

Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ?

Travail de Bachelor

Michaël MARQUIS

N° matricule : 16507261

Juliana MOLL

N° matricule : 19543917

Directeur/Directrice : Jocelyne LAURE – Professeure HES associée
Robin ROSSET – PhD, Enseignant vacataire HES
Membre(s) du jury : Maaïke KRUSEMAN – Diététicienne ASDD, PhD, MK-
Nutrition.

Juillet, 2022

Filière Nutrition et Diététique
Haute école de santé de Genève

Déclaration

Ce travail de Bachelor a été réalisé en vue de l'obtention du titre de *Bachelor of Science HES-SO en Nutrition et Diététique*. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans ce travail, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité des auteurs, ni celle du directeur ou de la directrice du travail de Bachelor, du jury et de la HEdS-GE.

Nous attestons avoir réalisé seuls le présent travail sans avoir plagié ou utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie.

Fait à Genève, le 29 juillet 2022

Michaël MARQUIS

Juliana MOLL

Remerciements

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre directrice de Travail de Bachelor, **Madame Jocelyne Laure**, ainsi qu'à notre co-directeur, **Monsieur Robin Rosset**, pour leur accompagnement, leur disponibilité et leur relecture. La réalisation de ce Travail de Bachelor n'aurait pas été possible sans leur implication rigoureuse.

Nous tenons également à remercier **Monsieur Jean-David Sandoz**, bibliothécaire de la HEdS-GE, pour son aide précieuse.

Nous remercions aussi chaleureusement **Lorena Moll** et **Julie Mouttet** pour leur relecture et le temps consacré.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Liste des abréviations.....	vii
Résumé	ix
Liste des tableaux	x
Liste des figures	x
1. Introduction.....	12
1.1 Historique et futur de la performance sportive	12
1.1.1 Rôles et intérêts des glucides dans la performance sportive.....	13
1.2 Physiologie de l'exercice.....	13
1.2.1 Métabolisme des glucides	13
1.2.2 La vitesse d'absorption	14
1.2.2.1 La glycémie et l'insuline	15
1.2.3 Métabolisme du glucose	16
1.2.3.1 La glycolyse	16
1.2.3.2 La glycogénogenèse	17
1.2.4 L'oxydation glucidique	17
1.2.5 L'oxydation lipidique.....	17
1.2.6 Métabolisme pendant l'exercice	18
1.2.7 Les filières énergétiques	18
1.2.7.1 Le système phosphagène	18
1.2.7.2 Le système glycolytique	19
1.2.7.3 La respiration mitochondriale.....	19
1.3 La nutrition sportive de nos jours.....	20
1.3.1 Différentes catégories de sports	20
1.3.1.1 Sports d'endurance	21
1.3.1.2 Sports de résistance	21
1.3.1.3 Sports intermittents.....	22
1.3.2 Les différents types de glucides	22
1.3.3 Les recommandations nutritionnelles	22
1.3.3.1 Avant	23
1.3.3.2 Pendant	23
1.3.3.3 Après	24
1.3.4 Le glucose et la combinaison glucose-fructose	24
1.4 L'isomaltulose	25
1.4.1 La composition.....	25

1.4.2	L'absorption et le métabolisme.....	26
1.4.3	L'indice glycémique	26
1.4.4	Les troubles gastro-intestinaux	27
2.	Méthodologie	28
2.1	Introduction	28
2.2	Question de recherche	28
2.2.1	Stratégie de format PICO	28
2.2.2	Question de recherche	29
2.3	Hypothèses.....	29
2.3.1	Hypothèse principale	29
2.4	Buts et objectifs	29
2.5	Design.....	30
2.6	Stratégies de recherche documentaire	30
2.6.1	Mots-clés et équation de recherche	32
2.7	Sélection des études	32
2.7.1	Critères d'inclusion et d'exclusion	32
2.7.1.1.	Critères d'inclusion	33
2.7.1.2.	Critères d'exclusion.....	33
2.7.2	Sélection des outcomes	33
2.7.3	Évaluation de la qualité.....	34
2.7.4	Prisma flow	34
2.7.5	Présentation des articles	35
3.	Résultats.....	36
3.1	Récapitulatif des études.....	36
3.2	Présentation des études et résultats	37
3.2.1	Caractéristiques de la population	38
3.2.2	Catégories de sports et apports en glucides	39
3.2.3	Évolution de la glycémie et de l'insuline.....	41
3.2.4	Évolution de l'oxydation glucidique et lipidique.....	44
3.2.5	Tolérance digestive	46
3.2.6	Impact de l'ISO sur les performances physiques.....	47
3.3	Financement des études.....	48
3.4	Résultats par études.....	50
3.5	Synthèses des résultats d'études	50
3.5.1	Résultats des articles ISO vs MDX.....	50
3.5.1.1	La glycémie	50
3.5.1.2	L'insuline	51

3.5.1.3	L'oxydation glycémique.....	51
3.5.1.4	L'oxydation lipidique	51
3.5.1.5	Les troubles gastro-intestinaux.....	51
3.5.1.6	Les performances sportives	51
3.5.2	Résultats des articles ISO vs FRUMDX vs SUC vs GLUFRU	52
3.5.2.1	Glycémie	52
3.5.2.2	Insuline	52
3.5.2.3	L'oxydation glycémique.....	52
3.5.2.4	L'oxydation lipidique	52
3.5.2.5	Les troubles gastro-intestinaux.....	52
3.5.2.6	Les performances sportives	52
4.	Discussion.....	54
5.	Biais, limites et points forts	59
5.1	Biais, limites et points forts des études	59
5.2	Biais, limites et points forts de notre travail	59
6.	Perspectives	60
7.	Proposition de guide	60
8.	Conclusion	62
9.	Listes des références	63
10.	Bibliographie	66
11.	Annexes	69
11.1	Annexe 1 : Tableau des différentes recommandations nutritionnelles de CHO durant l'exercice	69
11.2	Annexe 2 : Processus méthodologique	70
11.3	Annexe 3 : Tableau de grade de recommandations et de niveaux de preuves scientifiques selon la HAS (41)	72
11.4	Annexe 4 : Grille JBI : Analyse qualité	73
11.5	Annexe 5 : Tableaux Excel	Erreur ! Signet non défini.
11.6	Annexe 6 : Tableau de présentation des articles et leurs outcomes	81
11.7	Annexe 7 : Schémas glycémiques	84
11.8	Annexe 8 : Protocole de Travail de Bachelor.....	88
	Table des matières.....	89
1.	Résumé.....	90
2.	Introduction.....	91
2.1.	Justification.....	92
3.	Question de recherche	93

3.1. PICO	93
4. Méthodes	93
4.1. But	93
4.2. Bases de données	93
4.3. Mots clés.....	94
5. Critères d'inclusion et d'exclusion	95
5.1. Critères d'inclusion.....	95
5.2. Critères d'exclusion	95
6. Analyse de la qualité	96
6.1. Extraction des données	96
6.2. Calendrier	96
7. Considérations éthiques.....	96
8. Budget et ressources	96
9. Bibliographie	97
10. Annexes	98
10.1. Annexe 1 : Grille d'analyse de la qualité.....	98
10.2. Annexe 2 : Calendrier	100

Liste des abréviations

AMP	Adénosine monophosphate
ATP	Adénosine triphosphate
CHO	Hydrate de carbone
CrP	Phosphate de créatine
FAD	Flavine adénine dinucléotide
FADH2	Flavine adénine dinucléotide sous forme réduite
FCmax	Fréquence cardiaque maximale
FRU	Fructose
FRUMDX	Fructose-maltodextrine
GLU	Glucose
GLUFRU	Glucose-fructose
G-6-P	Glucose-6-phosphate
HEdS-GE	Haute école de santé Genève
IG	Indice glycémique
ISO	Isomaltulose
MDX	Maltodextrine
NAD+	Nicotinamide adénine dinucléotide
NADH, H+	Nicotinamide adénine dinucléotide sous forme réduite
PDH	Pyruvate-déshydrogénase
PLA	Placebo
QR	Question de recherche
RCT	Essai randomisé contrôlé
SAC	Saccharose
SUC	Sucrose
TD	Troubles digestifs
TB	Travail de Bachelor
VO₂ max (ml/kg/min)	Consommation maximale d'oxygène

WAT

Water¹

Wmax (W/kg)

Puissance maximale, en Watt

¹ Traduction libre d'anglais (E.U) en français : eau

Résumé

Introduction : Depuis plusieurs décennies, l'amélioration de la performance grâce à la nutrition fait débat et de multiples recommandations ont été édictées pour les différentes pratiques sportives, souvent centrées sur les glucides. Un de ceux-ci, l'isomaltulose, a récemment fait son entrée sur le marché des compléments alimentaires. Particulièrement lent à digérer, ce disaccharide composé de glucose et de fructose reste cependant encore peu étudié.

Objectif(s) : Réaliser une revue quasi-systématique de littérature sur l'isomaltulose afin de répondre à la question : « Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ? »

Méthode : Une équation de recherche sera élaborée à partir des différents concepts. Les bases de données PubMed et Embase seront interrogées. Sept articles seront sélectionnés et analysés. Seuls les articles rédigés en anglais ou en français et portant sur la population humaine, adulte, et pratiquant une activité physique seront sélectionnés. Pour mesurer l'effet de l'ISO, les outcomes étudiés sont : la glycémie, l'insuline, l'oxydation des substrats, la tolérance digestive et la performance sportive.

Résultats : La revue de littérature a permis de sélectionner 7 RCT dont 5 en double aveugle, réalisées auprès de sportifs masculins, bien entraînés pratiquant le football (n = 1), le cyclisme (n= 5), la course à pied (n =1). La consommation d'isomaltulose a été comparée à celle de maltodextrine ou de sucrose ou de mélange glucose-fructose ou maltodextrine-fructose.

La consommation d'isomaltulose maintient une glycémie et une insulémie plus stable, ce qui permet une diminution d'environ 10% de l'oxydation glucidique comparé à la consommation d'autres types de glucides. Au niveau des troubles gastro-intestinaux, la majorité des études ne relatent aucune différence entre les différents types de glucides, mais 2 études démontrent une augmentation de ces derniers à partir d'une consommation d'isomaltulose d'environ 76g. Finalement, les différentes études n'ont pas démontré d'amélioration concernant les performances sportives, bien que toutes les modalités sportives n'aient pas été étudiées.

Conclusion : L'isomaltulose n'engendre aucune différence positive et a tendance à être plutôt négatif sur la performance sportive. Toutefois, ce sucre peut apporter des effets bénéfiques sur les aspects métaboliques comme une glycémie et une insulémie plus stables. Il a néanmoins été démontré que l'isomaltulose épargne moins de glycogène comparé à d'autres glucides à la suite d'oxydation glucidique endogène plus importante. De plus, certains troubles gastro-intestinaux peuvent être engendrés par l'isomaltulose notamment avec des quantités de glucides importantes. Toutefois, ce sucre, lors d'exercices d'endurance et en cas de non-possibilité de prise alimentaire, peut être une option à tester pour l'athlète, car il peut s'avérer utile à la performance. Dans toutes les autres conditions, la consommation d'isomaltulose n'engendre pas de meilleures performances et peut même les diminuer. Il est alors nécessaire pour le diététicien-ne, de connaître et comprendre le métabolisme de ce glucide, ses possibles effets secondaires, ainsi que les habitudes de son patient pour recommander et conseiller au mieux le sportif.

Mots-clés : Isomaltulose ; Carbohydrates ; Athletic performance ; Sport ; Athletes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Construction de la QR d'après la méthode "PICO"	28
Tableau 2 : Présentation des études analysées, titre de l'étude, auteur(e,s), année de publication et design.	36
Tableau 3 : Description de la population d'après le nombre de participants, leur sexe, leur âge, les mesures.	38
Tableau 4 : Description du type de sport et le type de CHO.....	39
Tableau 5 : Outcomes : glycémie et insuline.	42
Tableau 6 : Outcomes oxydation glucidique et oxydation lipidique.....	44
Tableau 7 : Outcome : Tolérance digestive et caractéristiques des troubles intestinaux	46
Tableau 8 : Outcome : les performances sportives, et l'évolution des indicateurs de performance recensés dans les études.....	47
Tableau 9 : Financement des études et annotations de l'auteur (e,s), déclaration de l'auteur (e,s), et impact de l'ISO sur la performance sportive	48
Tableau 10 : Synthèse des résultats de performances avec l'ISO	53
Tableau 11 : Différentes recommandations nutritionnelles en glucides durant l'exercice en anglais (E.U) (2).....	69
Tableau 12 : Mesh Terms et mots clés pour le concept 1 : isomaltulose	70
Tableau 13 : MeshTerms et mots clés pour le concept 2 : sport et performances sportives.	70
Tableau 14 : MeshTerms et mots clés pour le concept 3 : outcomes : glycémie, glucose, glucose-fructose, oxydations des substrats, tolérance digestive.....	71
Tableau 15 : Différents outcomes des études	81

Liste des figures

Figure 1 : Digestion des glucides (6)	14
Figure 2 : Principaux facteurs humoraux et nerveux de contrôle de la sécrétion d'insuline (11)	15
Figure 3 : La glycolyse (12)	16
Figure 4 : Le système phosphagène (12).....	19
Figure 5 : Interactions des filières énergétiques (12).....	20
Figure 6 : Répartition anaérobie & aérobie (16).....	21
Figure 7 : différence des structures chimiques du SUC et de l'ISO (24).....	25
Figure 8 : Évolution dans le temps de l'absorption de l'ISO et du SUC (1).....	26
Figure 9 : Prisma Flow Diagram	35
Figure 10 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulinémiques (B) (43).....	44
Figure 11 : Grade de recommandations et niveau de preuve scientifique (41).....	72
Figure 12 : Grille JBI vide	73
Figure 13 : Grille JBI pour l'article (43)	74
Figure 14 : Grille JBI pour l'article (44)	75
Figure 15 : Grille JBI pour l'article (45)	76
Figure 16 : Grille JBI pour l'article (38)	77
Figure 17 : Grille JBI pour l'article (46)	78
Figure 18 : Grille JBI pour l'article (47)	79
Figure 19 : Grille JBI pour l'article (26)	80

Figure 20 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulinémiques (B), tiré d'Emma J. Stevenson et al, 2017 (43).....	84
Figure 21 : Schéma des courbes glycémiques, tiré de D. König et al., 2016 (44)	85
Figure 22 : Schéma des courbes glycémiques (A), et de la fluctuation de la glycémie (B), tiré de HL. Notbohm et al., 2021 (45)	86
Figure 23 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulinémiques (B), tiré de M. Miyashita et al., 2019 (47).	87

1. Introduction

Notre Travail de Bachelor est réalisé dans le contexte de notre dernière année de cursus à la HES-SO Genève en filière Nutrition et Diététique. Ce travail consiste à répondre à une question de recherche créée autour d'une hypothèse, en réalisant une recherche de littérature scientifique. Nous avons choisi une thématique générale proposée par la HEdS, puis nous avons délimité la problématique en fonction de nos propres intérêts et motivations et de la documentation scientifique disponible à ce jour.

Le choix d'une thématique liée à la nutrition sportive est tout à fait logique. En effet, nous sommes tous deux passionnés et pratiquants de sport. De plus, nous avons tous deux comme objectif de travailler avec des sportifs dans notre futur parcours professionnel.

La thématique des glucides et notamment celle d'un nouveau type de glucide suscite, pour nous, un intérêt particulier. En effet, les hydrates de carbone (CHO) sont le substrat énergétique principal pour le sportif, et de ce fait, nos futurs conseils pour des patients ne pourront être qu'améliorés.

1.1 Historique et futur de la performance sportive

Depuis de nombreuses années, les scientifiques tentent d'optimiser la performance avec différents protocoles. Un des éléments principaux qui a été largement reconnu est qu'un faible taux de glycogène musculaire peut diminuer les performances sportives et notamment les performances d'endurance (1). Dès lors, l'optimisation de l'aspect nutritionnel et notamment de l'apport glucidique est devenue indispensable au niveau de la performance sportive.

La plupart du temps, les CHO sont ingérés sous forme de glucose (GLU) libre ou polymérisé en maltodextrine (MDX), ou à base de formules mêlant glucose et fructose (GLUFRU) libres ou associés en saccharose (SAC). Néanmoins cette consommation habituelle a des contraintes. Pour optimiser les performances sportives, il est nécessaire de consommer un certain nombre de grammes de CHO par heure de sport, à intervalles réguliers (2). Sans cela, les performances seront diminuées après un certain temps ce qui peut poser un problème lorsque l'athlète ne peut pas consommer de glucides durant un ravitaillement, par exemple. En effet, la plupart des CHO dont notamment la combinaison GLUFRU sont rapidement absorbés et utilisés par le corps. Dès lors, il est possible que dans certains sports durant lesquels des prises régulières ne sont pas possibles, les glucides traditionnels ne soient pas idéaux pour la performance.

De nouvelles propositions de produits glucidiques sont arrivées sur le marché des compléments alimentaires pour sportifs depuis peu. L'isomaltulose (ISO) est une des nouveautés du marché. Ce disaccharide, également commercialisé sous le nom de palatinose™, pourrait remplacer les glucides actuellement utilisés en nutrition du sport. Avec une composition faite de glucose et de fructose, ce disaccharide est néanmoins particulièrement digéré lentement par le corps et il permet alors un apport en CHO exogènes sur une plus longue durée par rapport à formule comparable à base de GLUFRU.

1.1.1 Rôles et intérêts des glucides dans la performance sportive

Aux vues des rapides sensations de fatigue et de baisse des performances sportives lors d'activité de haute intensité suite aux limites des réserves de glycogène, l'intérêt de l'apport des CHO dans le sport n'a plus à être prouvé (1). En plus d'améliorer les performances sportives et réduire la sensation de fatigue, l'administration de CHO durant l'exercice fournit notamment une protection contre l'intégrité cellulaire et donc une meilleure fonction musculaire (3).

Comme évoqué précédemment, le sportif peut rencontrer certaines contraintes lors de l'exercice physique en lien avec la nutrition. Les raisons qui pourraient forcer le sportif à réduire l'allure serait que la synthèse d'adénosine triphosphate (ATP), au niveau du muscle actif, ne soit plus assez suffisante. Alors, contrairement aux sports d'endurance où il est assez facile de planifier sa nutrition grâce notamment à des stands de ravitaillement, de nombreux sports d'équipe posent des contraintes temporelles additionnelles, comme un match sans arrêt de jeu ou des prolongations imprévues. Pour lutter contre ces difficultés plusieurs approches sont possibles, dont l'ISO.

Dans ce travail, il sera donc question de s'intéresser aux différents types de CHO avec leurs spécificités au niveau métabolique dont notamment celui du GLU et de l'ISO ainsi que les différentes filières énergétiques afin de comparer les éventuels bénéfices de l'ISO comparés aux autres CHO. De plus, les éventuels troubles gastro-intestinaux devront être pris en compte dans l'évaluation de la performance.

1.2 Physiologie de l'exercice

1.2.1 Métabolisme des glucides

Pour comprendre la physiologie de l'exercice, il est important de comprendre comment se déroule le métabolisme de l'organisme au repos. Pour commencer, nous allons faire un rapide rappel de la digestion des CHO avant de détailler celle du GLU.

La dégradation des CHO commence dans la bouche avec les sucs salivaires puis se poursuit dans l'estomac avec les sucs gastriques. Les CHO se retrouvent dans la lumière intestinale où ils sont hydrolysés par différentes enzymes d'origine pancréatiques et intestinales. Il existe plusieurs enzymes selon le type de CHO. Par exemple, l'enzyme correspondant au lactose est la lactase, la saccharase pour le saccharose et l'amylase pour l'amidon. Certains types de CHO comme les oligosaccharides et les polysaccharides ont parfois besoin de plusieurs enzymes pour être hydrolysés sous forme d'hexoses qui sont des sucres simples avec 6 carbones. C'est uniquement sous cette dernière forme que les CHO dégradés pourront être absorbés dans l'entérocyte. Il existe 3 monosaccharides qui sont composés de 6 carbones. Ce sont le GLU (qui représente plus de 80% des apports usuels), le FRU et le galactose (4).

L'étape suivante est l'absorption. Les hexoses sont absorbés, au niveau du duodénum et du jéjunum, par la bordure en brosse de l'entérocyte et par sa membrane basale pour atteindre la veine porte. Chaque molécule de CHO a ses propres transporteurs (5). Le but de l'absorption des nutriments est de les faire passer dans le plasma contre un gradient de

concentration et de manière spécifique à en absorber la plus grande quantité possible (5). La synthèse visuelle de la digestion des glucides se trouve en Figure 1 (6).

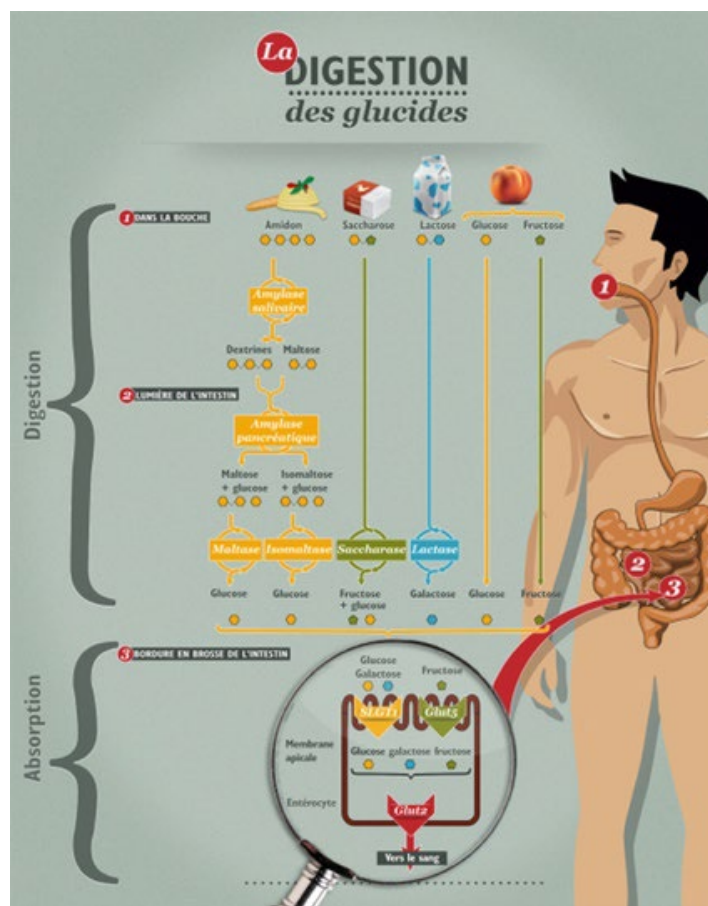


Figure 1 : Digestion des glucides (6)

1.2.2 La vitesse d'absorption

Avant d'entrer plus en détails dans le métabolisme hépatique et celui des cellules musculaires, il est important de parler de la vitesse d'absorption des différentes molécules.

L'absorption des CHO est effectuée par différents transporteurs spécifiques en fonction des gradients de concentration. Ces derniers sont distincts pour chaque type de CHO. Néanmoins ce n'est pas le seul facteur qui influence l'absorption. En effet, le flux sanguin du système porte, qui est modulé par l'activité nerveuse autonome, influence également la capacité d'absorption (5,7). Lors d'efforts à très haute intensité, moins de sang passe à travers le système porte, et la capacité d'absorption est donc indirectement diminuée (5). Un autre aspect peut également modifier la vitesse d'absorption, comme la présence d'autres nutriments. En effet, s'il y a des protéines, des lipides ou des fibres dans le tube digestif, la vitesse d'absorption sera diminuée.

1.2.2.1 La glycémie et l'insuline

La glycémie est la valeur de concentration de GLU sanguin. Elle résulte de l'équilibre entre la production de GLU (CHO exogène, glycogénolyse et néoglucogenèse) et l'utilisation du GLU (glycolyse et glycogénogenèse). La valeur de base de la glycémie se trouve entre 4.5 et 7 mmol/l. Dès que ce taux dépasse 7mmol/l, il y a une hyperglycémie et dès que la glycémie se trouve en dessous de 2.8mmol/l, il y a une hypoglycémie. Lors d'une augmentation de la glycémie ou d'une hyperglycémie, il y aura une sécrétion d'insuline à la suite de la pénétration du GLU sanguin par le biais du transporteur GLUT-1 dans les cellules- β de la partie endocrine du pancréas se trouvant dans les îlots de Langerhans. Cette activation se fait en fonction de la glycémie, c'est-à-dire que plus la glycémie est élevée, plus le nombre de cellules- β activées sera important. La cinétique de libération de l'insuline répond également rapidement à la glycémie (5,7).

Plus précisément, l'insuline est une hormone qui gère l'homéostasie énergétique. Que ça soit le métabolisme des CHO, des lipides ou des protéines, aucun n'échappe au contrôle de l'insuline. Le régulateur principal et le plus important reste néanmoins le GLU sanguin. En effet, c'est lui qui génère en majorité la sécrétion d'insuline quand la glycémie est haute. Cependant, d'autres facteurs hormonaux et nerveux aident au contrôle de la glycémie comme le décrit la figure 2 (7). Tous les autres facteurs ne seront pas décrits dans ce travail car ils ne concernent pas directement notre thématique.

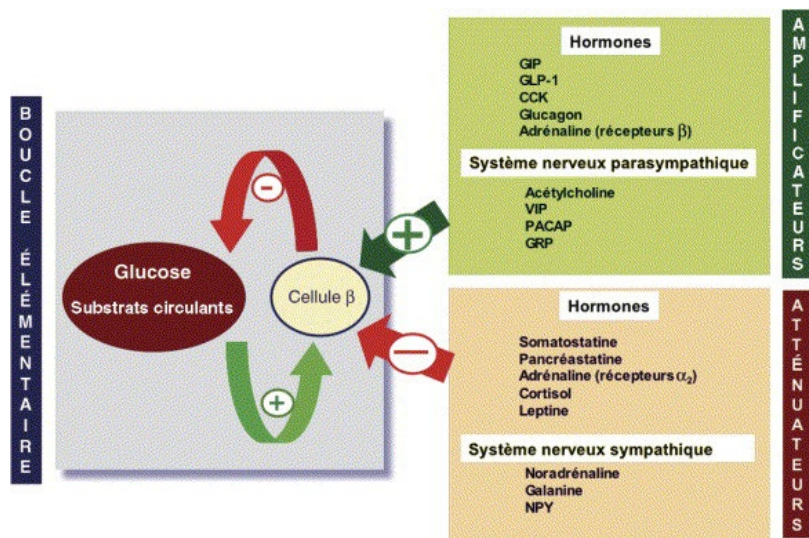


Figure 2 : Principaux facteurs hormonaux et nerveux de contrôle de la sécrétion d'insuline (7)

Dès que l'insuline est sécrétée, le GLU est phosphorylé en glucose-6-phosphate (G-6-P) pour ensuite être soit utilisé par la voie de la glycolyse et de la respiration oxydative pour créer de l'ATP, soit être stocké sous forme de glycogène par la voie de la glycogénogenèse (7).

