

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département de Biologie



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en Biochimie  
Domaine : sciences de la nature et de la vie  
Filière : Biologie  
Spécialité : Biochimie

Thème

**Alternatives naturelles au sucre blanc à partir des céréales  
(procédés d'extraction et évaluation nutritionnelle)**

**Présenté Par :**

- 1) Melle Amer Berrahou Feriel
- 2) Melle Bachir Bendaoud Rayhane
- 3) Melle Mohammed Belhadj Zineb

**Devant le jury composé de :**

Dr Brixi Gormat Benmansour Nassima	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr Bekkal Briksi Benhabib Ouassila	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr Yazit Sidi Mohammed	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

*Année Universitaire 2023/2024*

## *Dédicace*

Et leur dernière prière est que louange à Allah, Seigneur de l'univers.

Remerciez Dieu au début et à la fin, donc ce que le chemin s'est terminé et le sceau était un effort et n'a pas été recherché uniquement grâce à lui.

Dédier et avec tout l'amour mes recherche de fin d'études:

À mon moi fort, qui a enduré tous les faux pas.

À qui sa prière était le secret de mon succès, à qui j'avais une lumière dans mes ténèbres, "maman Fatiha". À toi, maman, tout l'amour et la gratitude pour chaque moment passé dans mes encouragements et mon soutien.

À mon père Idriss, qui a toujours été une source de soutien et d'inspiration dans ma vie. Il était la pierre angulaire de la force et des conseils sur lesquels mes ambitions et mes rêves ont été construits. Grâce à lui et grâce à Dieu, j'ai pu réaliser ce succès, dont je suis fier.

À ceux à qui on a dit: "on va te mordre avec ton frère."

À ma sœur Roqiya et son mari Khalil et mon frère Noureddine et sa femme Wahiba, mon lien dans la vie Dieu te soutiendra pour moi.

À toute ma famille et mes amis, merci pour tout le soutien et les encouragements que vous m'avez apportés tout au long de mon parcours d'étude.

*Feriel*

## *Dédicaces*

Louange à Dieu, Seigneur des mondes, pour chaque bénédiction et chaque succès. Sans sa grâce, rien de tout cela n'aurait été possible.

Je dédie ce dernier message avec amour et gratitude :

À mon moi intérieur, qui a fait preuve d'une force incroyable face à tous les défis et qui a surmonté les obstacles avec courage et détermination.

À ma mère, pour son soutien indéfectible, dont les prières et l'amour inconditionnel ont été les piliers de ma réussite. Sans ses sacrifices et ses encouragements constants, ce chemin aurait été bien plus difficile.

À mon père, mon modèle et source de sagesse. Vos conseils et votre soutien indéfectible m'ont guidé à chaque étape. Votre présence rassurante m'a donné le courage de persévérer.

À mes frères et sœurs, toujours mes alliés. Votre soutien, vos encouragements et votre confiance en moi m'ont donné la force de continuer même dans les moments les plus difficiles. Que Dieu vous bénisse et vous garde à mes côtés.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé à chaque étape, je vous dédie cette réalisation.

**Zineb**

## *Dédicace*

À mon moi fort, qui a enduré tous les faux pas.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre , À cet source de tendresse, de patience et de générosité, A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman Fatna que j'adore.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père Safi.

À mon frère mon bras droit Mohamed, il est présent dans tous mes moments par son soutien moral et son belles surprises sucrées.

À mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse à vous ma deuxième lumière après mes parents à vous ma soeur Nabila et à son mari Toufik merci à pour leur soutien et leur affection. À leurs enfants, Mohamed Amine et jenane, dont la joie de vivre m'a toujours apporté du réconfort.

Je dédie ce travail Mes oncles et mes tentes, À ma chère grand-mère que je l'aime beaucoup, dont la sagesse et les prières m'ont toujours guidée.

À ma tante chérie, Abdellaoui Amaria, et à sa famille, pour leur amour et leur soutien inébranlables.

Et à tous mes proches de la famille BACHIR BEN DAOUD et RACHEDI tout à son nom et sans.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études, mes aimables amis, collègues d'étude à tous les étudiants de la promotion 2019/2024 et Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce mémoire soit possible, je vous dis merci.

*Rayhane*

## *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Dieu Le Tout-Puissant de nous avoir donné courage, santé, souffle et patience pour accomplir ce travail.

Merci beaucoup, surtout à nos chers parents pour leur amour, leur aide, leur soutien et leurs encouragements. Que Dieu les garde en bonne santé.

Nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères remerciements au Dr Yazit Mohammed pour avoir accepté de nous encadrer et pour sa bienveillance de diriger ce travail, pour ses notes et ses conseils fructueux, et surtout sa patience, sa disponibilité constante tout au long de nos travaux et ses compétences.

Je remercie tous ceux qui ont contribué à revoir et évaluer ce travail, en particulier Mme Brixî Gormat N et Mme Benhabib O, sans oublier également de remercier qui a goûté et participé à une séance d'analyse sensorielle à partager active. Sans eux, cette étude n'aurait pas été possible.

Nous aimerions adresser nos sincères remerciements à nos amis pour avoir été à nos côtés à chaque étape de ce voyage et pour leur grand soutien envers nous.

En signe de gratitude, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réussite de notre projet de fin d'études et au développement de cette humble entreprise.

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

1. Introduction.....	1
2. Synthèse bibliographique.....	2
3. Matériel et méthodes .....	8
3.1 Sélection et origine des échantillons .....	8
3.2 Préparation du sirop de chaque céréale .....	8
3.3 Calcul de rendement .....	11
3.4 Les tests sensoriels .....	11
3.4.1 Test hédonique .....	12
3.4.2 Test descriptif.....	12
3.4.3 Test comparaison .....	12
3.5 Les tests statistiques .....	13
3.6 Détermination de l'index glycémique .....	13
3.6.1 Mode opératoire .....	14
3.6.1.1 Effectuer un test glycémique.....	14
3.6.1.2 Le calcul de la charge glycémique.....	15
3.7 Analyse physicochimique .....	16
3.7.1 Méthode de dosage colorimétrique du sucre total.....	16
3.7.1.1 Principe .....	16
3.7.1.2 Mode opératoire.....	16
3.7.1.2.1 Pour le glucose .....	16

3.7.1.2.2	Pour les sirops des céréales.....	17
3.7.2	Mise en évidence des sucres réducteurs par la liqueur de Fehling .....	19
3.7.2.1	Principe .....	19
3.7.2.2	Mode opératoire.....	19
4.	Résultats et interprétations.....	20
4.1	Les sirops des céréales.....	20
4.2	Le rendement.....	20
4.3	Les tests sensoriels .....	20
4.3.1	Test hédonique .....	21
4.3.2	Test descriptif.....	22
4.3.2.1	Odeur.....	22
4.3.2.2	Couleur.....	23
4.3.2.3	Texture .....	24
4.3.2.4	Saveur .....	25
4.3.3	Test comparaison .....	26
4.3.3.1	Entre les sirops A et B .....	26
4.3.3.2	Entre les sirops C et D .....	27
4.4	La glycémie.....	27
4.4.1	L'index glycémique (IG).....	30
4.4.2	La charge glycémique (CG).....	30
4.5	Tests physico-chimiques.....	31
4.5.1	Valeur de sucre total.....	31
4.5.2	Résultat de sucre réducteur.....	32
5.	Discussion.....	33
6.	Conclusion .....	35
7.	Références bibliographiques.....	36
8.	Annexes .....	40

## Liste des tableaux

Tableau I : Le volume et la concentration de solution de glucose dilué. ....	17
Tableau II : Pourcentage de la quantité de sirop après extraction. ....	20
Tableau III : Évaluation sensorielle des sirops de maïs, blé, avoine et riz par un test hédonique. ....	21
Tableau IV : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à l'odeur. .....	22
Tableau V : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la couleur. ....	23
Tableau VI : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la texture .....	24
Tableau VII : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la saveur. ....	25
Tableau VIII : Comparaison sensorielle des sirops de blé (B) et de maïs (A) pour la texture, couleur, saveur et odeur. ....	26
Tableau IX : Comparaison sensorielle des sirops de riz (D) et d'avoine(C) pour la texture, couleur, saveur et odeur. ....	27
Tableau X : Réponses glycémiques. ....	30
Tableau XI : L'index glycémique de l'aliment testé. ....	30
Tableau XII : Calcul de la charge glycémique de l'aliment testé. ....	31
Tableau XIII : Les valeurs de sucre total des sirops de céréales. ....	31



