ville de Saguenay, le 16 mai 2008

Jean-Pierre Béland
Président du Comité d'éthique
de la recherche avec des êtres humains

Le 27 mars 2009

Madame Patricia Blackburn
Professeur au département des sciences humaines
Université du Québec à Chicoutimi

**OBJET : Approbation – Prolongation d'une approbation éthique
Impact de l'index glycémique sur la tolérance à l'effort de cyclistes de
haut niveau.
N/Dossier : 602.125.02**

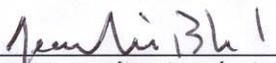
Madame,

Lors de sa réunion tenue le **23 mars 2009**, le CER restreint a étudié votre demande de prolongation de l'approbation éthique concernant le projet de recherche cité en rubrique.

Il a alors été décidé à l'unanimité de prolonger votre approbation éthique puisque votre projet rencontrait les exigences applicables en matière d'éthique et, par conséquent, de vous délivrer la présente prolongation, laquelle est valide jusqu'au **1^{er} septembre 2009**.

Nous vous rappelons qu'il est de la responsabilité du chercheur de toujours détenir une approbation éthique **valide**, et ce, tout au long de la recherche. De plus, toute modification au protocole d'expérience et/ou aux formulaires joints à ce protocole d'expérience doit être approuvée par le Comité d'éthique de la recherche.

En vous souhaitant la meilleure des chances dans la poursuite de vos travaux, veuillez accepter, Madame, nos salutations distinguées.


Jean-Pierre Béland, président

/mjd

Annexe 4 : Journaux alimentaire et d'activité physique

Journal alimentaire

Nom : _____ Jour n° : _____ Date (jj/mm/aaaa) : _____
Dossier : _____ Jour de la semaine : _____ Protocole : _____

Médicaments et suppléments

Médicament :	Suppléments vitaminiques :	Suppléments alimentaires :
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
Autres :	Suppléments naturels ou herbes :	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Collation avant-midi		Collation après-midi		Collation soirée	
Heure :		Heure :		Heure :	
Lieu :		Lieu :		Lieu :	
Quantité	Aliments	Quantité	Aliments	Quantité	Aliments

Commentaire :

Annexe 5 : Protocole pour le test de la bioimpédance

Université du Québec à Chicoutimi 4 ^e étage Pavillon des humanités 555, boulevard de l'Université Chicoutimi, Québec G7H 2B1	Service	Version de la procédure	Page
	Clinique de kinésiologie Local H4-1480	Version 01	1 de 3
	Procédure		
	Détermination du pourcentage de gras par l'intermédiaire de la bioimpédance		
Date d'entrée en vigueur	2008/08/19		

Historique de la procédure		
	Nom	Date
Élaborée et rédigée par	Anne-Marie Villeneuve	2008/04/27
Révisée par	Patricia Blackburn	2008/07/29
Approuvée par	Patricia Blackburn	2008/08/19

1.0 But

La composition corporelle est un élément qui varie selon l'âge, le stade de développement, le sexe et l'intensité d'entraînement du sujet. Elle influencera de manière positive ou négative le développement de certaines maladies (ostéoporose, diabète, maladies cardiovasculaires, etc.), la performance physique et le métabolisme de base. Depuis plusieurs années, les professionnels de la santé utilisent l'analyse de la composition corporelle comme un complément à l'élaboration du plan de traitement et la détermination de facteurs de risque pour le développement de maladies chroniques.

L'analyse par impédance bioélectrique est une méthode indirecte qui permet d'évaluer la composition corporelle du sujet. Cette technique est basée sur les propriétés électriques et conductrices des tissus et des organes du corps humain. En effet, les fluides corporels et les électrolytes sont de très bons conducteurs tandis que le gras, les os et les poumons sont de mauvais conducteurs au signal électrique. Cet appareil induit un signal électrique de faible énergie, à haute fréquence (50 KHz) et elle mesurera la résistance de base au flux de courant électrique. Cependant, l'analyse peut être biaisée par certains facteurs externes (la consommation de caféine, l'hydratation, le cycle menstruel, etc.) d'où l'importance d'instaurer un protocole pour l'utilisation de cette méthode.

2.0 Matériel

- 1) Balance impédancemètre professionnelle (TBF-300A de marque TANITA^{mc})
- 2) Boîtier de contrôle TBF-300A de marque TANITA^{mc}
- 3) Chiffon doux
- 4) Produit nettoyage doux
- 5) Débarbouillette humide
- 6) Serviette sèche

3.0 Procédure

3.1 Protocole précédant le test :

- Aucune consommation d'alcool 48 heures précédant le test.
- Aucun exercice d'intensité élevée 12 heures précédant le test.
- Aucune prise de médicaments diurétiques 7 jours précédant le test.
- Aucune consommation de caféine, de liquides et d'aliments 4 heures précédant le test.
- Vider la vessie 30 minutes précédant le test.