Au contraire, lorsque la glycémie baisse ou qu'il y a une hypoglycémie, il y aura une sécrétion de glucagon par les cellules- α des îlots de Langerhans. Grâce au glucagon, différentes réactions s'en suivent afin de restaurer la glycémie dans la norme. Pour cela, il existe les voies métaboliques suivantes : la glycogénolyse et la néoglucogenèse (4,5).

1.2.3 Métabolisme du glucose

Après être passé dans l'entérocyte, le glucose est transporté par le sang à travers la veine porte jusqu'au foie. Ce dernier capte 30 à 40% du GLU. Le reste du GLU est réparti entre les autres tissus extra-splanchniques : cerveau, muscles squelettiques, tissus adipeux et globules rouges (4,8).

Le GLU est soit dégradé en pyruvate ou lactate par la voie de la glycolyse, soit il est stocké sous forme de glycogène dans le foie et les muscles grâce à la glycogénogénèse. Pour que le GLU soit dégradé ou stocké, il doit être rapidement « piégé » et phosphorylé par une enzyme appelée hexokinase ou glucokinase afin de former le G-6-P (4).

1.2.3.1 La glycolyse

La glycolyse est une voie métabolique universelle assez complexe. Cette voie métabolique a pour but d'oxyder progressivement une molécule de GLU (6C) en 2 molécules de pyruvate (3C). Cela aura pour effet de libérer une partie de la molécule de glucose grâce à 10 étapes et 10 enzymes séparées en deux phases. À la suite des 10 étapes, le bilan énergétique de la glycolyse est de 2 ATP et 2 NADH, H⁺. Pour passer du GLU au pyruvate, il faut donc passer par la glycolyse qui transforme le GLU en G-6-P. Cette molécule est au centre de toutes les réactions possibles en lien avec le GLU (4). Ce phénomène est illustré dans la Figure 3 : La glycolyse (9).

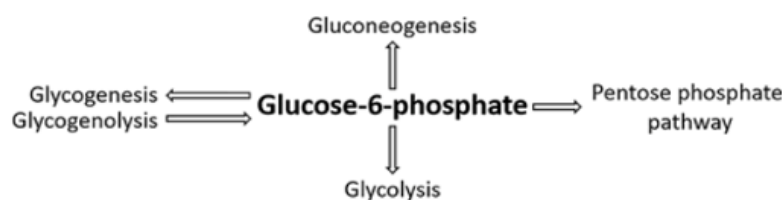


Figure 3 : La glycolyse (9)

Les deux molécules de NADH, H⁺ pourront soit être utilisées par la chaîne respiratoire dans les cellules aérobies soit réduites en lactate dans les cellules anaérobies. Les molécules de NADH, H⁺ ont comme produit brut le pyruvate qui est le produit final de la glycolyse. Concernant la régulation de la glycolyse, c'est l'insuline et le glucagon qui la gèrent indirectement. En effet, c'est plus précisément l'insuline qui augmente le flux de la glycolyse et de la glycogénolyse. À l'inverse, le glucagon diminue le flux de ces deux actions (4).

Le pyruvate ou acide pyruvique est le produit de dégradation commun de tous les glucides. Il est également le produit de dégradation des acides aminés. Son oxydation se passe dans les mitochondries des cellules et produit une molécule d'acétyl-CoA et une de NADH, H⁺. Dans les mitochondries, le pyruvate est soit oxydé et décarboxylé soit il est transformé en lactate. Cela se passe dans les cellules aérobies et anaérobies, respectivement (4). Dès lors, c'est grâce au cycle de Krebs et à la chaîne respiratoire que l'ATP est créé en condition aérobie, c'est-à-dire avec un apport d'oxygène (4). En condition anaérobie, soit sans apport d'oxygène, c'est le lactate créé par l'oxydo-réduction du pyruvate qui permet de créer de l'ATP pour les cellules sans mitochondrie comme les globules rouges, les cellules faiblement vascularisées

comme la muqueuse intestinale et les muscles squelettiques durant un effort intense. En effet, c'est ce dernier type de cellules qui nous intéresse particulièrement en lien avec des efforts sportifs intenses, durant lesquels l'apport en oxygène n'est pas suffisant pour couvrir les besoins afin que le cycle de Krebs ait lieu (4).

1.2.3.2 La glycogénogenèse

Cette voie métabolique permet de stocker le GLU sous la forme du glycogène. Ce dernier est une grande molécule composée de milliers de molécules de GLU, ce qui permet de stocker un nombre important de molécules de GLU avec un minimum de volume. La synthèse se passe principalement dans le foie qui peut stocker entre 80 et 100g de glycogène hépatique et dans les muscles squelettiques stockant 300 à 600g de glycogène musculaire. Toutefois, c'est uniquement le foie qui peut libérer du glucose, contrairement aux muscles (4,5). Pour passer de GLU au glycogène, il faut passer par la molécule G-6-P. La régulation qui se déroule dans le foie est régulée avec la même logique que la glycolyse, c'est-à-dire que c'est l'insuline et le glucagon qui régulent le processus.

1.2.4 L'oxydation glucidique

L'oxydation glucidique est la principale source d'ATP et se déroule en trois étapes qui sont : la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire (5). C'est également un enjeu principal de ce TB. En effet, c'est grâce à l'oxydation glucidique qu'il est possible de savoir avec quel type de CHO l'épargne du glycogène est la plus importante.

1.2.5 L'oxydation lipidique

L'oxydation lipidique se déroule par le biais des triglycérides qui sont dégradés en deux unités de bases. Premièrement, le glycérol formé est facilement converti par l'intermédiaire de la glycolyse en acétyl-CoA avant de rejoindre le cycle de Krebs. Deuxièmement, les chaînes d'acides gras sont également oxydées en acétyl-CoA par le biais de la β -oxydation notamment. Il est important de rappeler que l'oxydation lipidique est plus lente et produit moins d'ATP que l'oxydation glucidique par litre d'O₂ (5).

Cette oxydation est également intéressante à analyser en parallèle de l'oxydation glucidique. En effet, ce sont ces deux oxydations qui créent de manière simultanée les substrats nécessaires à la resynthèse d'ATP. Dès lors, si l'oxydation glucidique n'est pas élevée, c'est l'oxydation lipidique qui le sera davantage.

1.2.6 Métabolisme pendant l'exercice

Pour effectuer une activité physique, le corps doit se déplacer et donc contracter ses muscles pour y parvenir. Toute contraction musculaire demande néanmoins de l'énergie qui est fournie par l'ATP. Les autres cellules de l'organisme ne possèdent pas une grande réserve. L'ATP est renouvelée grâce à 3 filières énergétiques qui répondent aux différentes situations d'efforts physiques. Les 3 filières ont néanmoins besoin de substrats énergétiques pour fonctionner, qui sont principalement les CHO, mais également les lipides et les acides aminés des protéines (9). Les 2 derniers substrats ne seront pas traités dans ce travail car nous nous concentrons uniquement sur les différents types de CHO.

Pendant l'effort physique, les athlètes ont des besoins énergétiques qui varient selon le type, l'intensité de l'exercice mais également selon le sexe, l'état nutritionnel, leur niveau d'entraînement et la composition corporelle (2).

Le principal objectif de l'organisme en termes de performance, pendant un effort physique, est d'avoir un rendement énergétique le plus performant possible. Pour cela, il est nécessaire de se pencher sur les différents types d'oxydation des CHO pour connaître le meilleur rendement d'ATP.

L.Tappy & R.Rosset décrivent que :

L'efficacité énergétique de l'oxydation du fructose dans le muscle est quelque peu inférieure à celle de l'oxydation du glucose alimentaire ou de l'amidon. L'oxydation du glucose synthétisé à partir du fructose est associée à une consommation d'énergie accrue dans les cellules splanchniques métabolisant le fructose, tandis que l'oxydation du lactate synthétisé à partir du glucose est associée à un gain d'énergie plus faible dans le muscle (12).

Le GLU a donc la meilleure efficacité énergétique (13). Cependant, la vitesse d'absorption du GLU ne permet pas de toujours couvrir les besoins en ATP de l'organisme (8). Dès lors, il est recommandé de consommer une combinaison de GLUFRU pour augmenter l'oxydation des CHO exogènes (8,14).

1.2.7 Les filières énergétiques

Pour répondre aux besoins de l'organisme et en l'occurrence aux contractions musculaires, il est absolument nécessaire que l'ATP soit dégradé pour libérer son énergie. Pour créer de l'ATP, il existe trois filières énergétiques qui sont plus au moins utilisées selon la demande en ATP. Il est important de mentionner que lors d'un effort physique, les 3 filières sont utilisées de manière continue mais leur implication diffère selon les situations comme le démontre la Figure 5 (9).

1.2.7.1 Le système phosphagène

Ce premier système est composé de trois réactions mentionnées dans la Figure 4 (9). Les deux premières créent de l'ATP, cependant le CrP a une capacité de réserve et de régénération très faible. Il est également important de mentionner la réaction de l'adénylate

kinase qui produit de l'AMP. Ce dernier est un puissant activateur de la glycolyse et il permet d'augmenter indirectement l'action de la glycolyse mais également d'augmenter la régénération de l'ATP (9).

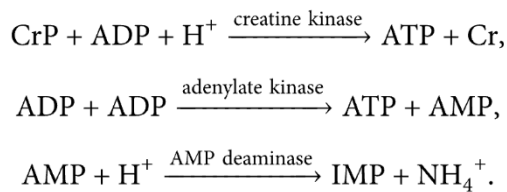


Figure 4 : Le système phosphagène (9)

De nombreux sports comme les sports de résistance dépendent donc de ce premier système phosphagène car il couvre en quasi-totalité les besoins des contractions musculaires intenses et répétées durant les 5 à 6 premières secondes (9).

Lors d'un exercice de haute intensité en continu, le système phosphagène couvre la majorité des besoins en ATP jusqu'à ce que les réserves de CrP soient épuisées. Cela peut se produire dans les 10 secondes suivant le début d'un effort à intensité maximale. Ce système dépend de la concentration de CrP (9). Il a été démontré que la régénération complète du CrP peut prendre entre moins de 5 minutes et plus de 15 minutes, tout dépend de l'ampleur de l'épuisement de ce dernier (9).

1.2.7.2 Le système glycolytique

Dès que l'exercice dure plus de quelques secondes, c'est la glycolyse qui couvre dans la majorité les besoins en ATP. Sa capacité maximale de resynthèse de l'ATP est atteinte quand l'exercice demande plus d'ATP que la consommation maximale d'oxygène. Elle dure en général entre 2 à 3 minutes à une intensité de VO_2 max d'athlètes entraînés (9). La VO_2 max correspond au volume maximal d'oxygène qu'un athlète peut consommer par unité de temps lors d'un exercice à intensité maximum (15).

Ce deuxième système permet de régénérer très rapidement l'ATP par rapport à la respiration mitochondriale et permet donc de répondre aux besoins des sports de résistance mais également intermittents en majorité. (9)

1.2.7.3 La respiration mitochondriale

La resynthèse d'ATP de cette filière énergétique se produit dans les mitochondries des cellules et nécessite la combustion de carburant en présence d'oxygène. Ce dernier provient notamment des sources internes du muscle, comme du glycogène musculaire ou des sources externes du muscle, comme le GLU sanguin provenant des CHO exogènes (9). La respiration mitochondriale fonctionne grâce au cycle de Krebs et à la chaîne respiratoire (9). Cette dernière permet de renouveler les besoins en ATP sur le long terme comme dans les sports d'endurance mais également de couvrir les besoins des sports intermittents lors des phases avec moins d'intensité, par exemple. C'est également la seule filière qui fonctionne en aérobie.

La Figure 5 démontre graphiquement les interactions entre les différents systèmes, le taux de renouvellement maximum d'ATP durant un exercice intense jusqu'à la fatigue. De plus, il est intéressant de relever que le système phosphagène permet de renouveler le plus d'ATP à la seconde. Il est donc tout à fait logique que ce soit ce système qui couvre les besoins en ATP des efforts d'intensité élevée et que ces derniers ne peuvent pas durer. Au contraire, les efforts d'intensité moyenne de longue durée sont notamment couverts grâce à la respiration mitochondriale grâce à son renouvellement d'ATP sous forme aérobie.

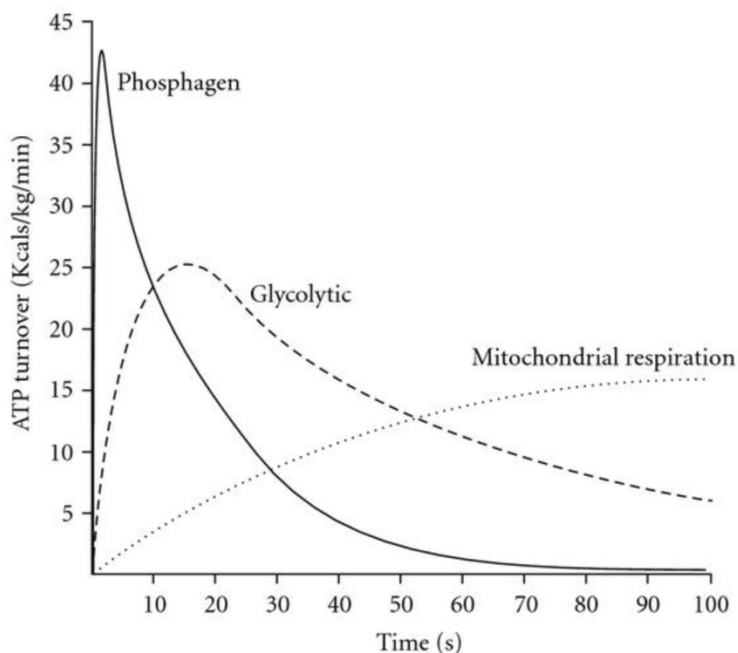


Figure 5 : Interactions des filières énergétiques (9)

1.3 La nutrition sportive de nos jours

Dans ce sous-chapitre, nous allons décrire les recommandations nutritionnelles en lien avec l'amélioration des performances sportives. Ces recommandations se basent sur les différents substrats énergétiques mais également sur des micronutriments ou encore des suppléments alimentaires. Cependant, comme notre thématique traite de CHO, nous allons uniquement décrire les recommandations en lien avec ces derniers. Le but sera de comparer nos articles aux recommandations ainsi que faire un rappel pour le lecteur.

1.3.1 Différentes catégories de sports

Avant cela, il sera question de définir les différents types de sports, car chaque catégorie engendre des besoins différents en énergie et en macronutriments, dont les CHO.

1.3.1.1 Sports d'endurance

Pour débiter de manière globale, quasiment tous les sportifs ont besoins d'avoir une endurance entraînée pour avoir de bonnes aptitudes physiques. Néanmoins, certains sports demandent plus d'endurance que d'autres, comme le semi-marathon versus le tir à l'arc. Dès lors, cette première catégorie de sportifs d'endurance comprend tous ceux qui pratiquent une activité continue pendant plus d'une heure (16).

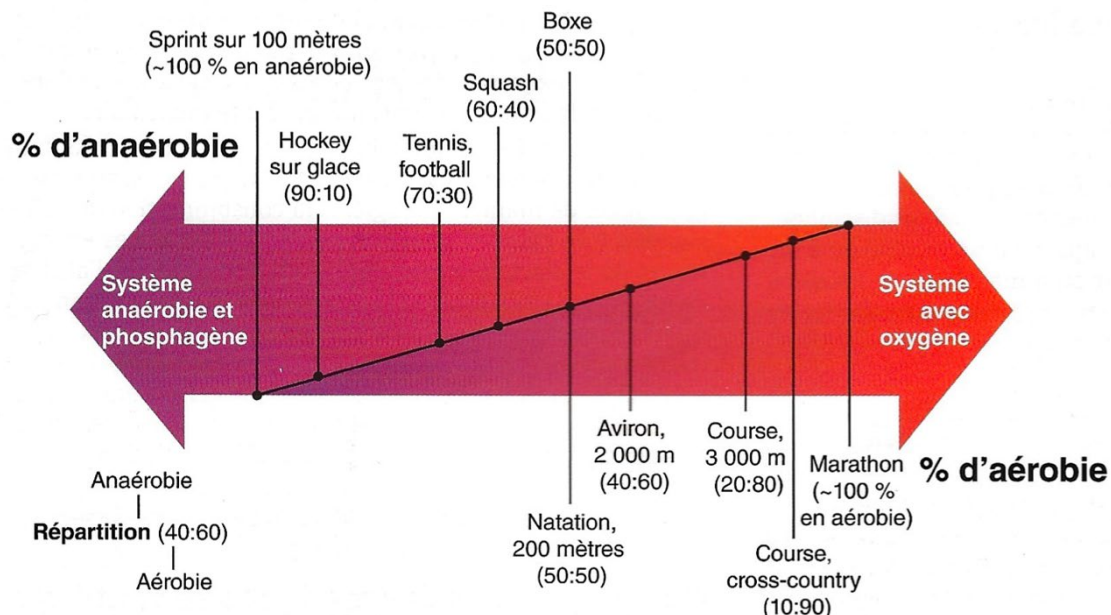


Figure 6 : Répartition anaérobie & aérobie (16)

Ce qui différencie ce premier groupe des autres est notamment une dépense énergétique très élevée signifiant que l'aspect nutritionnel est d'autant plus important. Au niveau de l'utilisation des systèmes énergétiques, la respiration mitochondriale est la principale utilisée puisqu'elle fournit de l'énergie sur du long terme. Cette catégorie englobe donc les sports à vitesse, intensité et force faible à modérée comme le cyclisme sur route, le semi-marathon, le triathlon, le ski de fond, etc. (16). La Figure 6 reprend cette explication et définit les différents types de sports selon leur besoin en oxygène, c'est-à-dire en anaérobie/aérobie et donc selon les filières énergétiques qu'ils utilisent principalement (16).

1.3.1.2 Sports de résistance

Cette deuxième catégorie de sport englobe tous les sports de force, puissance, vitesse, comme l'haltérophilie, l'athlétisme (sprints, sauts, lancés), le ski alpin, l'aviron, etc. Leurs caractéristiques principales sont des activités courtes très explosives et parfois répétées. Les efforts se déroulent sur quelques minutes en cumulé (17).

Concernant l'utilisation des systèmes énergétiques, les 3 sont utilisées, comme le démontre la Figure 5 (9). Mais comme l'objectif principal de l'organisme, avec ce type de sport, est d'apporter rapidement de l'ATP aux muscles, c'est-à-dire de l'énergie, le système phosphagène est fortement utilisé. Plus l'activité dure, plus le système glycolytique

augmentera sa contribution. Le système aérobie, soit la respiration mitochondriale, ne doit pas être négligé. En effet, lors de sport de puissance/force avec des répétitions rapprochées comme la gymnastique, ce dernier système est utile pour fournir l'énergie de récupération et ainsi retarder la fatigue musculaire (16).

1.3.1.3 Sports intermittents

La dernière catégorie de sport se différencie souvent par la combinaison des compétences physiques ainsi que sur l'activité musculaire rapide, puissante et intense. La plupart des sports d'équipe comme le football, le hockey mais également des sports individuels comme le tennis, le badminton ou les sports de combats, sont des sports qui ont besoin de puissance, rapidité et d'endurance. Finalement, ce type de sport est un mixte des 2 premières catégories (16).

Les 3 systèmes énergétiques sont donc utilisés pour les sports intermittents. Habituellement, ces sports sont considérés comme des sports anaérobies aux vues de leurs nombreuses activités musculaires à haute intensité. Cependant, l'apport énergétique principal de cette catégorie est le système aérobie. C'est ce dernier qui couvre les besoins énergétiques entre les phases de hautes intensités, comme le remplacement au football. Il œuvre également à retarder la sensation de fatigue ainsi que la diminution des performances physiques (16).

1.3.2 Les différents types de glucides

Le GLU et la combinaison GLUFRU sont les CHO les plus consommés et recommandés en nutrition sportive. Toutefois, il existe d'autres types de CHO qui sont consommés par les sportifs comme la MDX, qui est un oligosaccharide produit par l'hydrolyse partielle de l'amidon et composé notamment du polymère de GLU (18). Cet oligosaccharide possède un pouvoir sucrant très faible ce qui permet d'éviter le dégoût lors d'efforts de longues durées (19).

Le SUC est également utilisé dans la pratique sportive. Ce disaccharide composé de GLU et de FRU correspond au sucre de table qui est facile de consommer lors d'efforts physiques. Le GLU, MDX et le SUC sont tous 3 des CHO qui sont rapidement oxydés à un taux d'environ 60g par heure. Au contraire, la composition du FRU permet une oxydation allant jusqu'à 40g par heure. L'ISO, qui est un nouveau type de CHO sur le marché de la nutrition sportive, a également une oxydation lente comme le FRU (20). En effet, l'ISO est composé de GLU et de FRU comme le SUC. Toutefois sa liaison entre les deux molécules est plus forte que celle du SUC et son temps d'oxydation est donc plus élevé (21).

1.3.3 Les recommandations nutritionnelles

Au niveau des recommandations nutritionnelles concernant les CHO, il en existe pour le quotidien selon le type de sport, l'intensité et l'objectif de chaque athlète (2). Néanmoins, ce qui nous intéresse dans ce travail, ce sont les recommandations avant, pendant et après un effort physique. Avant de les mentionner, il est primordial de relever l'intérêt de la personnalisation de la nutrition sportive. En effet, il est important de tenir compte de la durée, de l'intensité mais également du type de glucides et pas uniquement des grammes de CHO par kilogramme et par heure. C'est donc pour cette raison qu'il est important de personnaliser l'alimentation et les conseils donnés aux sportifs/ves (1). Un tableau des différentes recommandations nutritionnelles de CHO durant l'exercice se trouve en Annexe 1 (2).

1.3.3.1 Avant

Les recommandations avant le sport se divisent en deux groupes.

- Le premier groupe concerne tous les types de sport avec une durée de moins de 90 minutes. Pour ces derniers, comme un match de hockey sur glace, il est recommandé de consommer entre 7 à 12g de glucides par kg de poids du corps les 24 heures précédant le match (2).
- Concernant le deuxième groupe qui comprend tous les efforts de plus de 90 minutes comme un marathon, il est recommandé de faire un « carboloading », c'est-à-dire de faire une recharge glucidique avant l'effort. Cette dernière se fait avec une consommation de 10 à 12g par kg de poids du corps 36 à 48h avant le début de l'effort et selon le type d'effort (2,22).

1.3.3.2 Pendant

La consommation de CHO durant l'effort se divise également en plusieurs groupes selon le temps d'effort.

- Le premier groupe concerne tous les efforts de moins de 45 minutes qui ne nécessitent aucun apport en CHO. En effet, le corps a suffisamment de réserve de glycogène pour couvrir les besoins d'énergie durant ce laps de temps (2).
- Pour les efforts de 45 à 75 minutes, un rinçage de bouche avec une solution sucrée ou de très faibles quantités de CHO suffisent pour éventuellement améliorer les performances sportives. Le simple fait de consommer une solution sucrée et de rincer la bouche suffit pour transmettre des signaux au cerveau qui peuvent indirectement améliorer les performances sportives (2).
- Dès 60 minutes jusqu'à 150 minutes d'effort, les recommandations mentionnent un apport entre 30 à 60g de CHO par heure selon les tolérances individuelles (2).
- Et le dernier groupe recense tous les types d'efforts qui durent plus de 150 minutes. Pour ces types d'efforts, il est recommandé de consommer jusqu'à 90g de CHO par heure d'effort. Afin d'atteindre une telle quantité de CHO par heure, il est recommandé de combiner une ingestion de GLUFRU ou du GLU seul (2).

Toutes ces recommandations doivent être testées et personnalisées selon chaque athlète et ses tolérances. Pour atteindre les différentes quantités recommandées, les athlètes peuvent consommer des boissons, aliments ou gels riches en CHO (2).

1.3.3.3 Après

La consommation de CHO après l'effort physique est uniquement recommandée dans un cas précis. Cette recommandation a pour objectif de refaire rapidement les stocks de glycogène. Elle est donc utile uniquement si un autre événement sportif se déroule quelques heures (moins de 8 heures) après la fin du premier effort. Dès lors, il est recommandé d'ingérer 1 à 1,2 grammes de CHO par heure pendant les quatre heures suivant l'effort physique initial. Après ce laps de temps, les recommandations quotidiennes sont à nouveau de mise (2).

En dehors de cette situation, il n'est pas nécessaire d'avoir un apport autre que les recommandations de la population normale (2).

1.3.4 Le glucose et la combinaison glucose-fructose

Pour compléter les quantités recommandées durant les différentes phases de l'effort, nous allons décrire les types de CHO qui sont recommandés. Le CHO le plus conseillé est donc le GLU grâce notamment à son rendement énergétique, qui est le meilleur comparé aux autres CHO. (8) Lorsque la limite de l'absorption du GLU est atteinte, soit plus d'1g par minute, la synthèse d'ATP musculaire serait limitée et de ce fait la performance sportive également. C'est à ce moment que l'apport de FRU, plus précisément l'apport en lactate par la fructolyse hépatique, est intéressant pour maintenir les contractions musculaires au maximum de leur capacité grâce aux filières énergétiques anaérobies (8,12). Dès lors, il est recommandé de consommer du GLUFRU qui a pour effet d'augmenter la disponibilité des glucides exogènes (8,14). Lorsque que le glucose est ingéré avec du fructose, les taux d'oxydation maximaux sont d'environ 1,7g/min. C'est grâce, premièrement, à l'utilisation des mécanismes d'absorption différents entre GLU et FRU et, deuxièmement, à l'oxydation du glucose et du lactate provenant du fructose, que les taux d'oxydation maximaux sont d'environ 1,7g/min, selon certains auteurs (13). Cela engendre notamment une augmentation de l'oxydation glucidique exogène, une diminution des troubles gastro-intestinaux et une diminution de la production de glucides hépatiques. L'amélioration des capacités d'endurance et des performances lors de la consommation de l'association de glucides (GLUFRU) a été démontrée par différents travaux et s'explique par l'augmentation de l'oxydation glucidique exogène et, de ce fait, une économie plus importante du glycogène (8,10,14,23). Un impact bénéfique sur la fatigue et la performance dans le contexte des sports d'équipe a également été prouvé (20). Néanmoins, il est important de suivre les recommandations nutritionnelles et de consommer une combinaison de GLUFRU après plus de 2h30 d'efforts (2). Il est en effet prouvé scientifiquement que l'ingestion de plus de 60g par heure pendant moins de 2h30 n'améliore pas les performances sportives. Dès lors, la consommation de GLU uniquement peut suffire (2).