## Listes des figures

Figure 1 : Les types de céréales choisis (a : maïs, b : blé, c : avoine, d : riz) .....	8
Figure 2: Schéma de préparation du sirop des céréales. ....	10
Figure 3 : Les courbes des aliments testés (sirop de glucose et sirop de riz). ....	14
Figure 4 : La mesure de la glycémie à l'aide du glucomètre.....	15
Figure 5 : Schéma général de méthode de dosage colorimétrique du sucre total. ....	18
Figure 6 : Les étapes de la méthode de Fehling. ....	19
Figure 7 : Les sirops de céréales obtenus après l'extraction. ....	20
Figure 8 : Variation de la glycémie après la consommation de sirop de glucose (référence). .	28
Figure 9 : Variation de la glycémie après la consommation de sirop de maïs.....	28
Figure 10 : Variation de la glycémie après la consommation de sirop de blé. ....	28
Figure 11 : Variation de la glycémie après la consommation de sirop d'avoine. ....	29
Figure 12 : Variation de la glycémie après la consommation de sirop de riz. ....	29
Figure 13 : La courbe d'étalonnage linéaire de glucose $A = f(C)$ .....	31
Figure 14 : La précipitation de couleur rouge dans les tubes à essais des échantillons utilisés A et B. (A : glucose ; B : échantillon des sirops des céréales classés de gauche à droite dans l'ordre suivant : sirop de maïs, sirop de blé, sirop d'avoine, sirop de riz).....	32

## Liste des abréviations

**%** : Pourcentage

**°C** : Degré Celsius

**A** : Absorbance

**ADN** : Abréviaton d'acide désoxyribonucléique.

**ASC** : Aire Sous la Courbe

**Avant J.-C.** : avant Jésus-Christ.

**C** : Concentration

**CG** : Charge Glycémique

**CuSO<sub>4</sub>** : sulfate de cuivre

**Et al** : et les autres auteurs

**g** : Grammes

**g/l** : gramme par litre

**gkg-1** : grammes par kilogramme

**GLUT-5** : transporteur de Glucose de Type 5.

**H<sub>2</sub>O** : eau

**IG** : Index Glycémique

**Kcal** : Kilocalorie

**Kg** : kilogramme

**mg/L** : milligramme par Litre

**min** : minutes

**MJ** : mégajoule

**ml** : millilitre

**NaOH** : hydroxyde de sodium

**Nm** : nanomètre

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**USDA**: U.S. Department of Agriculture

**V** : volume

**μL** : microlitre

## Résumé

La consommation excessive de sucre blanc raffiné a augmenté en raison des changements de mode de vie, entraînant des problèmes de santé. Il est donc nécessaire de trouver des alternatives saines au sucre ajouté à partir des céréales (maïs, blé, avoine et riz). L'objectif de notre travail était d'extraire les sirops des céréales et d'effectuer des analyses sensorielles et nutritionnelles, ainsi que de réaliser quelques analyses physicochimiques et de déterminer leurs indices glycémiques.

Un protocole expérimental a été mis en place pour extraire des sirops de maïs, de blé, d'avoine et de riz. Des évaluations sensorielles (hédoniques, descriptives) ont été réalisées. Des analyses physicochimiques des sucres totaux et des sucres réducteurs ont été effectuées et la glycémie a été mesurée.

Les résultats montrent que le sirop d'avoine a le rendement le plus élevé et que le sirop de blé est le plus apprécié par la plupart des consommateurs. Ils sont associés à des arômes de céréales et de farine, le sirop de riz est perçu le moins sucré.

Les tests de la glycémie montrent que la consommation des sirops de blé et de maïs entraîne un pic glycémique, ce qui est confirmé par l'apparition d'un précipité rouge à partir de la méthode de Fehling.

En conclusion, parmi ces sirops, le sirop de maïs est préféré pour sa saveur, tandis que le sirop de blé est préféré pour sa texture, sa couleur, son odeur, et aussi pour l'index glycémique, en faisant la meilleure alternative d'un point de vue nutritionnel et glycémique.

Mots clés :

Sucre blanc, alternatives saines, les sirops des céréales, analyse sensorielle, glycémie.

## **Abstract**

Excessive consumption of refined white sugar has increased due to lifestyle changes, leading to health problems. Therefore, it is necessary to find healthy alternatives sugar from cereals (corn, wheat, oats, and rice). The objective of our work was to extract syrups from cereals and conduct sensory and nutritional analyses, as well as some physicochemical analyses and determine their glycemic index.

An experimental protocol was established to extract syrups from corn, wheat, oats, and rice. Sensory evaluations (hedonic, descriptive) were conducted, physicochemical analyses of total sugars and reducing sugars were performed, and glycemia was measured.

The results show that oat syrup has the highest yield and that wheat syrup is the most appreciated by most consumers. They are associated with cereal and flour aromas, and rice syrup is perceived as the least sweet.