3.2 Protocole lors de l'analyse de la composition corporelle

- Toujours faire l'analyse à la même heure durant la journée.
- Installer l'appareil sur une surface horizontale et stable.
- Aucune vibration autour de l'appareil.
- Nettoyer les électrodes avec un chiffon doux imbibé d'un nettoyant avant chaque pesée.
- Peser les vêtements du sujet avant l'analyse de la composition corporelle.
- Demander au sujet de nettoyer ses pieds avec une débarbouillette d'eau tiède avant le début de l'analyse et assécher ceux-ci avec une serviette propre.
- La présence de corps calleux au talon peut interférer les résultats, ajouter 0,5 ml d'eau au centre de chacune des électrodes de l'appareil.
- Peser le sujet les pieds nus.

3.3 Mesure de la composition corporelle

- Brancher l'appareil sur une prise de secteur.
- Vérifier la quantité de papier dans la boîte de contrôle pour l'impression des rapports.
- Appuyer sur la touche (ON/OFF) pour mettre l'appareil sous tension.
- Insérer le poids des vêtements en kg.
- Spécifier le sexe du sujet et le type corporel (athlète ou standard).

NB : Un sujet sera considéré « athlète » si celui-ci a une pulsation cardiaque au repos en bas de 60 battements par minute et qu'il pratique une activité physique intense plus de 10 heures par semaine.

- Insérer l'âge à l'aide de 2 chiffres.
- Insérer la taille en centimètre.
- Monter sur la balance pieds nus lorsque la flèche clignote à côté de STEP ON.
- Positionner les pieds du sujet sur la balance pour que ses talons soient exactement sur le dessus des électrodes postérieures et l'avant des pieds en contact avec les électrodes antérieures.
- La mesure de l'impédance sera prise lors de l'apparition des quatre « bulles » qui s'affichent en bas de l'écran LCD.
- Attendre la disparition de la dernière « bulle » avant de descendre de la plate-forme et que l'appareil n'ait émis un bref signal sonore.
- Lorsque l'impression du rapport est terminée, mettre l'appareil hors tension en appuyant sur (ON/OFF).
- Nettoyer les électrodes avec un chiffon doux imbibé de nettoyant.
- Ajouter le rapport dans le cahier du participant.

4.0 Références

- 1**-Tanita body composition analyzer goal setter TBF-300A, instruction manual p.83-119
- 2**-Tanita body composition analyzer, technical notes p.33-46
- 3**-Dunford M and sports, cardiovascular and wellness nutritionists dietetic practice group, *Sports Nutrition, A practice manual for professionals* ,4 ème edition, American dietetic association, 2006, p.177-207

Annexe 6 : Échelle de Borg

**ÉCHELLE DE BORG POUR LA MESURE DE
L'INTENSITÉ SUBJECTIVE DE L'EFFORT**

PERCEPTION DE L'INTENSITÉ DE L'EFFORT	LIEN AVEC UNE SÉANCE TYPE D'ACTIVITÉ PHYSIQUE
6	Échauffement/retour au calme
7 Très très légère	
8	
9 Très légère	
10	
11 Moyenne	Zone cible
12	
13 Un peu difficile	
14	
15 Pénible	
16	Zone d'effort très intense
17 Très pénible	
18	
19 Très très pénible	
20	

Adapté de Borg, G.A.V.
Borg's perceived exertion and pain scales.
Champaign, IL: Human Kinetics.

Annexe 7 : Journée avant le protocole d'épuisement



Instructions pour la journée précédant le protocole d'épuisement

- 1) Aucune consommation d'alcool 48 heures précédant le test.
- 2) Aucune consommation de caféine 24 heures précédant le test (*café, thé, boisson énergétique, boisson gazeuse, chocolat, lait ou friandise chocolatée*).
- 3) Aucune consommation de produits naturels (ex : glucosamine).
- 4) Aucune consommation de médicaments pour le rhume, la toux, l'asthme ou d'analgésiques 24 heures précédant le test.
- 5) Aucune prise de diurétiques 7 jours précédant le test.
- 6) Aucune pratique d'activité physique 24 heures précédant le test.
- 7) Consommer le déjeuner qui vous a été remis par l'équipe de recherche, 3 heures avant votre arrivée au laboratoire.
- 8) **Si vous ne consommez pas tous les aliments ou liquides** remis pour le déjeuner, il sera important de remettre les restes de chacun des aliments dans leur contenant original et d'indiquer sur l'emballage pour quelles raisons vous ne les avez pas mangés. Par la suite, rapporter tous vos restants à l'équipe de recherche pour que ceux-ci puissent les peser.
- 10) Si malheureusement vous pratiquez une activité physique la journée précédant le test, indiquez-le dans votre journal d'activité physique.
- 11) Indiquer dans votre journal alimentaire tous les aliments et liquides ingérés lors de cette journée.
- 12) Apporter votre vélo de route la journée du test et vos vêtements de sport.

Si malencontreusement vous dérogez de ces consignes, il est très important d'aviser l'équipe de recherche car ceci pourrait avoir un impact sur les résultats finaux.

Personne à contacter en cas de questionnement :

Patricia Blackburn
418 545-5011 poste 2206