1.4 L'isomaltulose

Il existe une multitude de contraintes dans les différents types de sport. Selon notre thématique choisie, nous allons notamment nous concentrer sur les contraintes liées au ravitaillement. En effet, si un athlète veut suivre les recommandations nutritionnelles concernant l'apport en CHO durant un exercice mais qu'il est limité par le manque d'occasion de se ravitailler, il sera difficile pour lui de les suivre. Une des solutions qui pourrait partiellement combler cette contrainte est l'ingestion en quantités suffisantes de CHO avant l'exercice (20). Toutefois, si la durée de l'effort est de plus de 90 minutes, l'apport préexercice ne suffira pas à couvrir les besoins de l'organisme. Dès lors, il est éventuellement possible que l'ISO, qui possède une digestibilité lente et un IG bas, soit une autre solution à cette problématique (21).

1.4.1 La composition

L'ISO, un disaccharide aussi appelé palatinoseTM, ou encore lylose, se trouve naturellement dans le miel et dans la canne à sucre en faibles quantités. Il est obtenu à partir d'une conversion enzymatique du SUC qui est coupé en GLU et FRU puis réassocié différemment avec une liaison α -(1 \rightarrow 6) (24). La forme chimique de l'isomaltulose est alors la suivante : (6-O- α -D-glucopyranosyl-D-fructofuranose). Pour rappel, le SUC a une liaison α -(1 \rightarrow 2) (21). Le schéma des molécules de SUC et d'ISO se trouve sur la Figure 9 (24).

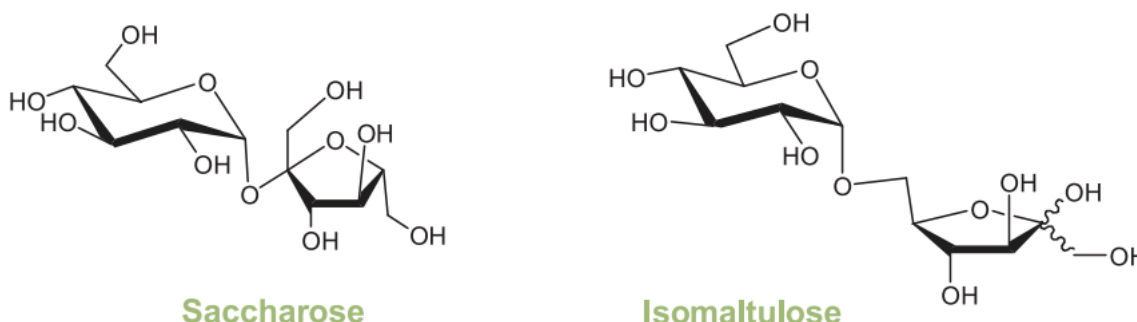


Figure 7 : différence des structures chimiques du SUC et de l'ISO (24)

L'ISO est similaire que le SUC d'un point de vue du goût et de l'apparence. En revanche, son pouvoir sucrant est environ deux fois moins puissant que celui du SUC. Il est plus stable dans des conditions acides. Par exemple, l'ISO résiste à l'acidehydrolyse (21). « Globalement, les propriétés physicochimiques de l'isomaltulose permettent la substitution du saccharose dans la plupart des aliments sucrés. » (21)

Avec sa stabilité plus élevée que le SUC, l'ISO permet de maintenir une osmolalité plus faible et plus stable dans des boissons isotoniques pour sportifs, par exemple. En effet, l'ISO conserve une grande stabilité même contre la fermentation des levures et des bactéries (21).

Concernant l'émail dentaire, l'ISO est moins nocif que le SUC à cause de sa liaison α -(1 \rightarrow 6). En effet, cette liaison plus forte ne permet pas aux bactéries présentes dans la bouche de la rompre contrairement au SUC. Dès lors, les acides nocifs pour l'émail dentaire ne sont pas produits (21).

Concernant la quantité calorifique de l'ISO, il a été démontré par Lina et al. que la digestion globale de l'ISO au repos s'effectue essentiellement dans l'intestin grêle. Dès lors, l'ISO apporte la même quantité de calories que les autres CHO digestibles, soit 4kcal/g (25).

1.4.2 L'absorption et le métabolisme

Ainsi, l'ISO suit les mêmes principes de digestion que les autres types de CHO jusque dans l'intestin. Toutefois, il est hydrolysé 4 à 5 fois plus lentement que le SUC dans l'intestin grêle (26). De plus, l'absorption de l'ISO ne se passe uniquement dans les parties supérieures de l'intestin grêle mais sur toute sa longueur (contrairement aux sucres qui sont rapidement absorbés, comme le SUC). Pourtant, c'est exactement le même principe enzymatique que les autres CHO, qui hydrolyse l'ISO. Dans le cas de l'ISO, c'est l'enzyme sucrase-isomaltase qui l'hydrolyse. La différence au niveau de l'absorption se définit par une difficulté plus grande à hydrolyser une molécule d'ISO comparée à une molécule de SUC (21). Cette différence au niveau de l'absorption se décrit par une réponse glycémique et donc insulínique plus lente et plus faible.

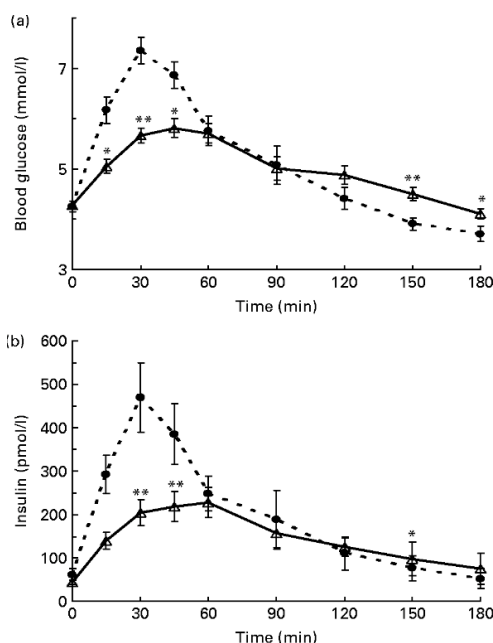


Figure 8 : Évolution dans le temps de l'absorption de l'ISO et du SUC (27)

Après avoir été hydrolysé en deux parts égales de FRU et GLU, l'ISO est tout de même métabolisé de la même manière que le GLU et le FRU. Cependant, comme son hydrolyse et son absorption sont plus lentes dues à la liaison α -(1→6), l'IG de l'ISO (IG=32,8) est plus faible que celui du SUC (IG=68) et celui du GLU (IG=100) (21).

1.4.3 L'indice glycémique

L'indice glycémique (IG) sert à mesurer l'effet de l'ingestion d'un CHO sur la glycémie et de comparer l'élévation de la glycémie suivant le type de CHO (18).

« L'IG est le pouvoir glycémiant d'un aliment comparé à celui d'un aliment de référence. » (5)
La valeur de base d'IG est le GLU avec un IG = 100 (5).

Dans notre TB, l'IG a toute son importance car l'ISO a un IG faible ($IG = 32,8$) (21). De ce fait, lors de l'ingestion d'ISO, la glycémie et donc l'insuline ont des valeurs beaucoup moins hautes qu'avec l'ingestion du GLU par exemple.

1.4.4 Les troubles gastro-intestinaux

« Les troubles gastro-intestinaux sont relativement fréquents dans le sport et notamment dans les épreuves d'endurance, ce qui peut nuire directement à la performance, mais également limiter la capacité à ingérer une nutrition adéquate pour répondre aux exigences de l'exercice. » (8)

C'est un problème omniprésent dans les sports d'endurance et surtout d'ultra endurance avec comme symptômes des nausées, des vomissements, des diarrhées sanglantes, des douleurs abdominales. La prévalence de ces symptômes change en fonction du type de sport, de l'intensité, des conditions environnementales, de l'entraînement de l'athlète et de la durée de l'exercice. En plus d'être gênants et de nuire à la performance sportive, les troubles gastro-intestinaux peuvent diminuer la qualité de la récupération des athlètes (28).

Il existe différentes causes aux troubles gastro-intestinaux comme l'ischémie gastro-intestinale, mais nous allons uniquement nous concentrer sur les causes nutritionnelles. Les fibres, graisses, protéines et le fructose ont tous été associés à un risque de causer des troubles gastro-intestinaux (28). C'est notamment pour cette raison qu'il est recommandé de consommer un certain type de CHO à l'effort et de supprimer ou limiter les autres apports (2).

Tous les nutriments cités ci-dessus ont, comme point commun, une absorption ainsi qu'une vidange gastrique ralentie, ce qui pourrait provoquer un déplacement des liquides dans le tube digestif et donc provoquer des troubles gastro-intestinaux (28).

L'ISO a également une absorption lente et pourrait donc éventuellement créer le même genre de troubles gastro-intestinaux durant un exercice, bien que son taux d'absorption au repos soit de 95 à 98% (27). En effet, avec une absorption plus lente, les molécules d'ISO résident plus longtemps dans le tube digestif ce qui pourrait engendrer les mêmes symptômes de troubles gastro-intestinaux. (28)

Tout l'intérêt de ce TB est de découvrir au travers des différentes études sélectionnées si l'ISO peut potentiellement avoir un effet favorable au niveau du métabolisme et notamment la glycémie afin d'éventuellement augmenter la longévité des performances sportives tout en gardant un confort digestif similaire aux recommandations nutritionnelles actuelles.

2. Méthodologie

2.1 Introduction

Le TB demande une méthodologie minutieuse. Tout au long de la construction de ce travail, nous avons veillé à noter chaque étape réalisée. Pour se faire, nous avons défini les étapes-clés du processus de la revue de littérature :

1. Définir la question de recherche (QR) et les mots-clés
2. Identifier la littérature actuelle ainsi que les critères d'inclusion/exclusion
3. Extraire les données
4. Évaluer la qualité des revues sélectionnées
5. Synthétiser les résultats obtenus
6. Analyser ces résultats

2.2 Question de recherche

2.2.1 Stratégie de format PICO

Nous explicitons les composantes de la QR sous le format PICO. Le format PICO est une abréviation qui signifie (29) :

P : Population

I : Intervention

C : Comparaison

O : Outcomes

Cette découpe sert à définir précisément les caractéristiques de la QR. Le format PICO permet alors une vision détaillée de la population, de l'intervention, de la comparaison et des outcomes. Cette stratégie, de ce fait, permet d'être précis dans les futures recherches et notamment de pouvoir déterminer justement les mots-clés et l'hypothèse.

Tableau 1 : Construction de la QR d'après la méthode "PICO".

P	Adultes sportifs/ves en bonne santé
I	Consommation d'isomaltulose avant, pendant et après l'exercice sportif
C	Comparé aux solutions à base de glucose ou de glucose-fructose ou sucrose ou maltodextrine ou fructose-maltodextrine
O	Impact sur les glycémies et l'insuline, l'oxydation glucidique et lipidique, la tolérance digestive et la performance sportive.

Le tableau présente les déterminants correspondant à notre QR, en décrivant la population, l'intervention, la comparaison et les outcomes.

2.2.2 Question de recherche

La question de recherche a été rédigée de telle façon qu'elle englobe précisément les éléments de la recherche et dans le but que sa réponse affirme ou conteste notre hypothèse.

Selon les écrits du Tableau 1, nous avons rédigé la QR suivante :

« Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ? »

2.3 Hypothèses

Sur la base du savoir métabolique acquis, nous avons émis une hypothèse principale en lien direct avec notre QR. Le but de ce travail est alors de confirmer ou de déconstruire l'hypothèse avec une argumentation basée sur des preuves scientifiques, et de ce fait, de rédiger un avis positionné sur la question de recherche.

2.3.1 Hypothèse principale

Notre hypothèse principale est alors :

« L'isomaltulose a des effets bénéfiques sur les performances sportives pour les sports intermittents et d'endurance sans possibilité de ravitaillement. »

2.4 Buts et objectifs

Ce travail a pour caractéristique de regrouper et synthétiser les résultats de la littérature scientifique, concernant la thématique de la prise de glucides pour améliorer les performances dans le domaine du sport, dont notamment l'isomaltulose. Ce travail permettra de synthétiser tous les résultats des études réalisées jusqu'à ce jour. Dès lors, il sera possible de faire des recommandations nutritionnelles concernant la prise d'isomaltulose dans le cadre du sport. De plus, notre travail pourra servir de base de données pour les futures recherches dans ce domaine.

Pour y parvenir, les buts de cette revue quasi-systématique sont de :

1. Rassembler les données scientifiques sur notre thématique
2. Présenter les résultats principaux qui ressortent des différentes études sélectionnées
3. Discuter des résultats afin de faire émerger les principes devant figurer dans notre proposition de guide nutritionnel

Les objectifs sont de :

1. Définir les Mesh Terms selon la question de recherche
2. Effectuer les recherches de littérature sur les bases de données scientifiques

Premièrement, nous avons déterminé les concepts à traiter dans notre sujet. Cette méthode nous a poussés à réfléchir davantage sur ce que nous désirions analyser. Aussi, elle a permis d'avoir une vision minutieuse du travail de recherche. Les concepts devaient comprendre l'entière du domaine étudié. A savoir, l'ISO, le sport et la performance sportive ainsi que les outcomes choisis. Alors, les trois concepts sont :

- L'isomaltulose
- Le sport, le sportif et la performance sportive
- Les outcomes : glycémie, insuline, oxydation glucidique, oxydation lipidique, les troubles gastro-intestinaux.

Malgré le fait que nous considérons dans ce travail la performance sportive comme un outcome, nous avons fait le choix de l'introduire pour la recherche dans un concept séparé, avec le sport. C'est-à-dire que la performance ne se trouve pas dans le concept « outcomes » ci-dessus, mais bien dans un concept à part. Ce choix se justifie car nous trouvons logique de ne pas scinder le domaine du sport de celle de la performance. De plus, lors des recherches préliminaires, nous avons constaté que les études correspondantes à la performance sportive étaient bien plus présentes lorsqu'elles étaient couplées avec le mot-clé du sport qu'avec les autres outcomes cités, qui relèvent plus du métabolisme et de la physiologie.

Une fois les concepts déterminés, nous les avons traduits en MeshTerms pour Pubmed (32), ou en mots-clés pour Embase (33), ou en mots libres lorsque la traduction n'était pas disponible. Sur Pubmed, comme expliqué ci-dessus, nous avons créé une équation par concept, afin de faciliter l'utilisation des bases de données avec laquelle nous n'étions pas encore familiarisés. La première équation Pubmed correspondait au concept de l'isomaltulose, nous avons obtenu 359 articles. La deuxième équation sur le sport, le sportif et la performance sportive a donné 2'712'792 articles. La dernière équation qui reprenait les outcomes a produit 718'730 résultats. L'étape suivante a été d'assembler ces trois équations pour ne former qu'une seule recherche. Vingt-neuf articles ont résulté de l'équation finale entrée sur Pubmed (32).

Concernant les recherches sur Embase (33), nous avons sollicité l'aide du bibliothécaire de la HEdS, Monsieur Jean-David Sandoz, avec qui nous avons créé une équation finale. De la même manière que pour la construction des équations sur Pubmed (32), nous avons traduit les mots-clés sur la plateforme Embase (33) ou nous les avons entrés comme mots-clés libres. Par la suite, nous les avons joints et nous avons formé une équation finale. Nous avons introduit cette équation dans la base de données et obtenu 37 résultats.

En additionnant les articles tirés des équations de Pubmed (32) et d'Embase (33), nous avons 66 articles disponibles au total. Aucun filtre sur les deux plateformes n'a été appliqué lors de l'introduction des équations.

2.6.1 Mots-clés et équation de recherche

Afin de fluidifier la lecture, nous avons mis tout le cheminement de construction des équations de recherche sur Pubmed (32) et Embase (33) en Annexe 2. Les Mesh Terms, mots-clés et de ce fait les équations sont en anglais (E.U).

Nous avons alors obtenu cette équation finale sur Pubmed (32) :

(((((sport) OR (athlete)) OR (training)) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise)) AND (((blood glucose) OR (glucose)) OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolerance))) AND (((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (isomaltulose)) OR (palatinose))

Nombre d'articles disponibles sur Pubmed (32) : 29

Sur Embase, nous avons obtenu cette équation finale :

(((((sport) OR (athlete)) OR (training) OR (exercise) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise)) AND ((OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolerance))) AND ((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (palatinose))

Nombre d'articles disponibles sur Embase (33) : 37

Total d'articles disponibles sur les deux plateformes : 66

2.7 Sélection des études

Pour sélectionner les études, la première étape que nous avons réalisée a été de supprimer les doublons. Il y avait 25 doublons sur les 66 résultats. Après cette étape, nous avons alors 41 articles à analyser. Afin de trier les études, nous avons rédigé des critères d'inclusion et d'exclusion, en fonction de ce que nous recherchions à démontrer dans ce TB.

2.7.1 Critères d'inclusion et d'exclusion

Comme premiers critères d'inclusion établis ils devaient correspondre au public cible déterminé pour nos recherches. Le public cible a été déterminé de manière à ce que le métabolisme des sujets soit le plus similaire, c'est-à-dire, la même période de vie (adultes), des études réalisées sur les êtres humains en bonne santé et sans prise de médicament particuliers. Il est certes impossible d'obtenir des sujets ayant un métabolisme identique. Cependant, nous souhaitons que la base de son fonctionnement soit le plus correspondant possible. Nous avons également introduit le critère de langues pour des soucis de compréhension. Nos capacités linguistiques nous ont permis de récolter les articles écrits en anglais ou en français. Les critères d'exclusion ont été formulés selon la même réflexion, c'est-à-dire en déterminant les caractéristiques qui pourraient modifier le métabolisme, comme certaines pathologies, par exemple le diabète de type 1 (35), ou l'obésité (36).

2.7.1.1. Critères d'inclusion

- Personne pratiquant du sport ou physiquement actifs
- Personne adulte (entre 18 et 44 ans)
- Étude réalisée avec des êtres humains
- Étude rédigée en anglais ou en français

2.7.1.2. Critères d'exclusion

- Personne sous médication affectant le métabolisme
- Personne souffrant de pathologie affectant le métabolisme (par exemple : obésité, diabète)
- Femme enceinte

Nous avons éliminé, sur la base de ces critères, 12 articles qui ne correspondaient pas. Les articles éliminés traitaient, par exemple, de sujets enfants, ou des personnes non actives physiquement, ou encore souffrant de pathologie comme le diabète de type 1. À ce stade, il restait alors 17 articles dans notre sélection.

2.7.2 Sélection des outcomes

La poursuite de ce travail a ensuite été marquée par la réflexion suivante : comment mettre en avant des mesures qui allaient prouver que notre hypothèse était ou non confirmée, et pourquoi. Le but était alors de déterminer des outcomes qui permettaient de comprendre les différences, ou les similitudes, que l'isomaltulose comporte par rapport aux autres glucides. Aussi, ce sont toutes des mesures qui ont un impact direct ou indirect dans le sport et la performance. Nous justifions ce choix car les outcomes sélectionnés sont les témoins métaboliques de la manière dont l'organisme réagit au glucide étudié (outcomes 1 à 4). Les troubles gastro-intestinaux peuvent impacter la pratique sportive. Les performances sportives sont dans notre travail considérées comme un outcome car l'analyse des résultats des différentes études permettent de faire un lien direct avec notre hypothèse. Ils permettent donc de répondre à la question de recherche. Nous aurions souhaité pour les mêmes raisons intégrer le lactate sanguin dans notre analyse. Néanmoins, notre sélection a dû se faire en fonction du temps à disposition. En outre, T. Amano (37) a étudié les effets de l'ISO sur le taux d'hydratation et plus précisément la capacité de l'ISO à la réhydratation de l'organisme. Nous avons fait le choix de l'introduire dans les performances sportives car nous savons que l'hydratation dans le domaine sportif a un impact important sur la performance sportive générale (38).

Nous avons alors déterminé six outcomes :

- Glycémie
- Insuline
- Oxydation glucidique
- Oxydation lipidique
- Troubles gastro-intestinaux
- Performances sportives

Après avoir déterminé ce que nous recherchions dans les articles, nous avons fait une sélection supplémentaire des études. Sur la base des 17 articles restants, nous avons supprimé 9 études car elles ne comportaient aucun de nos outcomes. À noter cependant que nous avons fait le choix de conserver les études qui avaient au minimum un des six outcomes ci-dessus, car nous souhaitons exploiter toutes les ressources de la littérature. Aussi, nous avons estimé que leur suppression aurait été basée sur un jugement personnel et non méthodologique. Après cette étape, 8 articles subsistaient.

2.7.3 Évaluation de la qualité

La dernière étape de sélection des études était l'analyse de la qualité. Nous l'avons réalisée avec les grilles JBI (39), reconnues pour être validées et efficaces, et d'après les conseils d'Isabelle Carrard, professeure HES associée en Méthodologie de recherche. Nous avons donc analysé la qualité des 8 études, en répondant aux critères décrits dans les grilles JBI. Chaque design d'étude nécessite un modèle de grille JBI différent.

Nous avons éliminé 1 article car il s'agissait d'une revue. D'après la Haute Autorité de Santé, elle était classifiée de niveau de C, signifiant un niveau de preuves faibles. Or, nous souhaitons intégrer dans notre travail des études de niveau A, c'était-à-dire ayant un niveau de preuve établie, comme les RCT (40)

La Figure 10 : Grade de recommandations et niveau de preuve scientifique (40) en Annexe 3 décrit le niveau de preuves scientifique selon le design des études.

Finalement, après le processus de sélection des études, il nous restait 7 articles à exploiter dans le TB. La grille vide JBI ainsi que les grilles d'analyse de qualité complétées des 7 études se trouvent en Annexe 4.

2.7.4 Prisma flow

Dans le but de synthétiser ce processus et avoir un support visuel de la sélection d'articles ainsi qu'un point de vue visible, nous avons réalisé un diagramme Prisma Flow.

Le Prisma flow Diagram, en Figure 2, présente les étapes de sélection d'études, dans les cases violettes, décrites dans la méthodologie (41). Il reprend alors le processus de base, à

savoir, l'identification, l'évaluation, l'éligibilité des études et leur inclusion. Au bas des cases violettes se trouvent le n=x, correspondant au nombre d'articles concernés.

Sélection des études : Prisma flow diagramm

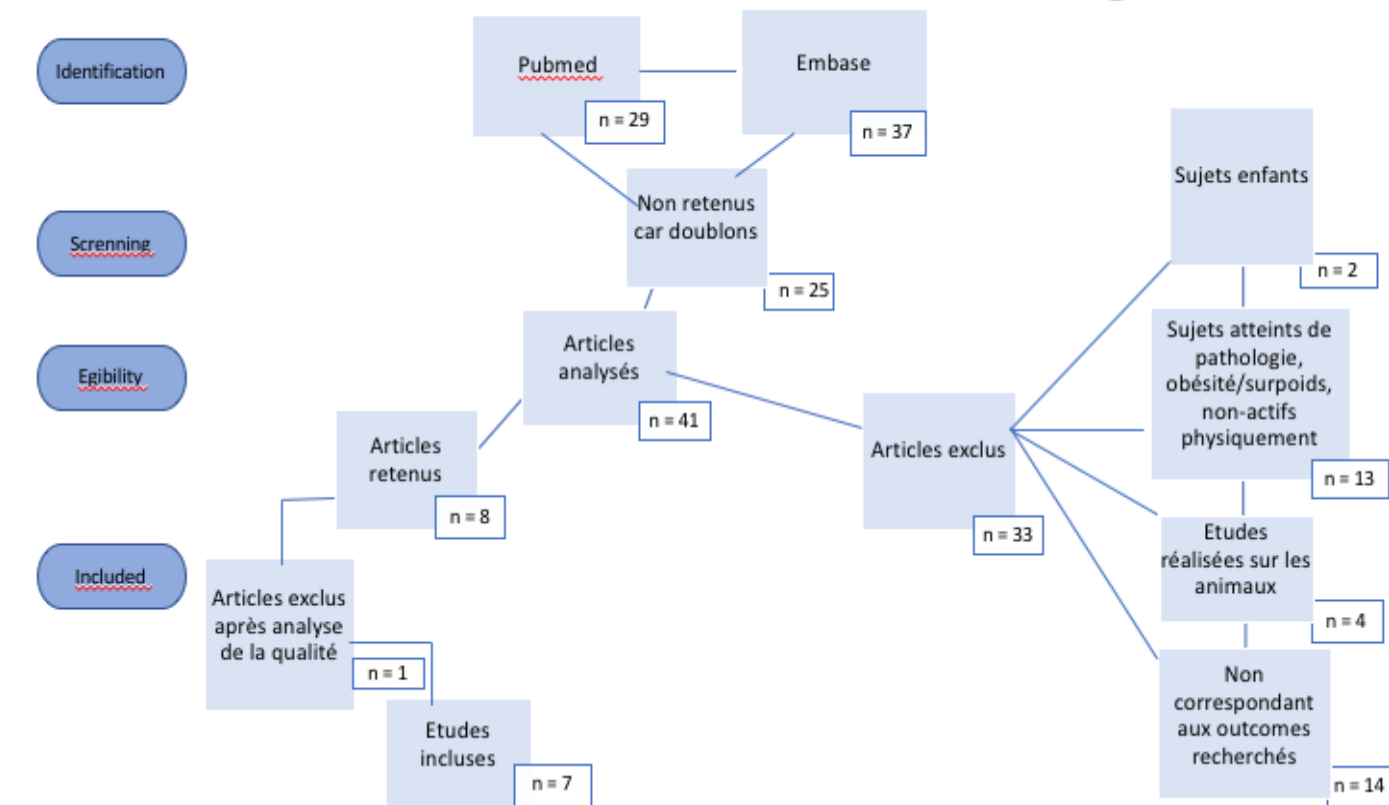


Figure 9 : Prisma Flow Diagram

2.7.5 Présentation des articles

Pour terminer, une fois la sélection des 7 articles réalisée, nous avons conçu une grille de présentation des articles. Ce document contient le numéro de l'article (de 1 à 7), l(es) auteur(e/s/es), le titre, la date de parution, le design, ainsi qu'une synthèse de son contenu. Nous avons décidé d'introduire les items correspondant à la stratégie PICO, afin d'avoir une idée claire et concise de l'étude. Nous avons alors introduit la population, l'intervention, la comparaison et les outcomes de l'article dans la grille. Aussi, nous avons constaté que les protocoles préliminaires des tests et les protocoles d'administration des CHO variaient beaucoup d'une étude à l'autre. Nous avons alors également intégré le protocole préliminaire et d'administration dans la grille de présentation des articles. Ceci nous a permis, par la suite, de pouvoir classer les études en sous-groupes, de manière à comparer les résultats en fonction des protocoles qui concordaient le plus.

3. Résultats

3.1 Récapitulatif des études

Pour cette revue quasi-systématique, nous avons analysé 7 articles, selon la sélection précédente.

Tableau 2 : Présentation des études analysées, titre de l'étude, auteur(e,s), année de publication et design.