Glycemia tests show that the consumption of wheat and corn syrups leads to a glycemic peak, which is confirmed by the appearance of a red precipitate using Fehling's method.

In conclusion, among these syrups, corn syrup is preferred for its flavor, while wheat syrup is preferred for its texture, color, smell, and also for its glycemic index, making it the best alternative from a nutritional and glycemic point of view.

**Keywords:**

White sugar, healthy alternatives, cereal syrups, sensory analysis, glycemia.

## ملخص

لقد زاد الاستهلاك المفرط السكر الأبيض المكرر بسبب تغيرات نمط الحياة، مما أدى إلى مشاكل صحية. ولذلك لا بد من إيجاد بدائل صحية للسكر المضاف من الحبوب (الذرة، القمح، الشوفان والأرز). كان الهدف من عملنا هو استخلاص الشراب من الحبوب وإجراء التحاليل الحسية والغذائية، وكذلك إجراء بعض التحاليل الفيزيائية والكيميائية وتحديد مؤشرات نسبة السكر في الدم الخاصة بها.

تم إعداد بروتوكول تجريبي لاستخلاص شراب الذرة والقمح والشوفان والأرز. تم إجراء التقييمات الحسية (التلذذية، الوصفية)، وتم إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية للسكريات الكلية والسكريات المختزلة وقياس نسبة السكر في الدم.

أظهرت النتائج أن شراب الشوفان يتمتع بأعلى عائد وأن شراب القمح هو الأكثر تقديراً من قبل معظم المستهلكين. فهو يرتبط برائحة الحبوب والدقيق، ويعتبر شراب الأرز أقل حلاوة.

أظهرت اختبارات السكر في الدم أن استهلاك شراب القمح والذرة يؤدي إلى ارتفاع نسبة السكر في الدم، وهو ما يؤكد ظهور راسب أحمر باستخدام طريقة فهلنج.

في الختام، من بين هذه الأشربة، يفضل شراب الذرة لنكهة، بينما يُفضل شراب القمح لقوامه، لونه، رائحته، وأيضاً لمؤشر نسبة السكر في الدم، مما يجعله البديل الأفضل من الناحية الغذائية ونسبة السكر في الدم.

كلمات مفتاحية:

السكر الأبيض، البدائل الصحية، شراب الحبوب، التحليل الحسي، نسبة السكر في الدم.

# *1. Introduction*

## Introduction

---

L'alimentation exerce une grande influence sur notre état de santé, une alimentation équilibrée doit apporter à notre organisme la totalité des substances nutritives et avec modération (**World Health Organization, 2015**). Ces dernières années, la consommation excessive de sucres simples, tels que le sucre blanc raffiné, a considérablement augmenté. Cette augmentation spectaculaire de la consommation de sucre est le résultat de profonds changements dans nos modes de vie et nos habitudes alimentaires, notamment la consommation d'aliments transformés et de boissons sucrées, cette tendance à la hausse a été associée à divers problèmes de santé, notamment l'obésité, le diabète de type 2, les maladies cardiaques, la carie dentaire et d'autres troubles métaboliques. Face à cette crise de santé publique (**Keller, et al., 2015; Te Morenga, et al., 2013**). L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a publié en 2015 des cibles d'apports en sucre visant à soutenir l'adoption de programmes et politiques publiques en matière de saine alimentation (**World Health Organization, 2015**). Un nombre croissant de gouvernements et d'instances de santé publique à travers le monde élaborent et mettent en place des stratégies ciblant principalement une diminution de la consommation de boissons sucrées. (**Smith, 2021**).

L'objectif principal de notre travail est de contribuer à la diversification des sources de sucre et à la promotion d'une alimentation plus saine en proposant des solutions pouvant être innovantes et durables. Nous avons essayé d'identifier les sirops de quelques variétés des céréales (maïs, blé, avoine, riz) qui offre probablement le meilleur compromis entre qualité nutritionnelle, goût et praticité. Notre travail expérimental s'articule de la façon suivante :

1-Extraction des sirops à partir des céréales proposés.

2-Réalisation des analyses organoleptiques pour évaluer les propriétés sensorielles des sirops obtenu.

3- Effectuer des analyses physicochimiques pour déterminer la composition chimique des sirops.

4-Déterminer l'indice glycémique pour comprendre son impact sur la glycémie, ainsi que de calculer le rendement pour évaluer l'efficacité du processus d'extraction.

Ces étapes permettront de comparer différentes sources de sirop de céréales en termes de qualité, de valeur nutritionnelle et d'applications possibles dans l'alimentation.