Titre de l'étude	Auteur	Année	Design
A comparison of isomaltulose versus maltodextrin ingestion during soccer-specific exercise (42)	Emma J. Stevenson, et al.	2017	Essai contrôlé randomisé en double aveugle
Substrate Utilization and Cycling Performance Following Palatinose™ Ingestion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Trial (43)	D. König, et al.	2016	Essai contrôlé randomisé en double aveugle
Metabolic, hormonal and performance effects of isomaltulose ingestion before prolonged aerobic exercise: a double-blind, randomized, cross-over trial (44)	HL. Notbohm, et al.	2021	Essai contrôlé randomisé en double aveugle
Comparisons of isomaltulose, sucrose, and mixture of glucose and fructose ingestions on postexercise hydration state in young men (37)	T. Amano	2021	Essai contrôlé randomisé en simple aveugle
Exogenous Oxidation of Isomaltulose Is Lower than That of Sucrose during Exercise in Men (45)	J. Achten, et al.	2007	Essai contrôlé randomisé
The effects of isomaltulose ingestion on gastric parameters and cycling performance in young men (46)	M. Miyashita, et al.	2019	Essai contrôlé randomisé en double aveugle
Ingesting Isomaltulose Versus Fructose-Maltodextrin During Prolonged Moderate-Heavy Exercise Increases Fat Oxidation But Impairs Gastrointestinal Comfort and Cycling Performance (26)	T. Oosthuyse, et al.	2015	Essai contrôlé randomisé en double aveugle

Les études que nous avons sélectionnées ont été publiées entre 2015 et 2021. Il s'agit donc d'écrits récents. Dans la suite de ce travail, les études seront citées par le nom de l'auteur (e,s), l'année de parution ainsi que le numéro de référence, selon les critères de références Vancouver (47). Concernant les designs des études, nous constatons que ce sont toutes des essais contrôlés randomisés (RCT). Cinq études ont été réalisées en double aveugle, une étude a été réalisée en simple aveugle et aucune précision n'a été donnée pour une étude.

3.2 Présentation des études et résultats

Pour présenter les outcomes et leur évolution, nous avons procédé sous forme de tableaux. Cette méthode permet de scinder les informations importantes à la compréhension des études. Ce format permet également une vision plus claire des articles à traiter. Les informations recueillies dans les différents tableaux ci-dessous ne comprennent que les écrits de l'auteur (e,s). La présence de timing (par exemple : à 10' post consommation) qui intervient dans certaines études sont également ceux de l'auteur (e,s). De la même manière, lorsqu'aucune indication ne temps ne figure dans les tableaux, cela signifie qu'elle n'était pas évoquée dans les articles. De ce fait, certaines cases ne contiennent pas d'information, pour la même raison que citée au-dessus : certains outcomes n'ont pas été étudiés dans tous les articles, les auteurs ayant fait le choix de ne pas tous mesurer les mêmes caractéristiques (par exemple : les années d'expérience sportive des sujets). Aussi, nous avons fait le choix de relever uniquement les résultats concernant l'ISO, et non, par exemple, les effets d'un autre CHO versus un placebo. Nous justifions ceci par le fait que notre travail est centré sur les effets de l'ISO et que les informations traitées concernant un autre CHO n'auraient pas été pertinentes dans la réflexion de ce TB.

3.2.1 Caractéristiques de la population

Ce tableau décrit la population de chaque article. Il présente dans les items horizontaux les articles traités. Les items verticaux décrivent la population selon le nombre de participants, le sexe des sujets, leur âge, leurs mesures anthropométriques, le niveau sportif, ainsi qu'éventuellement le temps d'expérience sportif des sujets. Quand les nombres décrivent une moyenne, elle est écrite avec sa déviation-standard symbolisée par +/-.

Tableau 3 : Description de la population d'après le nombre de participants, leur sexe, leur âge, les mesures.

Articles	Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	D. König et al., 2016 (43)	HL. Notbohm et al., 2021 (44)	T. Amano, 2021 (37)	J. Achten et al., 2007 (45)	M. Miyashita et al., 2019 (46)	T. Oosthuyse et al, 2015 (26)
Nombre de participants	22	20	21	13	10	14	9
Sexe	Hommes	Hommes	Hommes	Hommes	Hommes	Hommes	Hommes
Âge (années)	20 ± 2,0	29 ± 3,0	26,2 ± 5,8	21,0 ± 0,6	27 ± 2,0	22,9 ± 2,5	38 ± 6,5
Poids (kg)	73 ± 7,9	75,6 ± 1,1	70,3 ± 5,9	59,7 ± 4,5	74,7 ± 2,5	66,5 ± 6,3	78,9 ± 6,8
Taille (m)	1,79 ± 0,07	1,83 ± 0,011	1,79 ± 0,05	1,71 ± 0,04	1,82 ± 0,04	1,72 ± 0,04	1,80 ± 0,04
VO ₂ max (ml/kg/min)	54,8 ± 3,1	61,3 ± 1	59,5 ± 6	-	62,7 ± 1	49,4 ± 8,6	60,8 ± 4,8

Le nombre de sujets varie entre 9 et 22. Nous constatons que ce sont de petits effectifs, sans doute en lien avec le pourcentage restreint de population pratiquant du sport à haut niveau. Nous constatons également que tous les sujets sont masculins, aucune femme n'a alors participé aux études dans les 7 articles. L'âge varie également puisqu'il va de 20 ans à 44,5 ans. Le poids se situe entre 59,7kg et 85,9kg. La taille se situe entre 1,71 à 1,84m. L'indicateur du niveau de sport n'est pas identique dans chaque étude. La VO₂max est présente dans tous les articles, sauf un (37), et varie entre 49,4 ml/kg/min à 65,6 ml/kg/min. D'autres mesures apparaissent dans certaines études, comme la tension artérielle systolique et diastolique (46) ou encore le nombre d'heures d'entraînement par semaine et le Wmax (26). Nous constatons donc dans ce Tableau 3 l'homogénéité de l'ensemble de la population, au niveau de l'âge, des mesures anthropométriques, du niveau d'entraînement et du nombre de participants. Nous relevons la similitude du sexe masculin dans chaque article.

3.2.2 Catégories de sports et apports en glucides

Le Tableau 4 présente la catégorie de sport, l'intensité sportive, le type de CHO administré (ISO et CHO contrôle) et les modalités d'administration (intervention).

Nous avons fait le choix de ne pas décrire précisément les repas standardisés administrés avant les tests. En effet, le but ici est de démontrer la standardisation des repas afin de limiter certains biais. Nous savons que le métabolisme glucidique peut réagir de manière différente en fonction des apports alimentaires précédents un effort physique (48).

Tableau 4 : Description du type de sport et le type de CHO.

Intervention	Type de sport et intensité	Type de CHO	Conditions sportives	Protocole d'administration
Articles				
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	Sport intermittent Football : intensité intermittente avec 14.4km de course au total avec sprints et dribbles	MDX VS ISO VS PLA (eau) (Boissons sucrées à 8% de CHO)	Simulation match de foot : 120min <ul style="list-style-type: none"> 2 mi-temps de 45 min séparées par 15min de HT 2x 15min de prolongation séparée par 2min de HT 	<ul style="list-style-type: none"> Repas du soir de la veille et petit déjeuner le matin du test standardisé. 1^{ère} prise à l'échauffement : 4,5ml/kg avec 0,36g/kg de sucres. 2^{ème} prise à HT : 6ml/kg de boissons avec 0,48g/kg de CHO. Correspond à environ 20g/h et 61-68g de sucres au total.
D. König et al., 2016 (43)	Sport d'endurance Cyclisme	ISO VS MDX (Boissons sucrées à 10% de CHO)	Test de 90' à intensité constante à 60% de VO ₂ max + env. 30' de contre la montre Test terminé quand 6,5kJ/kg atteint	<ul style="list-style-type: none"> Repas du soir standardisé. A jeun le matin du test depuis la veille. 1 prise unique à -45min du début du test 750 mL de boissons = 75 g de CHO
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	Sport d'endurance Course à pied	ISO VS MDX VS GLU	1 test de charge constante de 70' : <ul style="list-style-type: none"> 10' d'échauffement à 60% de Vmax 60min à 70% de Vmax 1 test de course de temps jusqu'à épuisement à 85% de Vmax : env. 10' : <ul style="list-style-type: none"> 15' de récupération 	<ul style="list-style-type: none"> Repas standardisé durant 24H avant test. A jeun le matin du test depuis la veille 1 prise unique à 30min avant le début du test. 400 mL contenant 50g de CHO

			passive entre les 2 tests	
T. Amano, 2021 (37)	Sport d'endurance Cyclisme (n=10), course à pied (=3), intensité modérée	ISO VS SUC VS GLUFURU	<p>Test jusqu'à 5x 15' :</p> <ul style="list-style-type: none"> 50% de fréquence cardiaque selon âge <p>Test terminé lors de la perte de 2% de masse corporelle</p>	<ul style="list-style-type: none"> Repas du soir standardisé A jeun le matin du test depuis la veille 3 prises après les 15 dernières minutes de récupération : réparti en 50%-25%-25% du total à ingérer 10' d'intervalle entre chaque prise 100 mL avec 6,5g ou 3,25g+3,25g (GLU+FRU), correspondant à la perte de masse = env. 77g-83g
J. Achten et al., 2007 (45)	Sport d'endurance Cyclisme	WAT VS ISO VS SUC	<ul style="list-style-type: none"> 5-7j pré-test : exercice intense d'épuisement du glycogène Test : 150min à 50% de Wmax ($59 \pm 2\%$ VO_{2max}) 3 essais différents à 5-7j d'intervalle 	<ul style="list-style-type: none"> Pré-test (-2J) : enregistrement de la consommation alimentaire, pour reproduction du même régime aux tests suivants A jeun le matin du test depuis la veille (-10H) 10 prises : 1x 600ml à 8,5% (=51g), 9x 150ml à 8,5% (=12,75g) Consommation totale = 1950ml + 165g CHO
M. Miyashita et al., 2019 (46)	Sport d'endurance Cyclisme	ISO VS MDX	<ul style="list-style-type: none"> Test de 60min 75% FCmax + 15' test de performance 	<ul style="list-style-type: none"> A jeun le matin du test depuis la veille (-10H) 5 prises : 100ml toutes les 15' 500ml + 50g CHO
T. Oosthuysen et al., 2015 (26)	Sport d'endurance Cyclisme	ISO VS FRUMDX (0,8:1) VS PLA (boissons à 7% de CHO)	<ul style="list-style-type: none"> Test de 2H Régime permanent à 60% de VO_{2max} et $58,9 \pm 1,6\%$ Wmax + 16km de contre la montre (environ 30') 	<ul style="list-style-type: none"> Petit déjeuner le matin du test standardisé. Exercice de 2H : 4 prises contenant au total 900ml/h = 63g/h = 126g de CHO 1^{ère} prise avant exercice : 400 mL 7 prises de 200ml toutes les 15min Contre la montre (durée moyenne 30min) : 2 prises contenant au total 400ml et 32g de CHO 1 prise de 200ml avant le début 1 prise de 200 ml à la moitié du parcours

Nous observons que 5 études concernent le cyclisme (26,37,43,45,46), un article réalise des test en football (42) et un autre en course à pied (44). Il y a alors 6 articles exploitant des sports d'endurance (26,37,43–46) et un article concernant un sport intermittent, à savoir le football (42).

Les études relatent des designs/méthodologies d'interventions différents : les boissons contrôles sont diverses. Trois articles utilisent la comparaison uniquement avec le MDX (42,43,46), un article utilise le FRUMDX (26), un article utilise deux CHO contrôles : le MDX et le GLU (44), un article utilise le SUC (45) et un article utilise SUC et GLUFRU (37). Certaines études font également la comparaison à un placebo (eau) (26,42,45).

Les durées d'activités physiques sont variables : de 60 minutes à 150 minutes. Nous constatons cependant que l'écart entre les intensités est assez faible.

Les protocoles d'administration sont également différents. Les auteur(e)s de 4 études ont standardisé le repas de la veille au soir (37,42–44), et deux le petit-déjeuner (26,42). Cinq études ont demandé à leurs sujets d'être à jeun le matin du test (37,43–46). La consommation de boissons sont également variables, allant de 1 à 10 prises, de 50g à 165g de CHO. Nous relevons que les protocoles d'intervention sont hétérogènes, qu'ils sont réalisés sur une durée et intensité variables. Cependant, les catégories de sport sont quasi-similaires, hormis pour l'étude en sport intermittent (31). Les types de CHO varient entre cinq glucides contrôles. Les exercices sont différents et varient en durée et en intensité. Les protocoles d'administration sont très divers en quantité de CHO consommés, ainsi qu'en nombre de prises et en consommation alimentaire pré-test.

3.2.3 Évolution de la glycémie et de l'insuline

Le cinquième tableau est une présentation des outcomes de la glycémie et de l'insuline des différentes études. La colonne verticale présente les articles et la ligne horizontale décrit la glycémie et l'insuline ainsi que leur évolution durant l'intervention des études.

Dans ce tableau figure les symboles, < ; > ; =. Cela indique, pour le premier symbole (<) : « plus petit que », pour le deuxième symbole (>) : « plus grand que », ou pour le troisième symbole (=) : « égal à ».

Tableau 5 : Outcomes : glycémie et insuline.

Outcomes	Glycémie	Insuline
Articles		
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	<p>Half time² (HT) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < MDX (p = 0,058) Baisse de la glycémie post HT plus importante avec le MDX (-19 % ; -1,0 ± 1,31 mmol l⁻¹) par rapport à ISO (-4 % ; -0,2 ± 0,75 mmol l⁻¹ ; p = 0,015) / 3) <p>60 min post début test :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO = MDX (p = 0,239) Variations de la glycémie ISO < MDX <p>75min post début test :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX <p>90 min post début test :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX (p = 0, 010 et p = 0, 044, respectivement) 	<p>Pré-HT :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO = MDX (p < 0,001) <p>75min post début test :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX (p = 0,040) <p>90min : ISO = MDX</p>
D. König et al., 2016 (43)	<p>Pré-test : -30min, -15min, 0 min :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < MDX (probabilité de 95 % à 99 %, ES = -0,61 à -0,87, effet modéré ; p < 0,05) Réduction glycémique après début de l'exercice : ISO < MDX (probabilité de 93 %, ES = 0,64, effet modéré ; p = 0,034) <p>Durant test : 30min, 45min, 60min, 75min :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX (probabilité de 63 % à 86 %, ES = 0,29 à 0,52, petit effet ; p > 0,05), 	Pas évaluée
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	<p>Postprandial :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < GLU < MDX. ISO (inférieur à GLU de -11,5% et à MDX de -16,7%), Différence de fluctuation : ISO < GLU < MDX 	<p>Postprandial :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < GLU < MDX. (Inférieur à GLU de -32,6% et à MDX de -40,3%)
T. Amano, 2021 (37)	<p>30min post-ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < SUC et GLUFRU (p ≤ 0, 001) <p>Post 60min de récupération :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO = SUC = GLUFRU <p>Post 120min et 180min de récupération :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > SUC et GLUFRU (p ≤ 0,004), (p ≤ 0,035) 	Aucune différence entre les conditions (p = 0,048)
J. Achten et al., 2007 (45)	Aucune différence entre SUC et ISO.	<p>30min post-ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < SUC (P < 0,05) <p>>30min post ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO > SUC
M. Miyashita et al., 2019 (46)	<p>30min post-ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < MDX (p < 0,05). Aucune différence entre les conditions à autre timing 	<p>30min post-ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO < MDX (p < 0,05) Aucune différence entre les conditions à autre timing

² Traduction libre de l'anglais (E.U) : mi-temps

T. Oosthuysen et al, 2015 (26)	Après 30min de récupération post contre la montre : • ISO > FRUMDX (probabilité de 84 % ; ES = 0,84).	120min post début test de 2H et post 30min de récupération post contre la montre : • ISO > FRUMDX
---	--	--

Nous observons que la glycémie suit dans la majorité des études l'évolution suivante : dans un premier temps en postprandial, la glycémie du CHO contrôle est supérieure à celle de l'ISO (37,42–44,46).

Certains articles décrivent ensuite une équivalence entre la glycémie d'ISO et celle de CHO contrôles (37,42). Un article ne mentionne pas de différence glycémique entre le CHO contrôle et l'ISO après la première tendance (46). Après une certaine durée, la tendance décrite en premier lieu s'inverse et la glycémie de l'ISO devient supérieure à celles des CHO contrôles (26,37,42,43).

Un article ne mentionne aucune différence entre le CHO contrôle et l'ISO au niveau glycémique (45). Nous observons également la description d'une fluctuation du pic glycémique réduite avec l'utilisation de l'ISO par rapport aux CHO contrôles dans deux articles (42,44).

Concernant l'insuline, nous constatons qu'elle n'a pas été évaluée dans un article (43), et qu'aucune différence n'a été relevée dans un autre article (37). En suivant la logique métabolique, et en réponse de la glycémie, la consommation d'ISO entraîne une insulïnémie plus faible que celles des autres CHO contrôles peu de temps après la consommation de boissons, dans trois articles (37,44,45). Toujours lors de la phase en postprandial, une étude a mis en avant une équivalence insulïnémique entre l'ISO et le CHO contrôle (42). Un article ne décrit aucune différence après la première tendance entre ISO et CHO contrôles (46). Par la suite, nous constatons que l'insuline poursuit encore la même logique, et qu'elle est supérieure après une certaine durée avec l'ISO par rapport aux CHO contrôles (26,42,45). Pour terminer, une étude indique une équivalence après 90 minutes entre ISO et le CHO contrôle (42).

Pour démontrer les courbes de glycémie et de l'insuline décrites ci-dessus, nous avons sélectionné un schéma tiré de l'étude de Emma J. Stevenson et al, 2017 (42). Les schémas glycémiques des autres études se trouvent en annexe 6.

Fig. 2 Blood glucose (a) and plasma insulin (b) concentrations throughout the PSE (black solid line), MDX (black dashed line) and PLA (grey dashed line) trials ($n=22$, data are presented as mean \pm SD). *Significant difference between PSE and PLA at corresponding time-point; a represents significant difference between PSE and MDX at corresponding time-point; b represents significant difference between MDX and PLA at corresponding time-point

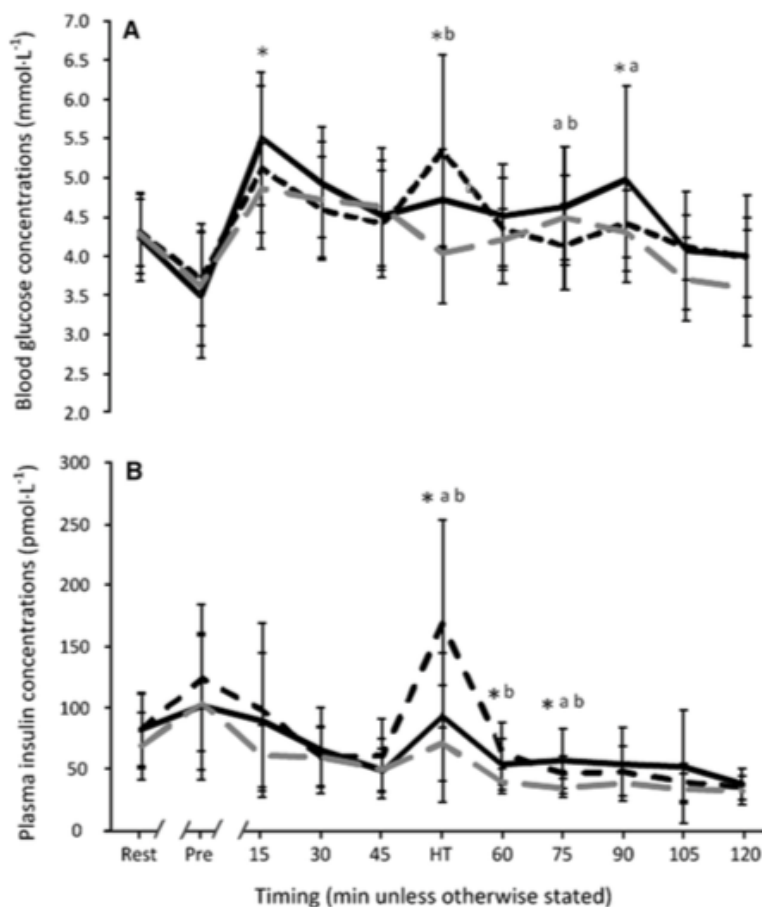


Figure 10 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulinémiques (B) (42).

3.2.4 Évolution de l'oxydation glucidique et lipidique

Ce tableau est une présentation des outcomes de l'oxydation glucidique et lipidique. La colonne verticale présente les articles et la ligne horizontale décrit l'oxydation glucidique et l'oxydation lipidique ainsi que leur évolution durant l'intervention des études.

Tableau 6 : Outcomes oxydation glucidique et oxydation lipidique

Outcomes	Oxydation glucidique	Oxydation lipidique
Articles		
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	Pas évaluée	Pas évaluée

D. König et al., 2016 (43)	Test endurance 0min à 75min post début du test : • ISO < MDX (probabilité de 85 % à 96 %, ES = -0,44 à -0,63, effet faible à modéré ; $p < 0,05$ et $p = 0,069$ à 90 min).	Test endurance 30min à 90min post début du test : • ISO > MDX (probabilité de 88 % à 99 %, ES = 0,65 à 1,60, effet modéré à important ; $p < 0,05$)
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	Aucune différence entre les conditions.	Aucune différence entre les conditions.
T. Amano, 2021 (37)	60min post ingestion : • ISO < SUC et GLUFRU ($p = 0,010$) ($p = 0,023$)	Sans indication de temps : • ISO > GLUFRU ($p = 0,010$) 180min post ingestion : • ISO < GLUFRU ($p = 0,010$)
J. Achten et al., 2007 (45)	60-75-150min post ingestion : • ISO < SUC ($p < 0,05$)	0min à 150min post ingestion : • ISO = SUC >150min post ingestion : • ISO > SUC • Total de graisses oxydées ISO > SUC
M. Miyashita et al., 2019 (46)	Pas évaluée	Pas évaluée
T. Oosthuyse et al., 2015 (26)	Durant tout l'exercice permanent : • ISO < FRUMDX	Durant la 1 ^{ère} heure du test : • ISO > FRUMDX Durant la 2 ^{ème} heure du test : • Quantité totale de graisses oxydées probablement plus élevée ISO

Deux études n'ont pas évalué l'oxydation glucidique et lipidique (42,46) et un article n'a observé aucune différence entre les oxydations de substrats avec l'ISO ou les CHO contrôles (44).

Concernant l'oxydation glucidique, nous constatons une tendance similaire : l'oxydation glucidique de l'ISO est plus faible que celle des CHO contrôles (26,37,43,46) à un certain timing, notamment au début de l'exercice. Un article démontre cette tendance tout au long de l'intervention (26). Pour terminer, un article décrit l'inversion de cette tendance à partir de 180 minutes postprandiales, où l'oxydation glucidique de l'ISO est supérieure à celle des CHO contrôles (37).

L'oxydation lipidique des articles (26,37,43,45) est supérieure avec l'ISO par rapport aux CHO contrôles. L'article (37) indique la même inversion de cette tendance à 180 minutes, c'est-à-dire que l'oxydation lipidique de l'ISO est inférieure par rapport au CHO contrôle. Un article ne suit pas cette logique, car nous observons que les taux d'oxydation lipidique jusqu'à 150 minutes sont équivalents entre ISO et CHO contrôles. Cependant, elle devient supérieure avec ISO par rapport aux CHO contrôles au-delà de 150 minutes (45). Pour terminer, deux études indiquent un total de graisse oxydée supérieur avec l'ISO qu'avec les CHO contrôles (26,45).

3.2.5 Tolérance digestive

Tableau 7 : Outcome : Tolérance digestive et caractéristiques des troubles intestinaux

Outcomes	Troubles gastro-intestinaux
Articles	
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	Aucune différence entre les conditions
D. König et al., 2016 (43)	Aucune différence entre les conditions, aucun effet indésirable.
HL. Notbohm et al., 2021 (33)	Aucune différence entre les conditions, aucun effet indésirable.
T. Amano, 2021 (37)	Aucune différence entre les conditions pour la soif et la faim. Plénitude de l'estomac : • ISO > GLUFRU et SUC (p <0, 001).
J. Achten et al., 2007 (45)	Évalués mais pas de résultats annoncés
M. Miyashita et al., 2019 (46)	Sensations subjectives • Aucune différence entre les conditions Test respiratoire à l'acétate de sodium, échantillons d'haleine : excrétion de CO ₂ (indicateur taux de vidange gastrique), diamètre artère mésentérique supérieure et cœliaque, augmentation vitesse sanguine artère cœliaque, zone antrale gastrique transversale fréquence des concentrations gastriques : • Aucune différence entre les conditions A 15min + 60min post ingestion : Débitmètre simultanée par ultrasons Doppler pulsés et écho, évolution du flux sanguin splanchnique => augmentation débit sanguin artère mésentérique supérieure, augmentation vitesse sanguine artère mésentérique supérieure : • ISO < MDX
T. Oosthuysen et al, 2015 (26)	En tout temps : • ISO > FRUMDX 90min post début du test : • Inconfort faible-moderé 120min post début du test : • Inconfort modéré-fort Durant contre la montre : • Inconfort fort-très fort • Ballonnements, crampes ++, gêne sévère, diarrhées

Les mesures de troubles gastro-intestinaux ont été réalisées à partir de questionnaire de sensations subjectives. Seul l'article de M.Miyashita (36) présente des résultats obtenus avec les ressentis subjectifs des participants et des tests physiologiques. Nous observons que quatre études ne décrivent aucune différence au niveau des sensations subjectives d'inconfort

gastro-intestinal, entre l'ISO et les CHO contrôles. Un article indique également qu'il n'y a aucune différence entre les CHO pour les sensations subjectives de faim et de soif (37). Cependant, cette même étude indique que la sensation de plénitude de l'estomac est supérieure avec l'ISO par rapport aux CHO contrôles (37).

Un article décrit également de troubles gastro-intestinaux évalués subjectivement supérieurs avec l'ISO qu'avec les CHO contrôles, et un inconfort évoluant avec la durée de l'exercice (26), et décrit notamment par des ballonnements, de fortes crampes, une gêne et pour certains sujets des diarrhées.

L'étude (46) a également réalisé des tests physiologiques, sans mentionner de différences entre les CHO pour la plupart des tests, hormis une augmentation du débit sanguin et de la vitesse sanguine de l'artère mésentérique supérieure, qui étaient inférieures avec l'ISO comparé au CHO contrôle (46).

3.2.6 Impact de l'ISO sur les performances physiques

Tableau 8 : Outcome : les performances sportives, et l'évolution des indicateurs de performance recensés dans les études

Outcomes	Performances sportives
Articles	
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	Vitesse moyenne : <ul style="list-style-type: none"> Aucune différence entre les conditions Succès des tirs : <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX ($p = 0,0525$ = non significatif) Performances de dribbles : <ul style="list-style-type: none"> Aucune différence entre les conditions
D. König et al., 2016 (43)	Vitesse contre la montre : <ul style="list-style-type: none"> ISO < MDX (avantage ISO probablement faible à modéré) Puissance de sortie, en tout temps : <ul style="list-style-type: none"> ISO > MDX (bénéfice pertinent que durant les 5 dernières min)
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	(Temps moyen pour terminer le contre la montre) Aucune différence entre les conditions.
T. Amano, 2021 (37)	État d'hydratation Rétention liquidienne : <ul style="list-style-type: none"> ISO > SUC et GLUFRU, Δ PV à 30min et 90min post ingestion : <ul style="list-style-type: none"> ISO > SUC et GLUFRU PV à 30min, 60min et 90min post ingestion : <ul style="list-style-type: none"> ISO > SUC et GLUFRU
J. Achten et al., 2007 (45)	Pas évaluée
M. Miyashita et al., 2019 (46)	(Puissance de sortie moyenne) <ul style="list-style-type: none"> Aucune différence entre les conditions

T. Oosthuysen et al, 2015 (26)	Durée pour terminer le contre la montre : <ul style="list-style-type: none"> ISO > FRUMDX (changement moyen : 15 min, IC à 90 % \pm 1,4 min ; ES = 0,53) faible (probabilité de 94 %) à modérée (probabilité de 87 %)
--------------------------------	--

Étant donné que chaque étude a analysé différentes performances sportives, chacune est inscrite dans la case correspondante. Aussi, T. Amano (37) a étudié les effets de l'ISO sur le taux d'hydratation et plus précisément la capacité de l'ISO à la réhydratation de l'organisme. Nous avons fait le choix de l'introduire dans les performances sportives car nous savons que l'hydratation dans le domaine sportif a un impact important sur la performance sportive générale (38).

Ce tableau démontre qu'un article n'a pas évalué la performance sportive (45), et deux autres études n'ont démontré aucune différence au niveau des performances entre l'ISO et les CHO contrôles (44,46). L'article (42) décrit une vitesse moyenne et une performance de dribbles égales entre ISO et CHO, un succès des tirs amélioré avec l'ISO par rapport au CHO contrôle. Dans l'étude (43), la vitesse du test contre la montre serait augmentée avec l'ISO par rapport au CHO contrôle, et la puissance de sortie améliorée avec ISO. L'article (26) décrit une durée pour terminer le contre la montre plus longue avec ISO qu'avec le CHO contrôle, autrement dit, une moins bonne performance de vitesse. L'étude (37), qui étudie le taux d'hydratation, décrit une rétention liquidienne améliorée avec ISO par rapport aux autres CHO contrôles, un volume plasmatique augmenté et un changement de volume plasmatique plus important avec ISO à 30 minutes, 60 minutes et 90 minutes. Ceci correspond à un probable avantage de l'ISO par rapport aux CHO contrôle sur la capacité de réhydratation.

3.3 Financement des études

Il est nécessaire d'avoir un esprit critique sur le financement des études, ce pourquoi nous avons trouvé judicieux de les mentionner dans ce récapitulatif d'article. En effet, le but de ce recueil d'informations est d'écarter ou de mettre en lumière d'hypothétiques conflits d'intérêts. Nous avons alors recueilli les résultats avec attention et nous les avons analysés avec recul.

Tableau 9 : Financement des études et annotations de l'auteur (e,s), déclaration de l'auteur (e,s), et impact de l'ISO sur la performance sportive

Articles	Financement	Déclaration de(s) l'auteur (e,s) pour le financement	Impact sur la performance
Emma J. Stevenson et al, 2017 (42)	BENEO GmbH, Mannheim, Allemagne, membre du groupe Südzucker.	Les résultats de l'étude sont présentés clairement, honnêtement et sans fabrication, falsification ou manipulation inappropriée des données.	Performances similaires pour certaines mesures et meilleures performances avec ISO pour d'autres mesures

D. König et al., 2016 (43)	BENEO GmbH, Mannheim, Allemagne, membre du groupe Südzucker. Les résultats de l'étude et les données contenues dans la publication ont été développés par et/ou pour BENEO. La planification, l'organisation, le suivi et l'analyse de l'étude ont été effectués de manière indépendante par l'Université de Fribourg. Les tests d'effort ont été effectués par le Cycling Lab (Radlabor) Freiburg.	AH et ST sont des employés du groupe BENEO/Südzucker.	Meilleures performances avec ISO
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	Cette étude a été en partie financée par Evonik Creas GmbH.	Ils n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude, dans la collecte, l'analyse ou l'interprétation des données, dans la rédaction du manuscrit ou dans la décision de publier les résultats. Financement Open Access activé et organisé par Projekt DEAL.	Performances similaires
T. Amano et al., 2021 (37)	Subvention de Bourbon Corporation et Grant-in-Aid for Scientific Research (n° 18H03146) de la Japan Society for the Promotion of Science du ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie du Japon.	Yasuaki Enoki et Daisuke Maejima sont des employés de Bourbon Corporation. Les opinions exprimées dans ce manuscrit ne représentent pas celles de Bourbon Corporation.	Meilleures performances avec ISO
J. Achten et al., 2007 (45)	Soutenu par une bourse de recherche du Cargill R&D Centre Europe, Vilvoorde, Belgique.	-	Non mesurées
M. Miyashita et al., 2019 (46)	MM a reçu une bourse de recherche de Mitsui Sugar Co Ltd.	-	Performances similaires

T. Oosthuysen et al, 2015(26)	Cette étude a été financée par le comité de recherche de la faculté de l'Université de Wiatersrand.	Les auteurs n'ont pas de conflit d'intérêt.	Moins bonnes performances avec ISO
--	---	---	------------------------------------

Selon les déclarations des auteur(e)s des articles (26,37,42,44), les financements n'ont pas joué de rôle pour l'interprétation des résultats. Certaines études ne précisent pas la présence d'éventuels conflits d'intérêt (43,45,46).

3.4 Résultats par études

Nous avons créé un tableau qui décrit la totalité des outcomes présents dans chaque article. Le but est de démontrer la complexité des études et par la suite de justifier le choix des outcomes que nous avons analysés. Le tableau discuté se trouve en Annexe 6.

L'analyse des résultats portera uniquement sur les outcomes choisis. Nous avons également fait le choix d'intégrer uniquement les résultats avec une p-value <0,05 pour des questions de validité des résultats. Nous avons relevé les résultats de l'ISO versus les autres sucres et non pas en intégrant les comparaisons des différents glucides versus le placebo.

3.5 Synthèses des résultats d'études

Pour discuter plus facilement les résultats dans la section suivante, nous avons séparé les études en deux groupes selon les types de CHO comparés à l'ISO. Le premier groupe comprend l'étude d'Emma J. Stevenson (42), D. König (43), HL. Notbohm (44) et M. Miyashita (46). Ce premier groupe compare l'ISO au MDX dans toutes les études et l'étude de HL. Notbohm (44) est également composée de la comparaison de l'ISO au GLU. Nous avons choisi ce premier groupe car il retrouve tous les types de CHO composés uniquement de monomères de GLU comme la MDX et le GLU seul, ce qui permet de comparer l'ISO au mécanisme d'absorption du GLU et non d'un autre type de CHO comme le FRU. Le deuxième groupe est composé des études de T. Amano (37), J. Achten (45) et T. Oosthuysen. Il compare l'ISO au SUC, FRUMDX ou GLUFRU.

3.5.1 Résultats des articles ISO vs MDX

3.5.1.1 La glycémie

Au niveau de la synthèse des résultats de glycémie, il y a premièrement une tendance à un pic glycémique plus important de MDX comparé à l'ISO en post absorption des CHO (42). Dans les autres études, cette tendance n'est pas signalée. Toutefois, dans les 4 études le pic est visible sur les graphiques.

Deuxièmement, la glycémie de MDX est plus élevée de manière générale que celle de l'ISO jusqu'à 30 minutes pendant l'exercice dans l'étude de M. Miyashita (46), jusqu'à 60 minutes dans les études de Emma J. Stevenson (42) et de D. König (43). Les résultats pour les glycémies à 60 minutes sont toutefois non significatifs. De plus, les glycémies du MDX et du GLU sont également plus élevées que celle de l'ISO jusqu'à 30 minutes dans l'étude de HL. Notbohm (44).

Dans les deux premières études, la glycémie de l'ISO est plus élevée que celle du MDX après 60 minutes (42,43). Cependant, l'étude de M. Miyashita (46) ne signale aucune différence entre les glycémies après 30 min d'efforts.

3.5.1.2 L'insuline

L'insuline du MDX est plus élevée que celle de l'ISO en postprandial et durant l'effort dans les études de HL. Notbohm et M. Miyashita (44,46). L'étude d'Emma J. Stevenson démontre les mêmes résultats après la deuxième prise de CHO soit 35g à HT mais ne le démontre pas après la première prise en pré-match avec 25g de CHO (42).

Dans l'étude de HL. Notbohm, l'insuline de l'ISO est inférieure à celle du MDX et du GLU en postprandial mais uniquement avant l'effort physique (44).

Une seule étude démontre une insulïnémie plus élevée de l'ISO que celle du MDX après 75 minutes de jeu (42).

3.5.1.3 L'oxydation glucidique

Au niveau de l'oxydation glucidique, il n'y a aucune différence démontrée dans l'étude de HL. Notbohm (44). Dans celle de D. König, l'oxydation glucidique de l'ISO est inférieure à celle du MDX de 0 à 75 minutes d'effort (43).

3.5.1.4 L'oxydation lipidique

Comme pour l'oxydation glycémique, il n'y a aucune différence démontrée dans l'étude de HL. Notbohm (44) concernant l'oxydation lipidique. Il y a cependant une tendance visible sur le graphique qui démontre une oxydation lipidique plus élevée avec de l'ISO qu'avec du MDX et du GLU (44).

Cependant, l'oxydation lipidique est plus élevée avec une consommation d'ISO qu'avec du MDX de 30 à 90 minutes (44).

3.5.1.5 Les troubles gastro-intestinaux

Il n'y aucune différence décrite au niveau des sensations subjectives dans les 4 études (42–44,46). Cependant, dans l'étude de M. Miyashita (46), le débit sanguin est moins élevé avec l'ISO qu'avec le MDX. Toutefois, aucune différence n'est décrite au niveau des sensations des troubles gastro-intestinaux dans cette étude (46).

3.5.1.6 Les performances sportives

Dans les études d'Emma J. Stevenson, HL. Notbohm et M. Miyashita, il n'y aucune différence mentionnée concernant les performances sportives (42,44,46).

Le temps au contre la montre est plus rapide avec l'ISO comparé au MDX et la puissance de sortie avec une consommation d'ISO est plus forte comparée à celle du MDX dans l'étude de D. König (43). Toutefois, il faut préciser que ces avantages en termes de performances sportives sont uniquement de faibles à modérés. De plus, le taux calculé n'est pas significatif (43).

Tableau 10 : Synthèse des résultats de performances avec l'ISO

Outcomes	Types de CHO et quantités consommées (g)	Glycémie	Insuline	Oxydation glucidique	Oxydation lipidique	Tolérance digestive	Performances sportives
Articles							
Emma J. Stevenson et al., 2017 (42)	ISO VS MDX 61-68g	+	(+)	/	/	=	= +
D. König et al., 2016 (43)	ISO VS MDX 75g	+	/	+	+	=	+
HL. Notbohm et al., 2021 (44)	ISO VS MDX VS GLU 50g	+	(+)	=	=	=	=
T. Amano, 2021 (37)	ISO VS SUC VS GLUFRU 77-83g	+	=	+	+	-	(+)
J. Achten et al., 2007 (45)	ISO VS SUC 165g	=	+	-	(-)	/	/
M. Miyashita et al., 2019 (46)	ISO VS MDX 50g	(+)	(+)	/	/	=	=
T. Oosthuysen et al., 2015 (26)	ISO VS FRUMDX 126g	(+)	(+)	+	+	-	-

Ce tableau présente sur la ligne horizontale les outcomes, et sur la colonne verticale les articles du TB. Il indique l'effet de l'ISO sur les différents outcomes selon les articles par rapport aux autres CHO. Le symbole (+) indique un effet probablement bénéfique de l'ISO, le symbole (-) indique un effet probablement néfaste de l'ISO, le symbole (=) indique un effet similaire de l'ISO par rapport aux autres CHO et les symboles ((+)) indique un effet hypothétiquement bénéfique de l'ISO. Nous entendons par là qu'un effet bénéfique n'a pas été relevé par l'auteur mais que, selon nos connaissances du métabolisme et de la molécule d'ISO, il pourrait avoir un impact positif.

4. Discussion

Le but de ce travail a été de mesurer l'intérêt d'une nouvelle source de CHO, l'ISO comparé aux recommandations nutritionnelles actuelles. (2) De plus, nous avons cherché à déterminer dans quelles conditions l'ISO pourrait être supérieur aux autres CHO. Parmi les conditions, les différentes catégories de sport ainsi que les protocoles d'administration ont été étudiés. La tolérance digestive a également été étudiée, ainsi que des outcomes en lien avec le métabolisme énergétique tel que les évolutions glycémiques, insulinémiques et les oxydations glucidiques et lipidiques. Ayant toujours comme but de mesurer l'impact de la consommation des CHO sur la performance physique et pouvoir se positionner professionnellement - pour des questions de clarté - nous avons repris le déroulement de la structure qui a érigé ce document, et de ce fait, également les étapes métaboliques (ingestion, absorption, digestion).

Avant de discuter les résultats obtenus, nous mettons en avant la grande diversité d'interventions dans les articles. En effet, nous rappelons que les types de sport ainsi que les catégories n'étaient pas tous similaires, de même que les CHO contrôles. Aussi, les protocoles d'administration étaient variés entre chaque étude, au niveau de la quantité administrée, du nombre de prises ou encore de la dernière prise alimentaire des sujets. Ces variables peuvent impacter les résultats, car ils induisent tous une réponse métabolique différente. A noter également que notre idée de base, celle qui se retrouve également dans la QR, était de comprendre l'intérêt de l'ISO dans certaines conditions, en consommant la boisson avant l'activité physique, pendant et après. Cependant, les études exploitées ne traitent malheureusement pas de consommation après le sport, à l'exception de l'étude de T. Amano (37), qui réalise une consommation de boisson après l'exercice. Néanmoins, il est nécessaire de préciser que cette étude se trouve à part des autres études. En effet, pour rappel, elle traite de l'hydratation, qui ne fait pas partie de nos outcomes de base. Hormis pour cette étude, notre analyse portera donc uniquement sur les effets de la consommation avant le sport et pendant le sport.

Nous souhaitons également émettre un point d'attention concernant les interventions des études. En effet, les quantités administrées ne correspondent aucunement aux recommandations nutritionnelles du domaine sportif, car elles y sont toutes inférieures. Il est donc nécessaire de garder à l'esprit que les résultats des études sélectionnées ne reflètent pas forcément les pratiques réelles, c'est-à-dire, les résultats provenant de quantités recommandées en consultation nutritionnelle.

Au niveau des effets métaboliques de la glycémie et de l'insuline, toutes les études ont décrit une glycémie de l'ISO, dans la partie postprandiale initiale, plus faible que celle des autres CHO après l'absorption. Il y a une tendance à un pic glycémique plus élevé avec les différents CHO comparés à l'ISO (21). La raison métabolique qui peut expliquer la glycémie plus faible avec l'ISO par rapport aux CHO contrôle et un pic glycémique moins important, est la vitesse de digestion et donc ensuite d'absorption de l'ISO. Elle est moins élevée avec l'ISO par rapport aux autres CHO, notamment car la liaison α -(1→6) a moins d'affinité avec la sucrase. Il y a donc, sur un même laps de temps, moins de GLU qui est libéré avec l'ISO qu'avec une combinaison GLUFRU par exemple (13). Dans l'étude d'Emma J. Stevenson (42), D. König

(43) et de T. Oosthuysen (26), la glycémie de l'ISO devient plus élevée après dans la partie secondaire. Une étude (26) a observé une glycémie plus élevée avec ISO vs. FRUMDX, uniquement en post-exercice. Pour rappel, cette étude comprenait des sujets non à jeun. Nous avons émis alors l'hypothèse que la prise d'ISO ait ralenti la digestion et l'absorption des glucides ingérés le matin même. Une deuxième hypothèse pourrait expliquer ce phénomène : l'effet retard provoqué par l'ISO est plus important sur un tube digestif pas à jeun. Dans les autres études, après un certain temps, il n'y a plus de différence significative entre les différents types de CHO et l'ISO, ce qui traduit bien un effet de digestion et d'absorption ralentie avec l'ISO. Ces deux variantes impliquent donc un apport en GLU et FRU sur une durée prolongée, ce qui permet d'avoir une glycémie plus stable plus longtemps (21). L'insulinémie suit les mêmes courbes. En effet, comme les glycémies étaient plus basses que celles des autres CHO, l'insuline obtient les mêmes résultats. Dans l'étude de J. Achten (45), d'Emma J. Stevenson (42) et de T. Oosthuysen (26), la tendance s'inverse après 30 minutes, 75 minutes et 120 minutes respectivement, c'est-à-dire que l'insuline de l'ISO est plus élevée qu'avec les autres CHO. Les autres études ne mentionnent pas de différence. Ces absences de différences significatives peuvent avoir plusieurs explications. Premièrement, comme la glycémie est plus élevée après un certain temps dans l'étude de d'Emma J. Stevenson (42) et de T. Oosthuysen (26), l'insuline répond au taux de glucose sanguin et, est donc également plus élevée. Deuxièmement, les glycémies des autres études étaient possiblement plus élevées après un certain temps mais non significatives. Concernant l'étude d'Emma J. Stevenson (42), il y a uniquement des résultats significatifs après l'ingestion de 35g de CHO et non au début du match avec l'ingestion de 25g de CHO. Il est donc plausible qu'il soit nécessaire d'avoir une consommation importante de CHO afin de trouver des résultats significatifs.

Au niveau des effets métaboliques des oxydations des substrats, nous savons que l'oxydation lipidique fonctionne en opposition à l'oxydation glucidique. En lien avec ces différences de glucides oxydés, l'oxydation des lipides a un effet miroir. Lorsque l'oxydation glucidique est basse, l'oxydation lipidique est haute systématiquement, ce qui montre bien que la dépense énergétique totale n'était pas différente entre les conditions (49). Avec le temps, et alors que les différences de glycémie ou d'insulinémie s'estompaient, les différences entre l'oxydation glucidique s'estompaient aussi, ce qui confirme bien le lien entre les deux concepts. En conséquence d'une glycémie ou d'une insulinémie moindre, les différentes études ont observé initialement des oxydations glucidiques totales abaissées avec ISO par rapport aux CHO contrôles. Il y a une seule exception dans l'étude de T. Amano (37) qui décrit de manière significative une oxydation glucidique plus élevée de l'ISO par rapport au SUC et au GLUFRU après 180 minutes. Ce résultat est intéressant car dans cette étude, les CHO sont consommés au-delà d'1,5h d'effort physique. Selon les recommandations nutritionnelles en lien avec la consommation de CHO après l'effort, elles décrivent une consommation de CHO durant la première heure (2). Notre hypothèse est donc que l'oxydation glucidique de l'ISO est plus élevée après ce laps de temps car les autres CHO sont déjà utilisés, en partie, dans le but de recharger le glycogène musculaire et hépatique rapidement. C'est donc logiquement que l'ISO, avec son temps d'absorption, et donc d'oxydation plus long, soit plus important après plus d'une heure. L'étude de J. Achten (45) est primordiale car c'est la seule qui a utilisé de l'isomaltulose marqué au carbone-13 dans le but de distinguer si ces glucides oxydés sont

exogènes ou dérivés du glycogène endogène. De cette étude, il ressort que l'effet d'économie du glycogène obtenu par ingestion de glucides est moindre avec ISO plutôt qu'avec SUC. En effet, les auteurs décrivent de manière significative que durant les 90 dernières minutes, l'oxydation glucidique totale des CHO endogènes est plus faible avec une consommation de SUC (107g) qu'avec une consommation d'ISO (127g) (45). Dès lors, tout le potentiel intérêt de l'ISO concernant l'économie du glycogène est démenti par cette étude. Il est donc prouvé que l'ISO ne permet pas d'économiser du glycogène durant les 150 minutes après la consommation et à VO_2 de 60%. On peut donc en déduire que tous les sports de moins de 150 minutes ainsi que ceux qui ont une VO_2 de 60% ou plus n'ont aucun intérêt à consommer de l'ISO au niveau de l'épargne du glycogène. Finalement, il est donc difficile de trouver un type de sport qui dure plus de 150 minutes à une VO_2 de 60% ou moins et où il n'est pas possible de se ravitailler.

Les effets du comparateur sont divers entre le MDX et le FRUMDX VS SUC VS GLUFRU. Du fait que le FRU n'engendre pas directement de sécrétion d'insuline (50), nous avons émis les hypothèses que les courbes glycémiques et insulinémiques seraient abaissées avec ISO par rapport à MDX, et que l'écart entre les courbes provoqué par ISO est moins marqué avec le GLUFRU, FRUMDX, SUC. La première hypothèse a été confirmée, la deuxième hypothèse a été contestée, en raison de la vitesse d'absorption ralentie due à une liaison se liant difficilement à l'enzyme lors de la digestion et l'absorption.

Au niveau des doses ingérées, nous avons constaté à premier abord la diversité de quantités entre les études, ainsi que la diversité des répartitions (nombre de prises). Nous tenons également à mettre un point d'attention sur le fait que certains protocoles indiquaient une consommation alimentaire avant les tests et d'autres indiquaient aux sujets d'être à jeun le jour des tests. La consommation alimentaire ou la non-consommation peut alors jouer un rôle dans la tolérance digestive des sportifs. Nous avons émis l'hypothèse que la tolérance digestive était sans doute aussi en lien avec la quantité consommée, et éventuellement la répartition de celle-ci. Nous supposons qu'à partir d'une quantité X, des troubles gastro-intestinaux peuvent faire leur apparition. Les études ont évalué la majorité du temps l'inconfort gastro-intestinal en fonction des sensations subjectives, à l'aide de questionnaires validés. Une seule étude a réalisé des examens physiologiques (46). Les résultats des études nous indiquent que 4 études sur 6 (un article n'a pas évalué les TD (45)) ne constatent aucune différence entre l'ISO et les CHO contrôles. L'étude de M. Miyashita (46) n'a relevé qu'une augmentation du débit et de la vitesse sanguine de l'artère mésentérique supérieure au niveau physiologique. Aucune différence n'a été relevée pour les sensations subjectives. Cependant, deux articles démontrent une augmentation des TD avec l'ISO par rapport aux CHO contrôles (37). Aussi, nous observons que les 4 articles ne décrivant pas d'inconfort ont une quantité de CHO dans les boissons plus faibles que celle des deux articles décrivant des troubles digestifs. Si nous nous basons sur les études-ci, nous pourrions penser que la quantité maximale avant l'apparition de troubles gastro-intestinaux est d'environ 75g. En effet, nous constatons que l'article qui a relevé le plus de troubles gastro-intestinaux a certes la plus grande quantité d'ISO consommée mais aussi le plus grand nombre de prises (46). De plus, nous savons qu'une grande quantité induit une mal absorption et que les CHO non absorbés peuvent induire une hyperosmolarité du bol intestinal qui conduit à l'accélération du transit, diarrhée ou à

ballonnement, dans le cas où les glucides sont dégradés par le microbiote (51). Cependant, nous avons remarqué qu'une étude présentant des TD a un protocole indiquant de rester à jeun le matin du test (37), et l'autre étude présentant des TD a un protocole indiquant de consommer un petit-déjeuner standardisé avant le test (26). Aussi, les autres études ne présentant pas de TD ont des protocoles recommandant une consommation ou un jeûne. Nous pensons alors que la prise alimentaire ou le jeûne n'ont pas d'impact sur l'apparition de TD. La tolérance gastro-intestinale peut aussi être impactée par le type d'exercices pratiqués. Toutefois, les pratiques et intensité ainsi que les durées d'exercices ne confirment pas cette hypothèse dans ce cas-ci. En effet, un article (42) ne démontrant pas de TD, a une plus longue durée et intensité qu'une étude en démontrant (37). Aussi, cette même étude (42) comporte des exercices ayant plus de chocs pour l'organisme (course à pieds) du sportif que les deux articles qui démontrent des TD (cyclisme) (37). En dernier point, nous avons pris connaissance qu'une déshydratation ou une hydratation faible peut induire des troubles digestifs (52). Nous avons alors émis un lien pour l'article (37), qui a pour intervention de créer une déshydratation de 2%. Nous avons également conscience que ce procédé a eu lieu avec l'ISO comme avec les CHO contrôles. La tolérance digestive est un point important dans ce TB, puisqu'il a été démontré que l'inconfort et les troubles digestifs peuvent avoir un impact conséquent sur les performances sportives (28). Dans le milieu du sport et notamment de la compétition, il est nécessaire de s'assurer de la bonne tolérance d'un produit. Néanmoins, pour rappel, les quantités présentes dans les protocoles d'études ne correspondent pas aux recommandations de bonnes pratiques. Elles y sont inférieures (1). Pour terminer, nous avons connaissance que le tractus gastro-intestinal a une capacité d'adaptation importante, appelé le « training gut³ » (53). Cela signifie deux choses : premièrement, cela indique une capacité probable pour le sportif ayant des symptômes gastro-intestinaux à s'habituer au fur et à mesure des entraînements, à la consommation d'ISO, et de ce fait d'augmenter la tolérance digestive individuelle. Deuxièmement, il serait probable que les sujets sportifs soient habitués à la consommation lors de l'activités physiques d'autres CHO, et plus particulièrement les CHO contrôles présents dans les études analysées ici. Cela induirait un désavantage initial de l'ISO lors de l'évaluation de la tolérance digestive.

Au niveau de la récupération rapide, seule l'étude de T. Amano (37) est utile pour cet aspect. Selon notre hypothèse, il est donc déconseillé de consommer de l'ISO pour recharger rapidement les stocks de glycogène. En effet, ce dernier prend beaucoup plus de temps à être absorbé et oxydé comme le démontre l'impact sur la digestion l'absorption et le métabolisme. Toutefois, cette étude démontre un meilleur bilan hydrique après l'effort avec une consommation d'ISO comparé à celle de SUC ou celle de GLUFRU (37), ce qui confère un potentiel rôle intéressant de l'ISO en cas de stress thermique ou de bilan hydrique. Les mécanismes proposés par l'auteur se basent sur une suppression du débit urinaire, et de ce fait une rétention nette de liquide induit par l'ISO supérieur à d'autres sucres. Aussi, l'ISO retarderait la récupération de volume plasmatique, mais le restaurerait par la suite. Au total, une plus grande rétention nette de liquide serait observée avec l'ISO par rapport à d'autres sucres (37). Cependant, une seule étude n'est pas suffisante pour affirmer que la consommation d'ISO est avantageuse pour la récupération. En conclusion, nous pensons que

l'ISO est à risque de provoquer des troubles gastro-intestinaux, en raison de la nature même de sa liaison entre les molécules de FRU et GLU moins facilement hydrolysable que pour SUC (par exemple), et en fonction de la quantité et du nombre de prises de boissons, de l'entraînement du tractus intestinal des sujets et de l'état d'hydratation. De plus, il est nécessaire de rappeler que les quantités administrées dans les études étaient inférieures aux recommandations nutritionnelles (1). Cela signifie alors qu'en tant que professionnels, nous recommanderions des quantités supérieures, et ainsi les patients seraient plus à risque de troubles gastro-intestinaux.