## ***2. Synthèse bibliographique***

## Synthèse bibliographique

---

Le sucre est un type de glucide qui se retrouve dans plusieurs aliments, boissons et ingrédients. On le retrouve à l'état naturel principalement dans les fruits et légumes (glucose, fructose, saccharose) et les produits laitiers (lactose). Le sucre est également ajouté aux aliments pour en améliorer le goût, la durée de conservation ou la texture, par exemple sous forme de sucre granulé (saccharose), de miel (glucose et fructose), de sirop d'érable (saccharose, glucose, fructose) et de sirop de maïs à haute teneur en fructose (**Guy-Grand, 2008**).

Les glucides alors sont des macromolécules biologiques ayant plusieurs fonctions différentes. Ils jouent un rôle important en tant que source d'énergie et représentent une forme de stockage d'énergie dans les cellules (**Cano, et al., 2006**). Les glucides, ou saccharides anciennement appelés « hydrates de carbone » sont des polyalcools portant le plus souvent une fonction aldéhyde ou cétone. Les glucides ont une formule chimique brute de type  $(CH_2O)_n$  ou  $C_n(H_2O)_n$  avec  $n \geq 3$ . Ils sont généralement classés en fonction de leur degré de polymérisation, en glucide simple (oses ou monosaccharides) et glucide complexe (osides ou polysaccharides) (**Guy-Grand, 2008**).

Le sucre de table est formé presque exclusivement saccharose cristallisé ce qui lui confère un goût sucré, et qui peut s'hydrolyser selon les conditions en d'autres composés glucidiques aux pouvoirs sucrants inégaux : le glucose et le fructose. D'origine végétale ce métabolite primaire est extrait principalement de la canne à sucre et dans une moindre mesure d'autres plantes comme la betterave sucrière (**Stratulat, 2023**).

Il existe deux types de sucre : le sucre brut, non raffiné, qui, en plus du saccharose, garde également des traces d'autres substances naturelles de la plante d'extraction, et le sucre blanc raffiné, qui ne contient que du saccharose, toutes les autres substances étant éliminées par des procédés chimiques. Étant connus dans la littérature de spécialité sous le terme de saccharose, avec la formule  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , les sucres sont un type de glucides et, comme les autres glucides, ils contiennent des molécules de carbone, d'hydrogène et d'oxygène (**Stratulat, 2023**).

La culture de la canne à sucre a une longue histoire, remontant à environ 8000 avant J.-C. en Nouvelle-Guinée, avant de se propager aux Philippines, en Inde et en Indonésie des millénaires plus tard. Les Indiens ont été les premiers à produire et extraire du sucre vers 400-300 avant J.-C. (**Mohan & Singh, 2020; Flandrin**).

## Synthèse bibliographique

---

En Algérie, la filière sucre est née en 1966 par la production et la transformation de la betterave sucrière, puis par le raffinage de sucre roux d'importation à partir de 1970 (**Benyoucef, 2018**). Au fil du temps, plusieurs problèmes et contraintes techno-économiques sont apparus, ce qui a conduit à la suspension de la production de sucre en 1982 (**Benzohra, 2015**). En 1993, l'État a procédé à une série de réformes économiques, notamment la privatisation des raffineries publiques de sucre et leur mise en service en 2002 (**Benzohra, 2015**). Grâce à l'importation de matières premières, l'Algérie est devenue un pôle régional en matière de raffinage de sucre roux (**Benzohra, 2015**).

Il existe plusieurs types de sucre : le sucre en poudre ou semoule, le sucre glace, le sucre en morceaux Le sucre blanc cristallisé, le sucre candi, la cassonade, le sucre pour confitures, le sucre en cubes, le Sucre liquide ou sirop de sucre (**Arzate, 2005**).

La consommation de glucides simples comme le glucose entraîne une réponse glycémique rapide et élevée, en revanche, les glucides complexes induisent une augmentation plus modérée et progressive de la glycémie en raison des différences dans les taux de digestion et d'absorption (**Davies, et al., 2018**). La glycémie normale chez un individu en bon santé doit être comprise entre 0,70 et 1,0 g/L de ce fait une régulation doit être mise en jeu pour maintenir la stabilité de la glycémie. Le pancréas c'est l'organe qui préoccupe de cette régulation dont il secrète l'insuline qui favorise le transport du glucose vers les tissus périphériques comme les muscles et le tissu adipeux, où il peut être utilisé immédiatement pour l'énergie ou stocké sous forme de glycogène (dans le foie et les muscles) ou de triglycérides (dans les tissus adipeux) (**Dimitriadis, et al., 2021**), et le glucagon qui stimule la glycogénolyse (dégradation du glycogène en glucose) et la gluconéogenèse (synthèse du glucose à partir de précurseurs non glucidiques comme les protéines et les lipides), se produisant principalement dans le foie. Ces processus aident à maintenir une glycémie adéquate pendant le jeûne ou un faible apport énergétique (**Roden & Shulman, 2019**).