Après avoir discuté tous les outcomes et des possibilités de la consommation d'ISO par rapport au métabolisme, il reste les résultats de performances sportives à discuter. Le premier fait qu'il faut relever est qu'il est difficile de trouver des résultats significativement différents entre les CHO dans les études. C'est donc sans surprise que dans la majorité des études, il n'y a pas de différences entre l'ISO et les autres CHO au niveau des performances sportives. Pour compléter cette première explication, nous souhaitons encore une fois relever les quantités CHO qui ne correspondent pas aux recommandations nutritionnelles pour les différentes durées d'effort. Il n'est donc pas possible de conclure que l'ISO est recommandé ou non pour la performance sportive. Toutefois, l'étude de T. Oothyuse (26) décrit qu'une consommation d'ISO engendre de moins bonnes performances sportives comparées au FRUMDX. Cette étude décrit, sans conflit d'intérêt et sans financement ambigu, que le temps contre la montre de l'ISO est plus important que celui de l'autre CHO. Concernant le type de CHO et la quantité consommée durant cette étude, c'est elle qui se rapproche le plus des recommandations nutritionnelles actuelles (2). Le scénario de cette étude ne correspond cependant pas à un sport de longue durée sans ravitaillement. Dès lors, un scénario dans des conditions de vie réelle sans ravitaillement ni de temps pour manger, ou boire, et donc avec des apports suboptimaux, le sujet reste débattu. Dès lors, nous pouvons en déduire que pour la majorité des études, le protocole d'administration des CHO ne correspond pas aux recommandations nutritionnelles actuelles (2) et n'est donc pas optimal pour trouver des résultats en termes de performances sportives. Avec les résultats actuels, nous pouvons toutefois prendre en compte que l'ISO n'est pas plus bénéfique ni délétère pour la performance sportive. Il n'y donc aucun résultat en termes de performance sportive pure.

Finalement, la plupart des études ont été réalisées en sport d'endurance et notamment en cyclisme, et l'ISO se consommait surtout lors des pré-tests ou pendant les tests. Une étude discute du football, un sport intermittent (42). Cependant, il y a peu de différences en termes d'intensité et de durée de l'exercice avec les autres activités sportives. Nous concluons donc que, dans des conditions strictement contrôlées ou lors d'activités sportives avec prise à volonté, l'ISO semble probablement moins intéressant que d'autres CHO. En revanche, l'ISO diminue les problèmes de santé buccale notant les carries comparés aux autres CHO (21). De plus, dans des conditions de vies réelles, par exemple, lorsqu'il n'y a pas de possibilités de ravitaillement pour une raison quelconque ou si le sportif n'a pas le temps de manger ou boire, le sujet reste débattu. Aussi, le choix du sportif ne se porte peut-être pas entre ISO VS un autre sucre mais peut-être entre ISO VS eau. Dans ce cas-là, il y aurait des bénéfices sur la performance sportive globale et l'épargne du glycogène ainsi qu'éventuellement sur la réhydratation.

5. Biais, limites et points forts

5.1 Biais, limites et points forts des études

Le premier biais que nous avons mis en évidence dans nos études concernent la population. En effet, il est toujours possible que des différences d'échantillonnage expliquent les résultats de ces études, mais ceci est peu probable de par une homogénéité dans les populations étudiées. Cependant, la traduction de ces résultats vers d'autres populations comme les femmes, les individus plus jeunes ou plus âgés ou atteints de différentes maladies affectant le métabolisme reste très limitée (54). Concernant le nombre de sujets sélectionnés dans les études, il n'est pas assez important pour qu'il n'y ait aucun biais. Au niveau des interventions des études, nous avons relevé que les nombreuses différences entre les études au niveau des types et quantités de CHO ingérés selon les études représentait une limite. Il est, en effet, difficile de discuter des résultats lorsque les protocoles d'ingestion de CHO sont si différents.

Une limite importante est le type de sport étudié avec l'ISO jusqu'à présent. En effet, les études sont très restreintes concernant le type de sport et leur catégorie. Beaucoup d'autres types de sports méritent alors d'être exploités. Un des objectifs de notre travail est de définir d'éventuelles améliorations au niveau de la performance sportive. Toutefois, il est très compliqué d'avoir une différence significative en évaluant la performance physique.

Concernant les points forts des études, il faut tout d'abord mentionner la qualité des études sélectionnées. En effet, toutes les études sauf deux (simple aveugle ou sans précision) sont des essais contrôlés randomisés en double aveugle. Le niveau de preuves scientifiques est A pour toutes les études sélectionnées. De plus, tous les questionnaires pour l'évaluation de TD sont validés (40). En plus d'être un biais, la population et le type de sport sélectionnés est également un point fort de notre travail. En effet, la haute cohérence entre les individus (jeunes hommes en santé avec des $VO_2\text{max}$ similaires) et les types de sports permettent de comparer facilement les résultats obtenus.

5.2 Biais, limites et points forts de notre travail

Une des limites de notre travail concerne les outcomes sélectionnés. En effet, nous avons tout d'abord dû faire un choix restreint. Nous sommes conscients que d'autres outcomes auraient pu appuyer certains résultats et permettre une analyse plus complète. Aussi, nous trouvons que notre sélection d'études est faible (7 articles). En raison du peu de variété de catégories et types de sports, notre travail peut uniquement apporter des conseils en lien avec certains types de sports et non un panel de catégories important. Un point important est que l'extraction des données s'est uniquement basée sur les écrits des auteurs et non sur les différentes valeurs calculées, par manque de données officielles, absentes des articles.

Malgré le manque d'études, ce TB permet de prodiguer des conseils à de futurs clients/patients qui pourraient potentiellement être intéressés par l'ISO pour la performance sportive. Le nombre d'études analysées est, comme dit précédemment, faible. Cependant, nous avons le sentiment d'avoir exploité les bases de données avec minutie et de ne pas avoir omis d'études importantes.

6. Perspectives

Il n'existe pas suffisamment d'études pour affirmer clairement si l'ISO peut améliorer les performances sportives par rapport à d'autres types de CHO et surtout dans quelles conditions. Il serait donc nécessaire de faire de nouvelles études avec les quantités recommandées de CHO par rapport au type et à la durée des efforts physiques. De plus, il serait intéressant d'étudier un panel de sports plus grand car actuellement, il n'existe pas assez d'études sur les sports intermittents par exemple.

Il serait également nécessaire d'étudier de manière plus approfondie l'effet de l'ISO sur la récupération des athlètes et notamment quand les épreuves sportives se déroulent avec un temps de récupération inférieur à 24 heures. De plus, une seule étude (37) décrit un bienfait sur le bilan hydrique en post effort. Toutefois, il serait intéressant d'avoir un nombre d'études plus conséquent à ce sujet pour pouvoir appuyer les descriptions de cette unique étude.

L'absence d'études comprenant des femmes et la méconnaissance du métabolisme féminin est un facteur dommageable très connu dans la recherche. C'est cependant une perspective non négligeable que de réaliser des études avec des sujets féminins. Nous nous attendrions cependant à ce que le métabolisme glucidique soit moins important, avec pour conséquence une moindre dépendance aux glucides exogènes par rapport aux hommes et donc que l'ingestion de différents CHO aboutissent à des effets plus similaires entre eux. Selon nous, l'intérêt de l'isomaltulose n'est pas aussi important chez les femmes que chez les hommes. Concernant les sportifs atteints de diabète, il serait, selon nous, intéressant d'étudier d'avantage l'intérêt de l'ISO. Comme nous l'avons discuté dans ce travail, ce nouveau glucide permet de maintenir des glycémies plus stables au repos et permet de maintenir les performances sportives (55). Il serait donc intéressant d'étudier si l'ISO a un réel avantage sur la performance sportive en plus d'un maintien plus stables des glycémies au repos.

Diverses études indiquent que la prise d'ISO retarde l'absorption ultérieure du GLU co-ingéré. Plutôt que de systématiquement comparer l'isomaltulose pur à du GLU ou GLUFRU purs, il serait intéressant de comparer des mélanges contenant de l'ISO avec du GLUFRU et du GLUFRU pur.

7. Proposition de guide

La proposition de guide se base sur un principe essentiel : connaître le patient. En effet, au cours de ce TB, nous avons compris combien chaque caractéristique influençait les conseils à donner. Nous discutons ici notamment des catégories de sport (résistance, endurance et intermittent) mais aussi de la durée de l'exercice, de son intensité, de la possibilité ou non de se ravitailler. Nous entendons par là : a-t-il l'habitude et l'expérience de consommer des glucides durant l'activité sportive ? Nous savons que le sportif entraîné à consommer des glucides durant l'exercice aura une meilleure tolérance au CHO que le sujet qui n'en consomme pas durant l'entraînement (53). Les conseils varient alors au niveau de la quantité à recommander (2). Afin d'adapter au mieux les conseils quantitatifs, il est également primordial de connaître la consommation journalière en glucides du sportif, ainsi que ses

habitudes d'entraînement ; par exemple : s'entraîne-t-il à jeun ? Les moments et conditions de l'entraînement pourraient, elles aussi, modifier ou nécessiter un aménagement des recommandations.

En nous référant aux résultats des études et à notre discussion, nous allons décrire dans quelles conditions nous recommandons de prendre ou ne pas prendre de l'isomaltulose.

Au niveau des sports de résistances, il n'y a en effet aucune étude à ce sujet. Mais les potentiels effets intéressants d'une consommation d'isomaltulose dans cette catégorie de sport sont très peu probables. En effet, avec l'utilisation majoritaire des filières énergétiques anaérobies, l'isomaltulose ne peut très probablement pas engendrer d'effets positifs sur la performance sportive. Concernant les sports d'endurance avec un accès régulier aux CHO, la plupart des études démontrent un effet similaire, voire moins intéressant à la consommation d'isomaltulose par rapport aux autres CHO. Nous ne recommandons donc pas l'isomaltulose car les risques de troubles gastro-intestinaux sont plus élevés avec ce dernier lors d'apports importants. Il en va de même en cas d'intensité trop élevée ou des sports à chocs répétés comme la course à pied qui limite la digestion. Pour les sports d'endurance/intermittents avec un accès restreint ou pas d'accès aux CHO, certains auteurs ont émis l'hypothèse qu'après un certain temps d'effort, l'isomaltulose pourrait avoir un effet bénéfique sur la performance. Toutefois, nous ne recommandons toujours pas ce glucide. Comme nous l'avons mentionné dans la discussion, l'isomaltulose n'épargne pas mieux le glycogène que les autres CHO sauf éventuellement dans des conditions complexes ; comme décrite dans l'étude de J. Achten (45) où l'effort dure plus de 150 minutes avec une VO_2 qui est en dessous de 60%, ce qui, en conclusion, ne concerne peu ou aucun sport. De plus, l'éventuel intérêt de l'isomaltulose est rapidement limité au niveau digestif lors d'importantes consommations de CHO. Il faut toutefois garder en tête que la nutrition peut être entravée dans certains sports par la compétition même, et dans ce contexte, le comparateur n'est pas forcément un sucre respectant les guidelines, mais parfois plutôt une absence de nutrition. Un rôle potentiel pour l'isomaltulose dans certaines pratiques n'est donc pas totalement à exclure.

En conclusion, nous pensons qu'il est primordial de réaliser une évaluation complète de l'alimentation actuelle du sportif, de ses habitudes de consommation autour de l'entraînement (avant, pendant, après) ainsi que le contenu des exercices (intensité, durée, ravitaillement ou non) et de son expérience personnelle liée à la consommation de CHO durant l'activité physique. Il est aussi nécessaire selon notre expertise de recommander une séance d'entraînement test, afin de prévenir tout risque de troubles gastro-intestinaux lors d'une compétition ou d'un entraînement important.

8. Conclusion

En conclusion, nous avons pour but de répondre à la QR : Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ?

Nous pouvons principalement retenir que l'isomaltulose n'engendre aucune différence positive ou négative sur la performance sportive. Toutefois, ce nouveau type de sucre peut apporter des effets bénéfiques sur les aspects métaboliques comme une glycémie et une insulémie plus stables au repos et à l'exercice. Il pourrait également engendrer des bénéfices pour la réhydratation après le sport. Cependant, les résultats décrivent que dans la plupart des conditions, l'isomaltulose ne permet pas de mieux épargner le glycogène comparer aux autres glucides. Aussi, nous constatons également que certains troubles gastro-intestinaux peuvent être engendrés par l'isomaltulose. Toutefois, sur l'échelle individuelle, et dans des conditions d'efforts physiques d'endurance, sans possibilité de ravitaillement, ce disaccharide est une possibilité qu'il reste à étudier. La consommation d'isomaltulose est dans tous les cas plus intéressante que la consommation d'eau uniquement.

Aussi, les études analysées dans ce travail ne représentent que très peu les sports d'équipe. Il serait alors intéressant de pouvoir prendre position sur l'ISO avec ce type de sport.

En dépit de l'absence de résultats positifs sur les performances sportives, la contribution du diététicien-ne est tout de même légitime pour conseiller des sportifs. Elle doit cependant être appuyée des dernières études scientifiques et du ressenti du sportif. Il est alors nécessaire pour le diététicien-ne de connaître et comprendre le métabolisme de ce glucide, ainsi que ses possibles effets secondaires pour le recommander et conseiller au mieux le sportif.

9. Listes des références

1. Jeukendrup A. A Step Towards Personalized Sports Nutrition: Carbohydrate Intake During Exercise. *Sports Med Auckl Nz.* 2014;44(Suppl 1):25-33.
2. Burke LM, Hawley JA, Wong SHS, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci.* 1 janv 2011;29(sup1):S17-27.
3. Karelis AD, Smith JEW, Passe DH, Péronnet F. Carbohydrate Administration and Exercise Performance. *Sports Med.* 1 sept 2010;40(9):747-63.
4. Hecketsweiler B, Hecketsweiler P. Voyage en biochimie. Paris: Elsevier; 2004.
5. Marieb EN, Hoehn K. Anatomie et physiologie humaines. Montréal: Pearson Education; 2019.
6. Les sucs digestifs et les enzymes [Internet]. [cité 23 juill 2022]. Disponible sur: https://patrice-hardouin.canoprof.fr/eleve/Sciences%20en%20H%C3%B4tellerie-Restauration/1_STHR/nutrition_humaine_eleve/activites/sucs_digestifs.xhtml
7. Magnan C, Ktorza A. Production et sécrétion de l'insuline par la cellule β pancréatique. *EMC - Endocrinol.* 1 déc 2005;2(4):241-64.
8. Gonzalez JT, Betts JA. Dietary sugars, exercise and hepatic carbohydrate metabolism. *Proc Nutr Soc.* mai 2019;78(2):246-56.
9. Baker JS, McCormick MC, Robergs RA. Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *J Nutr Metab.* 6 déc 2010;2010:e905612.
10. Kaviani M, Chilibeck PD, Jochim J, Gordon J, Zello GA. The Glycemic Index of Sport Nutrition Bars Affects Performance and Metabolism During Cycling and Next-Day Recovery. *J Hum Kinet.* 27 mars 2019;66:69-79.
11. Mondazzi L, Arcelli E. Glycemic index in sport nutrition. *J Am Coll Nutr.* août 2009;28 Suppl:455S-463S.
12. Tappy L, Rosset R. Fructose Metabolism from a Functional Perspective: Implications for Athletes. *Sports Med Auckl NZ.* mars 2017;47(Suppl 1):23-32.
13. Fuchs CJ, Gonzalez JT, van Loon LJC. Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes. *J Physiol.* juill 2019;597(14):3549-60.
14. Rosset R, Egli L, Lecoultre V. Glucose-fructose ingestion and exercise performance: The gastrointestinal tract and beyond. *Eur J Sport Sci.* août 2017;17(7):874-84.
15. Larousse É. consommation d'oxygène - LAROUSSE [Internet]. [cité 23 juill 2022]. Disponible sur: https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/consommation_doxyg%C3%A8ne/12155
16. Fink HH, Mikesky AE. La nutrition du sport. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur; 2018.
17. Houtkooper L, Abbot JM, Nimmo M. Nutrition for throwers, jumpers, and combined events athletes. *J Sports Sci.* 1 déc 2007;25(sup1):S39-47.
18. Bélanger M, LeBlanc MJ, Dubost M. La nutrition. Montréal: Chenelière Éducation; 2015.
19. Guy-Grand B. Les sucres dans l'alimentation : de quoi parle-t-on ? *Cah Nutr Diététique.* 1 déc 2008;43:2S7-11.
20. Baker LB, Rollo I, Stein KW, Jeukendrup AE. Acute Effects of Carbohydrate Supplementation on Intermittent Sports Performance. *Nutrients.* 14 juill 2015;7(7):5733-63.
21. Sawale PD, Shendurse AM, Mohan MS, Patil GR. Isomaltulose (Palatinose) – An emerging carbohydrate. *Food Biosci.* 1 juin 2017;18:46-52.
22. Bussau VA, Fairchild TJ, Rao A, Steele P, Fournier PA. Carbohydrate loading in human muscle: an improved 1 day protocol. *Eur J Appl Physiol.* 1 juill 2002;87(3):290-5.

23. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* juin 2006;38(6):1165-74.
24. Queneau Y. Le saccharose et l'isomaltulose [Internet]. 2009 [cité 23 juin 2022]. Disponible sur: <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2009-334-oct-p.36-Queneau.pdf>
25. Lina A, Jonker D, Kozianowski G. Isomaltulose (Palatinose): a review of biological and toxicological studies [Internet]. 2002 [cité 16 juin 2022]. Disponible sur: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0278691502001059?token=835478A0CFC9C3DA A3CDB99B69705C2ACCC45243802DF92E0037280F51FAD0C5650DD97DB7357FFFDB 1968037254D034&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220725173106>
26. Oosthuysen T, Carstens M, Millen AM. Ingesting Isomaltulose Versus Fructose-Maltodextrin During Prolonged Moderate-Heavy Exercise Increases Fat Oxidation but Impairs Gastrointestinal Comfort and Cycling Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* oct 2015;25(5):427-38.
27. Holub I, Gostner A, Theis S, Nosek L, Kudlich T, Melcher R, et al. Novel findings on the metabolic effects of the low glycaemic carbohydrate isomaltulose (Palatinose). *Br J Nutr.* juin 2010;103(12):1730-7.
28. de Oliveira EP, Burini RC, Jeukendrup A. Gastrointestinal Complaints During Exercise: Prevalence, Etiology, and Nutritional Recommendations. *Sports Med.* 1 mai 2014;44(1):79-85.
29. Question de recherche [Internet]. Unisanté. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.unisante.ch/fr/formation-recherche/ressources-pour-recherche/roadmap/creativite-expertise/question-recherche>
30. Green BN, Johnson CD, Adams A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *J Chiropr Med.* 1 sept 2006;5(3):101-17.
31. Revues systématiques [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://swiss.cochrane.org/fr/ressources/revues-systematiques>
32. PubMed [Internet]. PubMed. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
33. Embase [Internet]. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.embase.com/landing?status=grey>
34. CINAHL Complete | EBSCO [Internet]. EBSCO Information Services, Inc. | www.ebsco.com/fr-fr. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.ebsco.com/fr-fr/products/research-databases/cinahl-complete>
35. Lucier J, Weinstock RS. Diabetes Mellitus Type 1. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507713/>
36. Sidhu S, Parikh T, Burman KD. Endocrine Changes in Obesity [Internet]. 2017 [cité 16 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279053/>
37. Amano T, Katayama S, Okamoto Y, Otsuka J, Fujii N, Kenny GP, et al. Comparisons of isomaltulose, sucrose, and mixture of glucose and fructose ingestions on postexercise hydration state in young men. *Eur J Nutr.* déc 2021;60(8):4519-29.
38. Maughan RJ, Meyer NL. Hydration during Intense Exercise Training. *Limits Hum Endur.* 2013;76:25-37.
39. outils d'évaluation critique - Outils d'évaluation critique | JBI [Internet]. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
40. Haute autorité de santé. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne

- pratique [Internet]. 2013 [cité 16 juin 2022]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf
41. PRISMA [Internet]. [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://prisma-statement.org/prismastatement/flowdiagram>
42. Stevenson EJ, Watson A, Theis S, Holz A, Harper LD, Russell M. A comparison of isomaltulose versus maltodextrin ingestion during soccer-specific exercise. *Eur J Appl Physiol.* nov 2017;117(11):2321-33.
43. König D, Zdzieblik D, Holz A, Theis S, Gollhofer A. Substrate Utilization and Cycling Performance Following PalatinoseTM Ingestion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Trial. *Nutrients.* 23 juin 2016;8(7):E390.
44. Notbohm HL, Feuerbacher JF, Papendorf F, Friese N, Jacobs MW, Predel HG, et al. Metabolic, hormonal and performance effects of isomaltulose ingestion before prolonged aerobic exercise: a double-blind, randomised, cross-over trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 17 mai 2021;18(1):38.
45. Achten J, Jentjens RL, Brouns F, Jeukendrup AE. Exogenous oxidation of isomaltulose is lower than that of sucrose during exercise in men. *J Nutr.* mai 2007;137(5):1143-8.
46. Miyashita M, Hamada Y, Fujihira K, Namura S, Sakazaki M, Miyasaka K, et al. The effects of isomaltulose ingestion on gastric parameters and cycling performance in young men. *J Exerc Sci Fit.* juill 2019;17(3):101-7.
47. Centre de documentation HEDS. Présentation des citations et références bibliographiques style VANCOUVER [Internet]. 2022 [cité 25 juin 2022]. Disponible sur: https://www.hesge.ch/heds/sites/default/files/documents/CentreDoc/citation-ref-biblio/guidevancouverseptembre2019_siteweb.pdf
48. Marquet LA. Influence de la disponibilité en glucides sur la performance : nouvelles stratégies d'apports glucidiques en fonction des besoins de la programmation d'entraînement [Internet]. 2017 [cité 2 juin 2022]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01492893/document>
49. Van Wymelbeke V, Louis-Sylvestre J, Fantino M. Substrate oxidation and control of food intake in men after a fat-substitute meal compared with meals supplemented with an isoenergetic load of carbohydrate, long-chain triacylglycerols, or medium-chain triacylglycerols. *Am J Clin Nutr.* 1 nov 2001;74(5):620-30.
50. Hannou SA, Haslam DE, McKeown NM, Herman MA. Fructose metabolism and metabolic disease. *J Clin Invest.* 128(2):545-55.
51. Raithel M, Weidenhiller M, Hagel AFK, Hetterich U, Neurath MF, Konturek PC. The Malabsorption of Commonly Occurring Mono and Disaccharides. *Dtsch Arztebl Int.* nov 2013;110(46):775-82.
52. Brouns F, Beckers E. Is the Gut an Athletic Organ? *Sports Med.* 1 avr 1993;15(4):242-57.
53. Jeukendrup AE. Training the Gut for Athletes. *Sports Med.* 1 mars 2017;47(1):101-10.
54. Sedeaud A. Caractéristiques anthropométriques et performances de haut niveau : évolutions, indicateurs et optimisations [Internet]. 2013 [cité 22 juin 2022]. Disponible sur: <https://hal-insep.archives-ouvertes.fr/tel-01788589/document>
55. Bracken RM, Page R, Gray B, Kilduff LP, West DJ, Stephens JW, et al. Isomaltulose improves glycemia and maintains run performance in type 1 diabetes. *Med Sci Sports Exerc.* mai 2012;44(5):800-8.
56. CISMef. HeTOP [Internet]. Centre Hospitalo-Universitaire de Rouen; [cité 24 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.hetop.eu/hetop/>

10. Bibliographie

1. Adeva-Andany M, López-Ojén M, Funcasta-Calderón R, Ameneiros-Rodríguez E, Donapetry-García C, Vila-Altesor M, et al. Comprehensive review on lactate metabolism in human health. *Mitochondrion*. juill 2014;17:76-100. doi:10.1016/j.mito.2014.05.007
2. Amano T, Sugiyama Y, Okumura J, Fujii N, Kenny GP, Nishiyasu T, et al. Effects of isomaltulose ingestion on postexercise hydration state and heat loss responses in young men. *Exp Physiol*. oct 2019;104(10):1494-504. doi:10.1113/EP087843
3. Beck KL, Thomson JS, Swift RJ, von Hurst PR. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access J Sports Med*. 11 août 2015;6:259-67. doi:10.2147/OAJSM.S33605
4. Brooks GA. The Precious Few Grams of Glucose During Exercise. *Int J Mol Sci*. 10 août 2020;21(16):E5733. doi:10.3390/ijms21165733
5. Burke L, Hawley J, Jeukendrup A, Morton J, Stellingwerff T, Maughan R. Toward a Common Understanding of Diet-Exercise Strategies to Manipulate Fuel Availability for Training and Competition Preparation in Endurance Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018. doi:10.1123/ijsnem.2018-0289
6. Can JGP van, IJzerman TH, Loon LJC van, Brouns F, Blaak EE. Reduced glycaemic and insulinaemic responses following isomaltulose ingestion: implications for postprandial substrate use. *Br J Nutr*. nov 2009;102(10):1408-13. doi:10.1017/S0007114509990687
7. Coggan AR, Coyle EF. Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exerc Sport Sci Rev*. [En ligne]. 1991 [cité 10 décembre 2021] ;19:1-40. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1936083/>
8. Crha T, Pazourek J. Rapid HPLC Method for Determination of Isomaltulose in the Presence of Glucose, Sucrose, and Maltodextrins in Dietary Supplements. *Foods Basel Switz*. 24 août 2020;9(9):E1164. doi:10.3390/foods9091164
9. Dashty M. A quick look at biochemistry: carbohydrate metabolism. *Clin Biochem*. oct 2013;46(15):1339-52. doi:10.1016/j.clinbiochem.2013.04.027
10. Deng Q, Haszard JJ, Conner TS, Rapsey C, Peng M, Venn BJ. Cognitive performance, mood and satiety following ingestion of beverages imparting different glycaemic responses: a randomised double-blind crossover trial. *Eur J Clin Nutr*. avr 2021;75(4):602-10. doi:10.1038/s41430-020-00749-6
11. Febbraio MA, Chiu A, Angus DJ, Arkinstall MJ, Hawley JA. Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. déc 2000;89(6):2220-6. doi:10.1152/jappl.2000.89.6.2220
12. Fuchs CJ, Gonzalez JT, van Loon LJC. Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes. *J Physiol*. juill 2019;597(14):3549-60. doi:10.1113/JP277116
13. Funnell MP, Dykes NR, Owen EJ, Mears SA, Rollo I, James LJ. Ecologically Valid Carbohydrate Intake during Soccer-Specific Exercise Does Not Affect Running Performance in a Fed State. *Nutrients*. 5 janv 2017;9(1):E39. doi:10.3390/nu9010039