L'index glycémique (IG) mesure la capacité d'un aliment à élever la glycémie après le repas par rapport à un standard de référence qui est le glucose pur (**Gilles, 2017**). Cette échelle classe les glucides de 0 à 100 en fonction de la rapidité avec laquelle l'augmentation de la glycémie se produit lors de la consommation (**Holesh, et al., 2023**). La seule chose que l'indice glycémique d'un aliment ne nous dit pas, c'est la quantité de glucides digestibles c'est la quantité totale de glucides hors fibres qu'il fournit. C'est pourquoi les chercheurs ont mis au point une méthode de classification des aliments qui prend en compte la quantité de glucides

## Synthèse bibliographique

---

contenus dans les aliments et leur effet sur la glycémie, cette mesure est appelée charge glycémique (**Liu & Willett, 2002; Willett, et al., 2002**).

La charge glycémique a été utilisée pour étudier si les régimes avec une charge glycémique élevée sont associés à un risque accru des maladies mentionnées précédemment. Les chercheurs ont conclu que les personnes qui suivaient un régime à faible indice glycémique avaient un risque plus faible de développer ces maladies que celles qui suivaient un régime à indice glycémique plus élevé (**Livesey, et al., 2013**).

Les sucres raffinés engendrent des pics d'insuline et cause de son index glycémique élevée qui favorisent le développement de certaines maladies, de ce fait les alternatives au sucre blanc suscitent l'intérêt que ce soit pour des raisons de santé, comme réduire les calories ou gérer la glycémie, ou simplement pour explorer des goûts différents (**Jenkins, et al., 1981**).

Scientifiques, chercheurs et professionnels de santé appellent à une forte réduction de la consommation de sucres ajoutés. Ils soulignent le besoin urgent de trouver des alternatives naturelles et saines au sucre blanc traditionnel. Des solutions telles que les extraits de sirop de plantes naturelles apparaissent comme des alternatives prometteuses, offrant une douceur naturelle tout en évitant les effets nocifs des sucres raffinés. En explorant ces alternatives naturelles, nous aspirons à contribuer à la promotion d'une alimentation saine, tout en nous engageant dans une réflexion sur la réduction de la dépendance au sucre blanc dans notre société moderne.

Les sirops de céréales considérer parmi les alternatives ils sont riches en vitamines et en minéraux, fournissant des nutriments essentiels à la santé globale. Ils contiennent des vitamines B nécessaires au métabolisme et à la fonction nerveuse, ainsi que des antioxydants comme la vitamine E qui protègent les cellules. Ces sirops offrent également des minéraux tels que le potassium, le magnésium, le calcium, le phosphore, le zinc et le fer, essentiels à la solidité des os et à la fonction musculaire. Ces nutriments soutiennent le métabolisme énergétique, le fonctionnement du système immunitaire et la synthèse de l'ADN. De plus, certains minéraux contenus dans les sirops de céréales, comme le sodium et le chlorure, aident à maintenir l'équilibre électrolytique, tandis que d'autres, comme le sélénium et le zinc, agissent comme antioxydants, protégeant ainsi les cellules contre les dommages causés par le stress oxydatif (**Saulnier, 2012**).

Les céréales offrent divers avantages pour la santé grâce à leur contenu en nutriments tels que l'acide linoléique, les fibres, les vitamines B, le sélénium, l'acide folique, les phytoestrogènes

## Synthèse bibliographique

---

et les acides phénoliques. Ces éléments peuvent réduire les risques de maladie coronarienne et renforcer le système immunitaire. Par exemple, les fibres d'avoine sont reconnues pour abaisser le cholestérol total et le cholestérol des lipoprotéines de basse densité, contrairement à la fibre de blé qui n'a pas cet effet. Bien que le son de riz puisse également contribuer à réduire le cholestérol, sa consommation habituelle est souvent insuffisante pour être efficace. Les aliments céréaliers à faible indice glycémique, comme les pâtes et les flocons d'avoine, sont particulièrement bénéfiques pour les diabétiques et peuvent aider à réduire les niveaux de graisse dans le plasma (**Truswell, 2002**).

Les études d'observation et d'intervention montrent de plus en plus que la consommation d'aliments à grains entiers moins raffinés est bénéfique pour la santé. Les personnes qui consomment régulièrement ces aliments présentent un risque réduit de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2 et de certains cancers. Ils ont également tendance à avoir une meilleure santé digestive, un indice de masse corporelle plus faible et à prendre moins de poids au fil du temps. Ces résultats soutiennent la promotion des aliments à grains entiers plutôt que des céréales raffinées (**Seal & Brownlee, 2015**).

Les bienfaits pour la santé de l'indice glycémique du sirop de céréales résident dans sa capacité à réguler la glycémie. Cela peut aider à prévenir les pics et les baisses rapides de la glycémie, réduisant ainsi le risque de diabète et d'autres troubles métaboliques. Les sirops de céréales avec des valeurs d'indice glycémique plus faibles assurent une libération plus régulière de glucose dans la circulation sanguine, entraînant une amélioration des niveaux d'énergie, une satiété accrue et une meilleure gestion du poids (**Gemen, et al., 2011**).

Le sirop de riz un édulcorant naturel très raffiné et concentré à base de riz cuit. Il est composé de maltose 45 %, de glucose 3 %, de maltotriose 52 % et de quelques oligo-éléments, dont du magnésium, du manganèse et du zinc, même si les quantités de ces minéraux peuvent être relativement faibles dans le sirop de riz blanc, elles contribuent néanmoins au profil nutritionnel global du sirop (**Mohan & Singh, 2020**). Le sirop de riz contient une quantité importante d'eau, qui contribue à sa forme liquide et à sa texture, peut contenir d'autres glucides en plus petites quantités, tels que des oligosaccharides ou des polysaccharides, et peut contenir des traces de protéines provenant de la source de riz d'origine (**Mohan & Singh, 2020**).

Le sirop de maïs est préparé avec diverses proportions de glucose et de fructose par hydrolyse acide de l'amidon de maïs (**Mohan & Singh, 2020**). Le type le plus courant contient environ

## Synthèse bibliographique

---

55 % de molécules de fructose et 42 % de molécules de glucose. La viscosité du sirop dépend du nombre de molécules de glucides présentes, une viscosité plus épaisse contribuant à une texture douce des aliments, ce qui le rend utile en pâtisserie. Le sirop de maïs léger contient 75 % de fructose et de glucose sous forme libre, semblable au sucre sucré, souvent utilisé dans les boissons. Le sirop de maïs noir, une combinaison de sirop de maïs et de sirop raffiné, est utilisé pour la couleur et la saveur des produits de boulangerie. Dans d'autres industries alimentaires, il sert à plusieurs fins comme édulcorant, stabilisant et conservateur économique pour prolonger la durée de conservation des aliments transformés (**Mohan & Singh, 2020**). Les composants nutritionnels que l'on trouve généralement dans le sirop d'avoine pour 100 grammes : Énergie alimentaire : environ 380 kcal, Eau: 8,22 g, Glucides : environ 65 à 75 g, Fibre : environ 10,5 g, Protéines : environ 16 g avec de petites quantités de diverses vitamines telles que : complexe de vitamines B (incluant la thiamine, la riboflavine, la niacine, la vitamine B6 et le folate) et de minéraux, tels que le fer, le calcium et le potassium, le magnésium, le phosphore, zinc, et quantité de bêta-glucane (**Drake, 1989**). Le sirop de céréales obtenu à partir de blé contient une énergie échangeable de 9,56 MJ, des protéines brutes 12,57 %, des protéines digestibles 93,0 gkg-1 et des fibres brutes 2,33 %. De plus, 1 kg du produit contient 299,0 et 133,0 g, respectivement, de sucre et d'amidon (**Alatyrev, et al., 2020**).

Parmi les analyses utilisées dans le domaine d'agroalimentaire pour évaluer la qualité nutritionnelle des aliments c'est L'analyse sensorielle ou évaluation sensorielle qui permet de définir, mesurer, analyser et interpréter les caractéristiques d'un produit perçues par l'intermédiaire des organes des sens, c'est-à-dire ses propriétés gustatives, olfactives, visuelles, auditives et tactiles. Certaines normes définissent simplement l'analyse sensorielle comme suit : examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens (**Claustriax J.-J. , 2001**).