14. Gonzalez JT, Fuchs CJ, Betts JA, van Loon LJC. Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1 sept 2016;311(3):E543-553. doi:10.1152/ajpendo.00232.2016
15. Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat Metab.* sept 2020;2(9):817-28. doi:10.1038/s42255-020-0251-4
16. Hills SP, Russell M. Carbohydrates for Soccer: A Focus on Skilled Actions and Half-Time Practices. *Nutrients.* janv 2018;10(1):22. doi:10.3390/nu10010022
17. Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* juill 2010;13(4):452-7. doi:10.1097/MCO.0b013e328339de9f
18. Jeukendrup AE, Jentjens R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med Auckl NZ.* juin 2000;29(6):407-24. doi:10.2165/00007256-200029060-00004
19. Judge A, Dodd MS. Metabolism. *Essays Biochem.* 8 oct 2020;64(4):607-47. doi:10.1042/EBC20190041
20. Kahlhöfer J, Karschin J, Silberhorn-Bühler H, Breusing N, Bosy-Westphal A. Effect of low-glycemic-sugar-sweetened beverages on glucose metabolism and macronutrient oxidation in healthy men. *Int J Obes* 2005. juin 2016;40(6):990-7. doi:10.1038/ijo.2016.25
21. Kashimura J, Nagai Y, Ebashi T. The effect of palatinose on mental concentration in humans. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* juin 2003;49(3):214-6. doi:10.3177/jnsv.49.214
22. Kraemer WJ, Hooper DR, Szivak TK, Kupchak BR, Dunn-Lewis C, Comstock BA, et al. The addition of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate and isomaltulose to whey protein improves recovery from highly demanding resistance exercise. *J Am Coll Nutr.* 2015;34(2):91-9. doi:10.1080/07315724.2014.938790
23. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* juin 2006;38(6):1165-74. doi:10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd
24. Maresch CC, Petry SF, Theis S, Bosy-Westphal A, Linn T. Low Glycemic Index Prototype Isomaltulose-Update of Clinical Trials. *Nutrients.* 13 avr 2017;9(4):E381. doi :10.3390/nu9040381
25. Mata F, Valenzuela PL, Gimenez J, Tur C, Ferreria D, Domínguez R, et al. Carbohydrate Availability and Physical Performance: Physiological Overview and Practical Recommendations. *Nutrients.* 16 mai 2019;11(5):E1084. doi:10.3390/nu11051084
26. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1 mars 2018;28(2):104-25. doi:10.1123/ijsnem.2018-0020
27. Mondazzi L, Arcelli E. Glycemic index in sport nutrition. *J Am Coll Nutr.* août 2009;28 Suppl:455S-463S. doi:10.1080/07315724.2009.10718112

28. Nauck MA, Meier JJ. Incretin hormones: Their role in health and disease. *Diabetes Obes Metab.* févr 2018;20 Suppl 1:5-21. doi:10.1111/dom.13129
29. Newell ML, Wallis GA, Hunter AM, Tipton KD, Galloway SDR. Metabolic Responses to Carbohydrate Ingestion during Exercise: Associations between Carbohydrate Dose and Endurance Performance. *Nutrients.* 3 janv 2018;10(1):E37. doi:10.3390/nu10010037
30. O'Brien WJ, Stannard SR, Clarke JA, Rowlands DS. Fructose-maltodextrin ratio governs exogenous and other CHO oxidation and performance. *Med Sci Sports Exerc.* sept 2013;45(9):1814-24. doi:10.1249/MSS.0b013e31828e12d4
31. Rollo I, Gonzalez JT, Fuchs CJ, van Loon LJC, Williams C. Primary, Secondary, and Tertiary Effects of Carbohydrate Ingestion During Exercise. *Sports Med Auckl NZ.* nov 2020;50(11):1863-71. doi:10.1007/s40279-020-01343-3
32. Sentko A, Willibald-Ettle I. Isomaltulose. In: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; [cité 9 déc 2021]. p. 397-415. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118373941.ch18>
33. Stellingwerff T, Cox GR. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* sept 2014;39(9):998-1011. doi:10.1139/apnm-2014-0027
34. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* mars 2016;116(3):501-28. doi:10.1016/j.jand.2015.12.006
35. Vandenbogaerde TJ, Hopkins WG. Effects of acute carbohydrate supplementation on endurance performance: a meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ.* 1 sept 2011;41(9):773-92. doi:10.2165/11590520-000000000-00000
36. Williams C, Rollo I. Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance. *Sports Med Auckl NZ.* nov 2015;45 Suppl 1:S13-22. doi:10.1007/s40279-015-0399-3

11. Annexes

11.1 Annexe 1 : Tableau des différentes recommandations nutritionnelles de CHO durant l'exercice

Tableau 11 : Différentes recommandations nutritionnelles en glucides durant l'exercice en anglais (E.U) (2).

	Situation	Carbohydrate targets
Light	• Low-intensity or skill-based activities	3-5 g · kg ⁻¹ of athlete's body mass per day
Moderate	• Moderate exercise programme (i.e. ~1 h · day ⁻¹)	5-7 g · kg ⁻¹ · day ⁻¹
High	• Endurance programme (e.g. moderate-to-high intensity exercise of 1-3 h · day ⁻¹)	6-10 g · kg ⁻¹ · day ⁻¹
Very high	• Extreme commitment (i.e. moderate-to-high intensity exercise of >4-5 h · day ⁻¹)	8-12 g · kg ⁻¹ · day ⁻¹
General fuelling up	• Preparation for events <90 min exercise	7-12 g · kg ⁻¹ per 24 h as for daily fuel needs
Carbohydrate loading	• Preparation for events >90 min of sustained/intermittent exercise	36-48 h of 10-12 g · kg ⁻¹ body mass per 24 h
Speedy refuelling	• <8 h recovery between two fuel demanding sessions	1.0-1.2 g · kg ⁻¹ · h ⁻¹ for first 4 h then resume daily fuel needs
Pre-event fuelling	• Before exercise >60 min	1-4 g · kg ⁻¹ consumed 1-4 h before exercise
During brief exercise	• <45 min	Not needed
During sustained high-intensity exercise	• 45-75 min	Small amounts including mouth rinse
During endurance exercise including "stop and start" sports	• 1.0-2.5 h	30-60 g · h ⁻¹
During ultra-endurance exercise	• >2.5-3.0 h	Up to 90 g · h ⁻¹

11.2 Annexe 2 : Processus méthodologique

Nous avons traduit les mots-clés en MeshTerms grâce au site internet HeTop (56). La recherche de MeshTerms permet d'introduire les mots concordants dans la base de données Pubmed. Nous avons également souhaité poursuivre nos recherches sur la base de données Embase. Nous y avons donc traduit les mots-clés afin qu'ils correspondent à la recherche. Certains termes ne répondaient pas à un MeshTerm, et ont été placés comme "autres mots-clés libres". Les autres mots-clés sont intégrés à l'équation telle quelle.

Tableau 12 : Mesh Terms et mots clés pour le concept 1 : isomaltulose

Mots clés	Pubmed Mesh Terms	Embase	Autres mots-clés libres
Isomaltulose	isomaltulose	palatinose	6-O-alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose palatinose

Ce tableau présente les Mesh Terms utilisés pour Pubmed, les mots clés pour Embase et les autres mots clés libres utilisés dans les deux bases de données, correspondant à la recherche sur l'isomaltulose.

Équation Pubmed correspond au concept de l'isomaltulose :

((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (isomaltulose)) OR (palatinose)

Nombre d'articles disponibles : 359

Comme explicité au-dessus, nous n'avons formé qu'une équation finale sur Embase, raison pour laquelle l'équation de l'isomaltulose seule sur Embase ne figure pas ici.

Tableau 13 : MeshTerms et mots clés pour le concept 2 : sport et performances sportives.

Mots-clés	Pubmed Mesh terms	Embase	Autres mots clés libres
Sportif, athlètes	athlete	athlete	-
Sport	sport	sport	exercise
Entraînement	training	training	-
Performance sportive	athletic performance	athletic performance	exercise performance physical functional performance

Ce tableau présente les Mesh Terms utilisés pour Pubmed, les mots clés pour Embase et les autres mots-clés libres utilisés dans les deux bases de données, correspondant aux recherches sur le sport et sur les performances sportives.

Équation Pubmed correspondant au concept du sport et de la performance sportive :

(((((sport) OR (athlete)) OR (training)) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise))

Nombre d'articles disponibles : 2'712'792

Comme déjà expliqué, nous n'avons formé qu'une équation finale sur Embase, raison pour laquelle l'équation correspondant au sport et aux performances sportives seule sur Embase ne figure pas ici.

Tableau 14 : MeshTerms et mots clés pour le concept 3 : outcomes : glycémie, glucose, glucose-fructose, oxydations des substrats, tolérance digestive.

Mots-clés	Pubmed Mesh terms	Embase (à compléter lors de l'obtention des accès)	Autres mots-clés libres
Glycémie	blood glucose	-	-
Glucose	glucose	-	-
Glucose-fructose	-	-	glucose-fructose
Oxydation des substrats	-	-	substrate oxidation
Tolérance digestive	-	-	digestive tolérance

Ce tableau présente les Mesh Terms utilisés pour Pubmed, les mots clés pour Embase et les autres mots clés libres utilisés dans les deux bases de données, correspondant aux recherches sur les outcomes.

Équation Pubmed correspondant au concept des Outcomes :

(((((blood glucose) OR (glucose)) OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolerance))

Nombre d'articles disponibles : 718'730

Comme déjà expliqué, nous n'avons formé qu'une équation finale sur Embase, raison pour laquelle l'équation correspondant au sport et aux performances sportives seule sur Embase ne figure pas ici.

Pour construire l'équation finale de Pubmed, nous avons joint les trois équations intermédiaires ensemble :

1. ((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (isomaltulose)) OR (palatinose)
2. (((((sport) OR (athlete)) OR (training)) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise))
3. (((((blood glucose) OR (glucose)) OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolerance))

11.3 Annexe 3 : Tableau de grade de recommandations et de niveaux de preuves scientifiques selon la HAS (40)

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins. Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Figure 11 : Grade de recommandations et niveau de preuve scientifique (40)

11.4 Annexe 4 : Grille JBI : Analyse qualité**JBI Critical Appraisal Checklist for
randomized Controlled trials**

Reviewer _____ Date _____

Author _____ Year _____ Record Number _____

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include ☐ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 12 : Grille JBI vide

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Michaël Marquis

Date 20/05/2022

Author: Emma J. Stevenson, Antoine Watson, Stéphane Théis, Anja Holz, Liam D. Harper, Marc Russel

Year: 2017

Record Number: DOI 10.1007/s00421-017-3719-5

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include X Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 13 : Grille JBI pour l'article (42)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date: 21/05/22

Author : Daniel König , 1, * Denise Zdzieblik , 1 Anja Holz , 2 Stephan Theis , 2 et Albert Gollhofer 1

Year : 2016

Record Number doi : 10.3390/nu8070390 PMID : 27347996

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include **X** Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 14 : Grille JBI pour l'article (43)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date

23/05/2022

Author Hannah L Notbohm , Joshua F. Feuerbacher , Finn Papendorf , Nils Friese , Tapis W Jacobs ,
Hans-Georg Predel , Jonas Zacher , Guillaume Bloch , Moritz Schumann

Year : 2021

Record Number : DOI : 10.1186/s12970-021-00439-z

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include **X** Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 15 : Grille JBI pour l'article (44)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date 23/05/2022

Author : Tatsuro Amano ,Shingo Katayama , Yumi Okamoto , Junto Otsuka ,Naoto Fujii , Glen P. Kenny , Takeshi Nishiyasu ,Yasuaki Enoki & Daisuke Maejima
Year : 2021
Record Number : DOI: 10.1007/s00394-021-02614-z

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include ☒ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 16 : Grille JBI pour l'article (37)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date 23/05/2022

Author : Juul Achten, Roy L. Jentjens, Fred Brouns and Asker E. Jeukendrup

Year : 2022

Record Number : DOI: [10.1093/jn/137.5.1143](https://doi.org/10.1093/jn/137.5.1143)

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include ☒ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 17 : Grille JBI pour l'article (45)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date 23/05/2022

Author : Masashi Miyashita 1, Yuka Hamada 2 3, Kyoko Fujihira 2 3, Saki Namura 2, Miki Sakazaki 4,
Kiyooki Miyasaka 4, Yukie Nagai 4

Year : 2019 Record Number : PMCID: PMC6599884 DOI: 10.1016/j.jesf.2019.06.001

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include X Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 18 : Grille JBI pour l'article (46)

JBI Critical Appraisal Checklist for randomized Controlled trials

Reviewer: Juliana Moll

Date 23/05/2022

Author : Tanja Oosthuysen 1, Matthew Carstens, Aletta M Millen

Year : 2015

Record Number : PMID: 25811946 DOI: 10.1123/ijnsnem.2014-0178

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include ☒ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Figure 19 : Grille JBI pour l'article (26)

11.5 Annexe 5 : Tableau de présentation des articles et leurs outcomes

Ce tableau regroupe sur la colonne horizontale les articles et sur la ligne verticale la totalité des outcomes étudiés dans tous les articles. Nous avons donc recensé l'entière des outcomes de chaque article et annoté (X) ensuite dans les cases où l'outcome avait été étudié. Les lignes surlignées de jaune correspondent aux outcomes que nous avons choisis d'analysés dans ce travail.

Tableau 15 : Différents outcomes des études

	Emma J. Stevenson et al, 2017 (1)	D. König et al., 2016 (2)	HL. Notbohm et al., 2021 (3)	T. Amano, 2021 (4)	J. Achten et al., 2007 (5)	M. Miyashita et al., 2019 (6)	T. Oosthuyse et al, 2015 (7)
Glycémie	X	X	X	X	X	X	X
GIP			X				
Insuline plasmatique	X		X	X	X	X	X
IL-6	X						
Lactate sanguin	X	X		X			X
Epinéphrine plasmatique	X						
AGNE	X					X	X
FFA					X		
TG						X	
Glycérol	X						
Hémoglobine				X			
Hématocrite				X			
Sodium				X			

Potassium				X			
Chlorure				X			
Osmolarité plasmatique	X			X			
Volume plasmatique				X			
Volume sanguin				X			
Volume cellulaire				X			
Gravité spécifique de l'urine				X			
Débit urinaire				X			
Volume urinaire retenu				X			
Consommation d'O ₂				X	X		
Excrétion CO ₂						X	
Production de CO ₂				X			
Quotient respiratoire				X			
Taux d'échange respiratoire			X				
Oxydation glucidique		X	X	X	X		X
Oxydation exogène glucidique					X		
Oxydation endogène glucidique					X		
Oxydation lipidique		X	X	X	X		X

Dépense d'énergie					X		
Fréquence cardiaque	X	X			X		X
Effort perçu	X		X		X		X
Inconfort gastro-intestinal	X	X	X	X		X	X
Débit sanguin CA						X	
Débit sanguin SMA						X	
Vélocité sanguine CA						X	
Vélocité sanguine SMA						X	
Diamètre vaisseaux CA						X	
Diamètre vaisseaux SMA						X	
Zone antrale gastrique transversale						X	
Fréquence des contractions gastriques						X	
Taux de vidange gastrique						X	
Performance	X	X	X			X	X

11.6 Annexe 6 : Schémas glycémiques

Fig. 2 Blood glucose (a) and plasma insulin (b) concentrations throughout the PSE (black solid line), MDX (black dashed line) and PLA (grey dashed line) trials ($n=22$, data are presented as mean \pm SD). *Significant difference between PSE and PLA at corresponding time-point; a represents significant difference between PSE and MDX at corresponding time-point; b represents significant difference between MDX and PLA at corresponding time-point

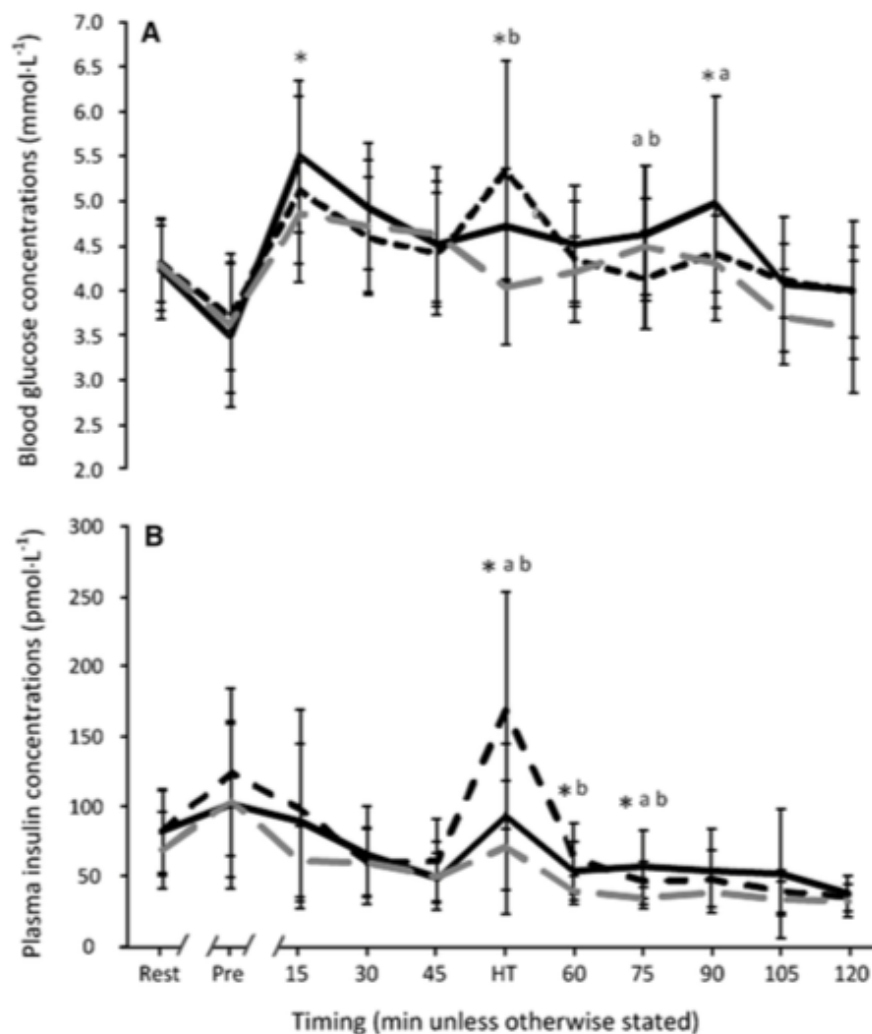


Figure 20 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulinémiques (B), tiré d'Emma J. Stevenson et al, 2017 (42).

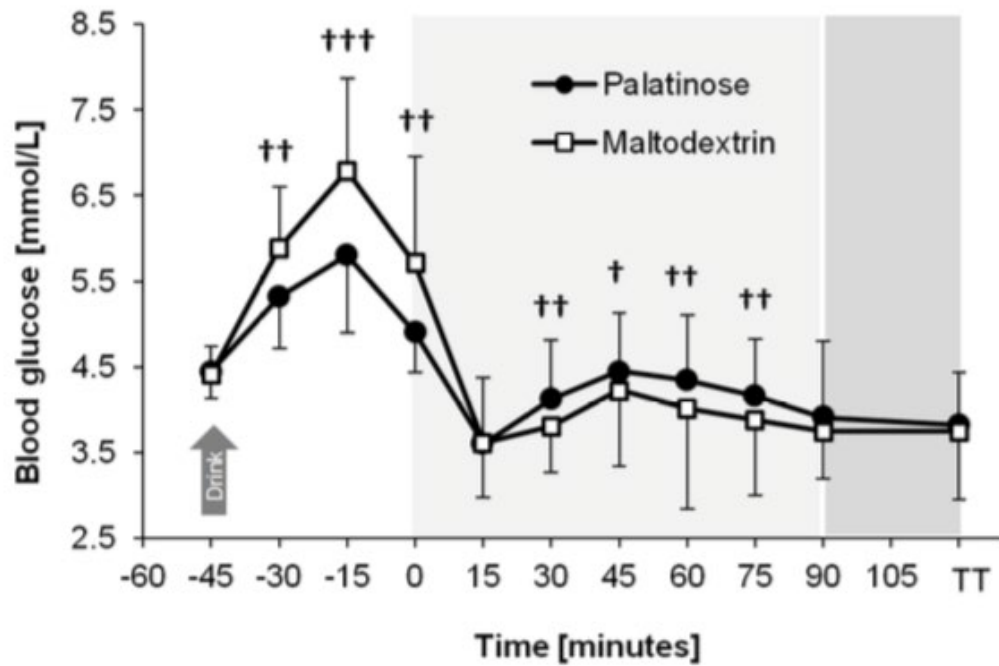


Figure 3. Plasma glucose profiles during the PSE and MDX trials, presented as mean \pm SD ($N = 20$). The symbols $+$, $++$, and $+++$ denote a possible, likely, and very likely difference between the PSE and MDX trials at the corresponding time point, respectively. From 0 min to 90 min: endurance exercise. TT = blood sample drawn upon completion of the time trial.

Figure 21 : Schéma des courbes glycémiques, tiré de D. König et al., 2016 (43)

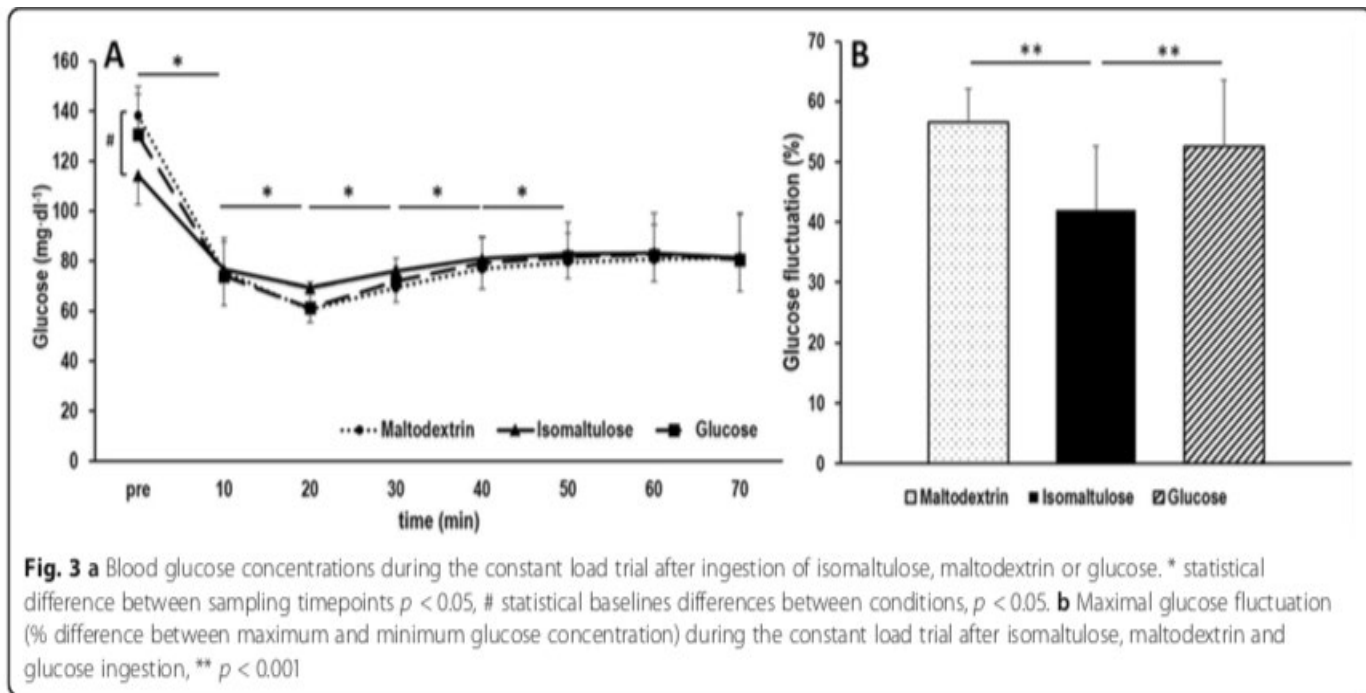


Figure 22 : Schéma des courbes glycémiques (A), et de la fluctuation de la glycémie (B), tiré de HL. Notbohm et al., 2021 (44)

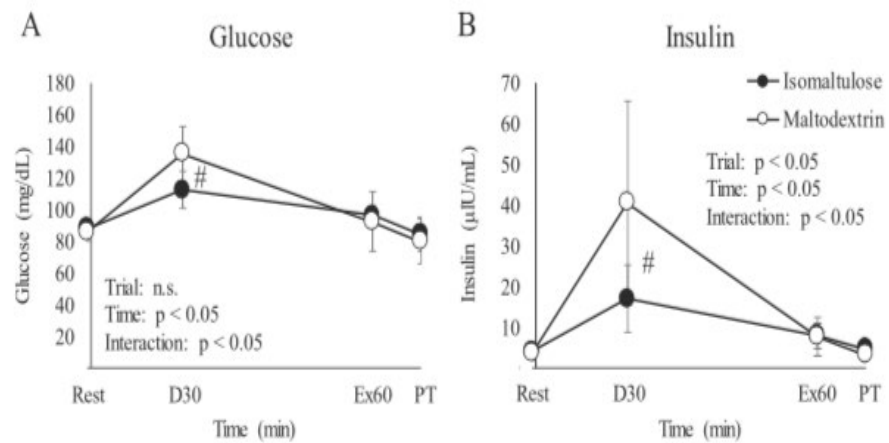


Fig. 2. Plasma glucose (A) and insulin (B) concentrations in the isomaltulose and maltodextrin trials. Filled and open circles denote data for the isomaltulose and maltodextrin trials, respectively. # $P < 0.05$, difference between trials.

Figure 23 : Schéma des courbes glycémiques (A) et insulínémiques (B), tiré de M. Miyashita et al., 2019 (46).

11.7 Annexe 7 : Protocole de Travail de Bachelor

Protocole de Travail de Bachelor

[Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ?]

Michaël, MARQUIS
Juliana, MOLL

Sous la direction de : Jocelyne, Depeyre et Rosset, Robin

Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ?

22.12.21

Table des matières

Table des matières	89
1. Résumé	90
2. Introduction	91
2.1. Justification	92
3. Question de recherche	93
3.1. PICO	93
4. Méthodes	93
4.1. But	93
4.2. Bases de données	93
4.3. Mots clés	94
5. Critères d'inclusion et d'exclusion	95
5.1. Critères d'inclusion	95
5.2. Critères d'exclusion	95
6. Analyse de la qualité	96
6.1. Extraction des données	96
6.2. Calendrier	96
7. Considérations éthiques	96
8. Budget et ressources	96
9. Bibliographie	97
10. Annexes	98
10.1. Annexe 1 : Grille d'analyse de la qualité	98
10.2. Annexe 2 : Calendrier	100

1. Résumé

Depuis plusieurs années, les recommandations nutritionnelles au niveau glucidique et en termes de maximisation des performances sportives prônent une consommation de glucose-fructose (GLUFRU). En effet, cette addition de deux différents glucides permet une meilleure oxydation des glucides exogènes par le corps. Cette oxydation a pour but de diminuer la dégradation des glucides endogènes et augmenter les performances sportives professionnelles ou amatrices grâce à une disponibilité glucidique prolongée. La plupart du temps, les glucides sont ingérés sous forme de sucrose, glucose libre ou encore de fructose libre. Néanmoins cette consommation habituelle a des contraintes. Pour optimiser les performances sportives, il est nécessaire de consommer un certain nombre de grammes de glucose-fructose par heure de sport. Sans apport régulier, les performances seront diminuées après un certain temps. En effet, cette combinaison est rapidement absorbée par le corps. Dès lors, il est possible que dans certains sports durant lesquels des prises régulières ne sont pas possibles, la combinaison de glucose-fructose sous forme de digestion rapide ne soit pas idéale pour la performance.

De nouvelles propositions de produits glucidiques sont arrivées sur le marché des compléments alimentaires pour sportifs depuis peu. L'isomaltulose est une des nouveautés du marché. Ce disaccharide également nommé Palatinose™ pourrait remplacer la combinaison GLUFRU et ces différentes lacunes. Avec une composition faite de glucose et de fructose, ce disaccharide est moins vite digéré par le corps et il permet donc un apport en glucose exogène sur une plus longue durée par rapport à la combinaison GLUFRU avec une même intensité. Néanmoins, l'isomaltulose n'est pas encore très bien connu ni étudié. Par ailleurs, les éventuels bénéfices cités ci-dessus ne sont pas applicable dans tous les sports ou dans toutes les situations. C'est pourquoi, avec ce travail, nous souhaitons répondre à la question suivante : « **Dans quelle(s) condition(s) la consommation d'isomaltulose peut-elle avoir un effet bénéfique sur les performances sportives ?** ».

Notre question de recherche est basée sur trois concepts pour lesquels des mots-clés et Mesh terms ont été définis. La population sera composée de tous sportifs âgés de 13 à 44 ans sans problème de santé métabolique. De plus, cette population ne doit pas avoir de médicaments pouvant modifier le métabolisme. Le deuxième concept comprend l'isomaltulose et l'ensemble de ces synonymes. Étant donné qu'il existe, à ce jour, qu'un nombre restreint d'études sur l'isomaltulose en lien avec la performance sportive, nous avons déterminé le troisième concept sur les outcomes de ce travail qui seront les glycémies, l'oxydation des substrats, la tolérance digestive et les performances sportives. En effet, nous avons fait le choix de rester large sur les outcomes afin de pouvoir comparer aux mieux les différentes études réalisées jusqu'à ce jour.

Nous réaliserons une revue quasi-systématique regroupant les articles sélectionnés selon nos critères d'inclusion et d'exclusion. La revue quasi-systématique permet de déterminer l'état actuel des connaissances sur un sujet. Elle semble donc adaptée à notre objectif. Nos recherches s'effectueront sur les bases de données Pubmed et Embase. Les données seront recueillies selon des variables définies à l'avance correspondant aux trois concepts décrits précédemment. Deux grilles de lecture seront utilisées, l'une pour l'analyse descriptive et l'autre pour l'analyse de la qualité. Pour terminer, un fichier Excel sera créé afin de pouvoir analyser les données préalablement collectées. Un tableau Gantt a été réalisé afin de planifier au mieux les différentes tâches de ce travail.

2. Introduction

Pour atteindre la performance sportive optimale, une multitude d'éléments doivent être pris en compte. La nutrition et notamment l'optimisation de cette dernière fait partie intégrante de la performance sportive. Il est véritablement complexe de trouver un équilibre entre performance et contraintes nutritionnelles dans le domaine sportif. En effet, la fatigue, musculaire ou générale, tout comme les problèmes gastro-intestinaux comme les maux de ventre, la sensation de lourdeur, les reflux ou encore un transit dérégulé peut entraîner une baisse de la performance. Une nutrition mal adaptée chez le sportif peut également entraîner une mauvaise récupération et diminuer ainsi la performance, et possiblement augmenter le risque de blessure. L'enjeu de la nutrition du sport est alors conséquent.

Depuis de nombreuses années, les scientifiques tentent d'optimiser la performance avec différents protocoles. Un des éléments principaux qui a été largement reconnu est qu'un faible taux de glycogène peut diminuer les performances sportives et notamment les performances d'endurance. Dès lors, l'optimisation de l'apport glucidique est devenue indispensable. De nombreuses recommandations ont été recensées et notamment celle de l'apport de glucose ou les polymères à base de glucose sont apparus comme les glucides idéaux pour améliorer les performances. En effet, le glucide exogène peut être oxydé jusqu'à environ 1g par minute soit 60g par heure (1). Nous parlons ici de glucides exogènes car nous souhaitons distinguer le glucose provenant de la nutrition du glycogène de l'organisme. Les oxydations glucidiques totales peuvent aller jusqu'à 3-4 g/min de glycogène (musculaire et hépatique). Un exercice maximal peut alors afficher une dépense énergétique de 15-20 kcal/min. L'objectif de la nutrition du sport est donc de permettre à l'organisme d'économiser son glycogène (2).

Par la suite d'autres propositions de combinaisons de glucides ont été testé et notamment l'association entre glucose et fructose. En cas d'ingestion de glucose-fructose (GLUFRU), l'oxydation maximale des glucides ingérés pourrait atteindre un maximum de 1,7 g par minute (3). Cette augmentation est le résultat de deux différentes oxydations. En effet, le glucose est métabolisé par différentes enzymes et est directement envoyé à la veine porte puis environ 20% de ce dernier au foie et environ 80% dans la circulation systémique. Alors que le fructose est tout d'abord envoyé à la veine porte puis envoyé vers le foie qui métabolise ce dernier à environ 90%. Cette métabolisation diffère selon les besoins et le fructose est soit oxydé, soit stocké en glycogène musculaire soit converti en glucose et en lactate qui sera envoyé dans la circulation systémique. L'association GLUFRU permet alors d'augmenter les taux d'oxydation des glucides exogènes entre 20 et 50% (4). De plus, la co-ingestion de fructose a un avantage sur la récupération. En effet, il a été démontré qu'elle permet d'augmenter les taux de réplétion de glycogène après l'exercice par le foie (5) et d'augmenter la disponibilité de liquide dans l'organisme (6).

Pour synthétiser, la consommation du substrat glucose-fructose par rapport à celle du substrat du glucose, en prenant en considération la quantité de fructose ainsi que le ration glucose : fructose, engendre notamment une augmentation de l'oxydation glucidique exogène, une diminution des troubles gastro-intestinaux et une diminution de la production de glucides hépatiques. Ces distinctions ont pour effet d'augmenter le temps de disponibilité des glucides circulants (7). L'amélioration des capacités d'endurance et des performances lors de la consommation de l'association de glucides (GLUFRU) a été démontrée par différents travaux (8). Un impact bénéfique sur la fatigue et la performance dans le contexte des sportifs d'équipe ont également été prouvés (9).

Il existe encore de nombreux articles qui démontrent des effets similaires grâce à la prise de glucides et notamment de glucose-fructose (GLUFRU) durant l'activité physique. Néanmoins, il est nécessaire de mentionner les dernières recommandations en nutrition sportive pour la performance. Avant de mentionner ces recommandations, il est primordial de relever l'intérêt de la personnalisation de la nutrition sportive. En effet, il est important de tenir compte de la durée, de l'intensité mais également du type de glucides et pas uniquement des grammes par kilogrammes et par heure. C'est donc pour cette raison qu'il est important de personnaliser l'alimentation et les conseils donnés aux sportifs/ves (10). La synthèse des recommandations glucidiques pour le sportif en entraînement ou compétition (avant/avant/après l'effort) se trouve dans l'article de Louise M. Burke (11).

Comme évoqué précédemment, le sportif peut rencontrer certaines contraintes lors de l'exercice physique en lien avec la nutrition. En effet, si celui manque de glucides, il peut ressentir une sensation de faiblesse. Les raisons qui pourraient forcer le sportif à réduire l'allure serait que la synthèse d'ATP, au niveau du muscle actif, ne serait plus assez suffisante, ou que le sujet manque de glycogène musculaire, ou encore que son organisme serait en incapacité à capter le glucose circulant ou le lactate. Alors, contrairement aux sports d'endurance où il est assez facile de planifier sa nutrition grâce notamment à des stands de ravitaillement, de nombreux sports d'équipe posent des contraintes temporelles additionnelles, comme un match sans arrêt de jeu. Pour lutter contre ces difficultés et tenter malgré tout de lisser l'absorption de glucides, plusieurs approches sont possibles, dont l'isomaltulose.

L'isomaltulose, un disaccharide appelé aussi Palatinose™, semble répondre à un nombre conséquent de contraintes nutritionnelles dans le sport évoquées dans ce travail. Il se trouve naturellement dans le miel et dans la canne à sucre. Ce composé contient du glucose ainsi que du fructose et est conjoint via une liaison α -(1→6). Pour rappel, le saccharose a une liaison α -(1→2). La forme chimique de l'isomaltulose est alors la suivante : (6-O- α -D-glucopyranosyl-D-fructofuranose). Il semble, comme dit précédemment, être utile et intéressant dans la thématique de ce travail car il répond positivement à plusieurs problématiques. En effet, il possède une digestibilité augmentée, car lente. Le taux moyen de digestibilité du Palatinose™ se situe entre 95 et 98.8% au repos, chez le sujet sain (12). De plus, isomaltulose a un faible index glycémique (13).

Nous pouvons donc conclure que l'isomaltulose a une charge insulinémique diminuée en comparaison avec la consommation de saccharose. Aussi, il possède la capacité à délivrer du glucose dans le sang de manière prolongée. De plus, l'isomaltulose n'engendre aucun effet néfaste sur la santé humaine, y compris sur la santé dentaire. Cependant, il manque à ce jour des études qui évaluent la sécurité d'incorporation de l'isomaltulose ainsi que sur certains effets physiologiques.

A ce stade du travail, nous pouvons relever qu'il semblerait que l'utilisation de l'isomaltulose en comparaison à celle du saccharose diminue les contraintes de troubles de la digestion et renforce les bénéfices liés à la consommation d'aliments à la digestion plus lente de l'isomaltulose (13). Cependant, il est nécessaire pour nous de nuancer cette synthèse. En effet, les chiffres annoncés ici concernent la digestibilité au repos. Or, nous souhaitons à travers cette revue comprendre les bénéfices de l'isomaltulose dans le cadre de l'exercice physique. Aussi, les doses utilisées dans les études citées ne sont pas indiquées. Le taux de digestibilité de l'isomaltulose varie-t-il à l'effort ? Quelles doses sont optimales pour le sportif ?

2.1. Justification

Tout l'intérêt de notre travail réside donc sur la diminution des contraintes nutritionnelles du sportif, en contribuant à leur compréhension, et de ce fait, à l'amélioration de la

performance. Cependant, étant donné que l'isomaltulose est une découverte relativement récente, peu d'études sont réalisées à son sujet. Aussi, comme il est utilisé majoritairement dans les compléments alimentaires du sportif et dans les boissons du sport, un enjeu marketing est soulevé. Nous souhaitons donc réaliser une synthèse des études réalisées jusqu'à présent et déterminer les limites et les biais, ainsi que d'apporter un avis de professionnels de la santé. Nous prendrons alors en compte les différentes considérations éthiques afin de poser un regard uniquement scientifique sur cette molécule émergente. Pour synthétiser, nous souhaitons apporter une revue scientifique qui puisse être utile à la pratique des diététiciens et répondre aux éventuelles questions ou à la curiosité de nos futurs confrères.

3. Question de recherche

En lien avec le but de notre travail, nous avons formulé la question de recherche suivante :

“Dans quelles conditions l'isomaltulose pourrait-il présenter un intérêt particulier en nutrition du sport ?”

3.1. PICO

Nous explicitons les composantes de la question de recherche sous format PICO.

P : Adultes sportifs/ves en bonne santé (afin de supprimer les recherches en lien avec le diabète et autres maladies)

I : Consommation d'isomaltulose avant, pendant et après l'exercice sportif

C : Comparé aux solutions glucoses ou solutions glucose-fructoses

O : Impact sur les glycémies, l'oxydation des substrats, la tolérance digestive et la performance

4. Méthodes

Le design de notre étude sera celle d'une revue quasi-systématique. C'est-à-dire qu'elle aura pour but d'analyser la littérature scientifique afin de répondre à une question de recherche. Nous avons également pour objectifs d'apporter un point de vue critique en délimitant les biais et les limites des études analysées (14).

4.1. But

Nous avons choisi de réaliser une revue quasi-systématique car notre étude répond à une question de recherche avec une population bien définie, sur une problématique de santé. Nous avons pour objectif d'apporter un point de vue critique en délimitant les biais et les limites des études analysées. Nous souhaitons donc apporter une conclusion éclairée sur la thématique délimitée (15).

4.2. Bases de données

La base de données utilisée principalement est Pubmed. Nous avons cependant pour projet aussi d'effectuer des recherches sur Embase. Nous avons choisi ces deux bases de données car elles correspondent au domaine de notre revue. Cependant, si par la suite nous nécessitons de poursuivre les recherches, nous avons envisagé d'utiliser Cinhal. Aussi, nous

avons pu trouver les articles nécessaires au sein des bases de données citées, et nous avons connaissance que Cinhal est une base de données dédiée principalement aux soins infirmiers.

4.3. Mots clés

Nous avons défini plusieurs thèmes à traiter, comme expliqué précédemment. Nous avons donc relevé les mots concordants aux concepts. Ensuite, nous les avons traduits en MeshTerms grâce au site internet HeTop. La recherche de MeshTerms permet de les introduire dans la base de données Pubmed, que nous avons principalement utilisé. Nous avons également souhaiter poursuivre nos recherches sur la base de données Embase. Nous y avons donc traduit les mots-clés afin qu'ils correspondent à la recherche. Certains termes intégrés, qui ne répondaient pas à un MeshTerm, ont été placés comme autres mots clés. Les autres mots clés sont intégrés à l'équation tel quel.

La construction des tableaux s'est réalisée en trois parties, car elles correspondent à trois concepts distincts. Il était plus clair pour nous de les scinder en parties, dans le but de réaliser une équation par concept, puis de les rassembler afin d'obtenir une équation finale.

Mots clés	Pubmed Mesh Terms	Embase (à compléter lors de l'obtention des accès)	Autres mots-clés libres
Isomaltulose	isomaltulose	palatinose	6-O-alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose palatinose

Équation Pubmed correspond au concept de l'isomaltulose :

((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (isomaltulose)) OR (palatinose)

Nombre d'articles disponibles : 359

Mots-clés	Pubmed Mesh terms	Embase (à compléter lors de l'obtention des accès)	Autres mots-clés libres
Sportif, athlètes	athlete	athlete	-
Sport	sport	sport	exercise
Entraînement	training	training	-
Performance sportive	athletic performance	athletic performance	exercise performance physical functional performance

Équation Pubmed correspondant au concept du sport/sportif :

(((((sport) OR (athlete)) OR (training)) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise))

Nombre d'articles disponibles : 2'712'792

Mots-clés	Pubmed Mesh terms	Embase (à compléter lors de l'obtention des accès)	Autres mots-clés libres
Glycémie	blood glucose	-	-
Glucose	glucose	-	-
Glucose-fructose	-	-	glucose-fructose
Oxydation des substrats	-	-	substrate oxidation
Tolérance digestive	-	-	digestive tolérance

Équation Pubmed correspondant au concept des Outcomes :

(((((blood glucose) OR (glucose)) OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolérance))

Nombre d'articles disponibles : 718'730

Nous avons ensuite construit sur la base de données Pubmed l'équation finale reprenant les concepts nécessaires à la construction de notre travail et notamment à la recherche de littérature scientifique :

((((((sport) OR (athlete)) OR (training)) OR (athletic performance)) OR (exercise performance) OR (physical functional performance)) OR (exercise)) AND ((((((blood glucose) OR (glucose)) OR (glucose-fructose)) OR (substrate oxidation)) OR (digestive tolerance)))) AND (((6-O alpha-D-glucopyranosyl-D-fructose) OR (isomaltulose)) OR (palatinose))

Nombre d'articles disponibles : 27

5. Critères d'inclusion et d'exclusion

5.1. Critères d'inclusion

- Personne pratiquant du sport
- Personne adulte (entre 13 et 44 ans)
- Étude réalisée avec des êtres humains

5.2. Critères d'exclusion

- Personne sous médication affectant le métabolisme
- Personne souffrant de pathologie affectant le métabolisme (par exemple : obésité, diabète)

- Références scientifiques utilisant le GLUFRU a un ratio allant au-delà de la marge de 20% par rapport à un ratio GLU : FRU à 50/50.

6. Analyse de la qualité

Les grilles utilisées sont en Annexe 1.

6.1. Extraction des données

Nous allons réaliser l'extraction des données par la suite de notre travail. Nous allons le construire à l'aide d'un tableau Excel.

6.2. Calendrier

Le calendrier se trouve en Annexe 2. Afin que celui-ci soit correctement lisible, il sera également joint en pièce-jointe.

7. Considérations éthiques

Étant donné que notre intervention est basée sur des compléments alimentaires, nous devons être attentifs aux financements des études sélectionnées et noter les conflits d'intérêt. Les éventuels conflits d'intérêt, notamment concernant le financement des articles seront par la suite conversés dans la discussion de notre travail. Toutefois, nous avons été attentifs aux principes éthiques comme la bienfaisance, l'équité, la justice, etc. lors de la sélection des articles (16).

8. Budget et ressources

A ce stade, il est impossible de calculer précisément les coûts de ce travail. Nous pouvons, néanmoins, estimer notre budget qui sera composé des frais liés à l'acquisition des différents articles et de leur impression. Nous avons droit à l'achat d'environ vingt articles par le biais de l'école. Le budget englobera également toutes les dépenses des impressions provisoires et finales du travail, y compris le poster, pour les relectures et le rendu. Nous estimons donc que ces différents éléments vont nous coûter entre Fr. 100,00 et Fr. 200,00.

De plus, nous allons tester différents compléments alimentaires pour sportifs contenant de l'isomaltulose ainsi que des produits plus traditionnels afin de comparer différents aspects comme la texture, le goût, etc. Nous estimons que les tests des produits vont nous coûter entre Fr. 50,00 et Fr. 100,00.

Nous estimons donc que les coûts de ce travail arriveront à un montant entre Fr. 150,00 et Fr. 300,00.

9. Bibliographie

- (1) Jeukendrup AE, Jentjens R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med.* juin 2000;29(6):407-24.
- (2) Jeukendrup AE, Raben A, Gijsen A, Stegen JHCH, Brouns F, Saris WHM, et al. Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *The Journal of Physiology.* 1999;515(2):579-89.
- (3) Jeukendrup A. A Step Towards Personalized Sports Nutrition: Carbohydrate Intake During Exercise. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):25-33.
- (4) Jeukendrup AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition.* 1 juill 2004;20(7):669-77.
- (5) Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes - Fuchs - 2019 - The Journal of Physiology - Wiley Online Library [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1113/JP277116?_cf_chl_jschl_tk_=IY58AeD BEQM_DfS3c6uWX76zLDFUwjleJJgDCBUv7OY-1639471155-0-gaNycGzNC6U
- (6) Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat | *Journal of Applied Physiology* [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00322.2005>
- (7) Rosset R, Egli L, Lecoultre V. Glucose-fructose ingestion and exercise performance: The gastrointestinal tract and beyond. *Eur J Sport Sci.* août 2017;17(7):874-84.
- (8) Coyle EF. Carbohydrate feeding during exercise. *Int J Sports Med.* oct 1992;13 Suppl 1:S126-128.
- (9) Baker LB, Rollo I, Stein KW, Jeukendrup AE. Acute Effects of Carbohydrate Supplementation on Intermittent Sports Performance. *Nutrients.* 14 juill 2015;7(7):5733-63.
- (10) Jeukendrup A. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Med.* mai 2014;44 Suppl 1:S25-33.
- (11) Burke LM, Hawley JA, Wong SHS, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci.* 2011;29 Suppl 1:S17-27.
- (12) Holub I, Gostner A, Theis S, Nosek L, Kudlich T, Melcher R, et al. Novel findings on the metabolic effects of the low glycaemic carbohydrate isomaltulose (Palatinose). *Br J Nutr.* juin 2010;103(12):1730-7.
- (13) Isomaltulose (Palatinose) – An emerging carbohydrate - ScienceDirect [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429216301808>

- (14) Saracci C., Mahamat M., Jacquérior F. Comment rédiger un article scientifique de type revue narrative de la littérature ? [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/mia/documents/RMS_revue_narrative.pdf
- (15) Revues systématiques [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://swiss.cochrane.org/fr/ressources/revues-systematiques>.
- (16) Gesundheit S/ B für. spectra 96 - Santé publique et éthique [Internet]. Spectra – Gesundheitsförderung und Prävention. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.spectra-online.ch/fr/spectra/editions-imprimees/sante-publique-et-ethique-106.html>

10. Annexes

10.1. Annexe 1 : Grille d'analyse de la qualité

Résumé descriptif

Référence	
Devis d'étude	
Niveau de qualité	<input type="checkbox"/> + (Positif) <input type="checkbox"/> – (Négatif) <input type="checkbox"/> ⊖ (Neutre)
But de la recherche	
Critères d'inclusion	
Critères d'exclusion	
Description du protocole de l'étude	Recrutement : Design : Aveuglement (si applicable) : Intervention (si applicable) : Analyses statistiques :
Recueil de données	Moments de mesure : Variables dépendantes : Variables indépendantes : Autres variables en lien :
Description de l'échantillon étudié	N initial sujets: (..... Hommes ; Femmes) N final analysé : (Taux de retrait :) Age (moyenne ; groupes ; etc.): Origine : Autres caractéristiques démographiques : Données anthropométriques : Lieu de recrutement :
Résumé des résultats	Constatations principales : Constatations secondaires :
Conclusion des auteurs	

Commentaires

Source de financement

Check-list

Questions de pertinence	
1. En cas de résultat positif de l'intervention étudiée, est-ce que sa mise en application résulterait en une amélioration pour le groupe cible ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O – N - PP - NA
2. Est-ce que l'outcome ou le thème étudié (variable dépendante) est important du point de vue du groupe cible ?	O – N - PP - NA
3. Est-ce que l'intervention ou la procédure (variable indépendante) ou le thème de l'étude est une préoccupation fréquente en pratique diététique ?	O – N - PP - NA
4. Est-ce que l'intervention ou la procédure est réalisable/faisable ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O – N - PP - NA
Questions de validité	
1. Est-ce que la <u>question de recherche</u> a été clairement posée ?	O-N-PP-NA
2. Est-ce que la <u>sélection</u> des sujets de l'étude était exempte de biais ?	O-N-PP-NA
3. Est-ce que les groupes étudiés étaient <u>comparables</u> ?	O-N-PP-NA
4. Est-ce que la gestion des <u>retraits</u> (sujets ayant arrêté l'étude volontairement ou non) a été décrite ?	O-N-PP-NA
5. Est-ce que des <u>méthodes en aveugle</u> ont-été utilisées pour empêcher les biais ?	O-N-PP-NA
6. Est-ce que l' <u>intervention</u> , les plans de traitement, les facteurs d'exposition ou la procédure, ainsi que les comparaisons ont été décrites en détail?	O-N-PP-NA
7. Est-ce que les <u>variables de résultat</u> étaient clairement définies et les <u>mesures valides et fiables</u> ?	O-N-PP-NA
8. Est-ce que <u>les analyses statistiques</u> étaient appropriées pour le design d'étude et pour le type de variables de résultats?	O-N-PP-NA
9. Est-ce que <u>les conclusions</u> étaient étayées par les résultats et tenaient compte des biais et des limites ?	O-N-PP-NA
10. Est-ce qu'un biais dû au <u>financement</u> ou au <u>sponsoring</u> de l'étude est peu probable ?	O-N-PP-NA

Cotation

POSITIF (+)

Si la majorité des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Oui », y compris les critères 2, 3, 6 et 7 ainsi qu'au moins une réponse « Oui » à une autre question, l'article devrait être désigné par le symbole plus (+).

NEGATIF (-)

Si la plupart ($\geq 6/10$) des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Non », l'article devrait être désigné par le symbole moins (-).

NEUTRE (⊖)

Si les réponses aux questions de validité 2, 3, 6 et 7 n'indiquent pas que l'étude est particulièrement robuste, l'article devrait être désigné par le symbole neutre (⊖).

Symboles	Légende
+	Positif : Indique que l'article a abordé clairement les critères d'inclusion et d'exclusion, les biais, la généralisabilité, le recueil et l'analyse des données.
-	Négatif : Indique que les éléments ci-dessus n'ont pas été abordés de manière suffisante.
⊖	Neutre : Indique que l'article n'est ni particulièrement robuste ni particulièrement faible.

Oui=O ; Non=N ; Peu de précisions=PP ; Ne s'applique pas=NA

Traduction libre de Worksheet template and Quality criteria checklist : Primary Research.
Academy of Nutrition and Dietetics, Evidence Analysis Library®.
<http://www.andeanal.org/evidence-analysis-manual> (accédé le 18 janvier 2017)

10.2. Annexe 2 : Calendrier

	octobre 2021 jusqu'au 22 décembre 2021	22.12.21 - 09.01.22	10.01-14.01	15.01-20.02	21.02 - 28.02	01.03-01.05	02.05 - 30.06	01.07 - 15.07	16.07 - 25.07	26.07 - 27.07	sept.22
Thème 1 : Élaboration du protocole											
Thème 2 : Préparation présentation protocole											
Thème 3 : Semaine séminaire protocole											
Thème 4 : Adaptation TBs selon remarques, recherches d'autres articles & lectures des articles											
Thème 5 : Sélection des articles											
Thème 6 : Analyse des articles sélectionnés avec les grilles de lectures et résumé des articles											
Thème 7 : Rédaction du TBs et création du poster											
Thème 8 : Rendu provisoire et relecture											
Thème 9 : Corrections et relecture											
Thème 10 : Impression et rendu final											
Thème 11 : Soutenance orale du TBs											