Dans ce cadre, l'homme, appelé juge ou panel (**Mac Leod & Sauvageot, 1986**). L'analyse sensorielle permet par exemple d'évaluer l'effet d'un ingrédient, du procédé de fabrication ou des conditions de conservation sur les propriétés sensorielles du produit. Elle permet également de comparer les propriétés sensorielles des produits en cours de développement avec celles des produits concurrents et permet en outre de mieux comprendre les préférences des consommateurs. Dans la pratique, l'analyse sensorielle repose sur l'organisation de séances d'évaluation avec un panel, où les sujets ont un niveau de connaissance de l'univers

## **Synthèse bibliographique**

---

produit et/ou de la méthode employée plus ou moins développé en fonction de la tâche à réaliser (Claustriax J.-J. , 2001).

Les épreuves analytiques sont destinées à mettre en évidence des différences entre produits ou à décrire les propriétés sensorielles des produits, abstraction faite du sentiment de satisfaction ou au contraire de déplaisir qu'ils peuvent procurer (Claustriax & Delvaux, 1992).

Les épreuves analytiques se subdivisent en types, **Les épreuves discriminatives** (discriminative tests, différence tests) visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles globales entre des produits, **Les épreuves de descriptions** visent à établir un profil sensoriel complet d'un ou de plusieurs (Claustriax J.-J. , 2001), les épreuves hédoniques doivent tenir compte de ce fait ; elles concernent l'étude des préférences et des aversions des consommateurs, des utilisateurs ou des clients (Claustriax & Delvaux, 1992) Face à la prévalence croissante de la surconsommation de sucre et de ses effets néfastes sur la santé, quelles sont les alternatives naturelles au sucre blanc issues des céréales et comment pouvons-nous les extraire et les évaluer pour mieux comprendre leur composition et leur impact sur la santé humaine ?

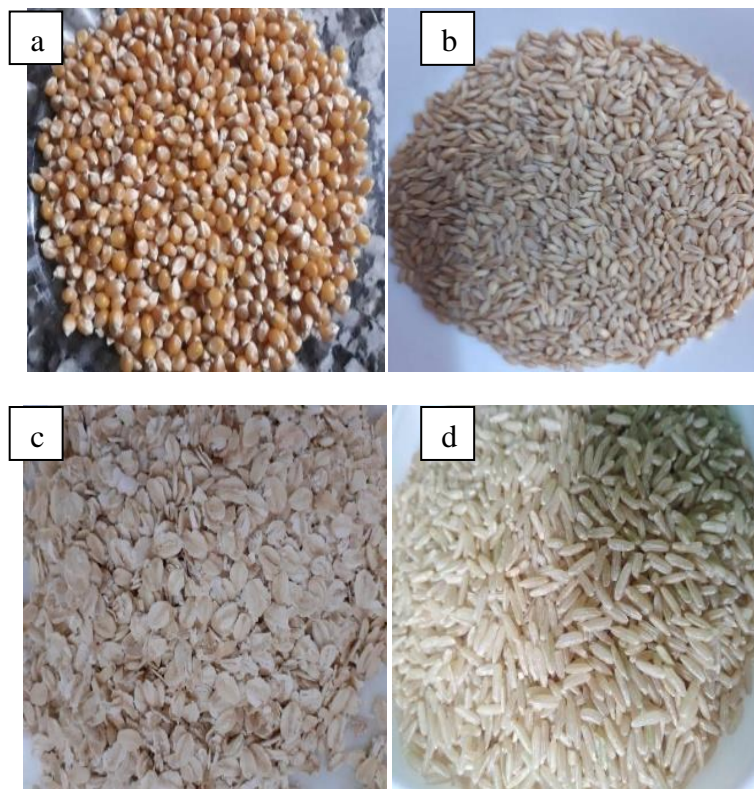
### ***3. Matériel et méthodes***



### 3.1 Sélection et origine des échantillons

Notre choix s'est porté sur quelques céréales répondant au marché algérien,

- Le maïs, le riz et l'avoine ont été achetés en superette et en marchés locaux.
- Le blé a été acheté à un agriculteur qui possède un champ pour cultiver et produire du blé à Aïn El Arbaa, wilaya d'Aïn Témouchent.



**Figure 1 :** Les types de céréales choisis (a : maïs, b : blé, c : avoine, d : riz)

### 3.2 Préparation du sirop de chaque céréale

Les préparations de sirop ont été effectuées d'une manière traditionnelle chez nous, à la maison, par des ustensiles de la cuisine (passoire, casserole, feu, etc.).

Procédure d'extraction de sirop :

1) Nous avons rincé 100 g de chaque échantillon de céréales et les avons séchés afin d'enlever l'excès d'amidon et les impuretés.

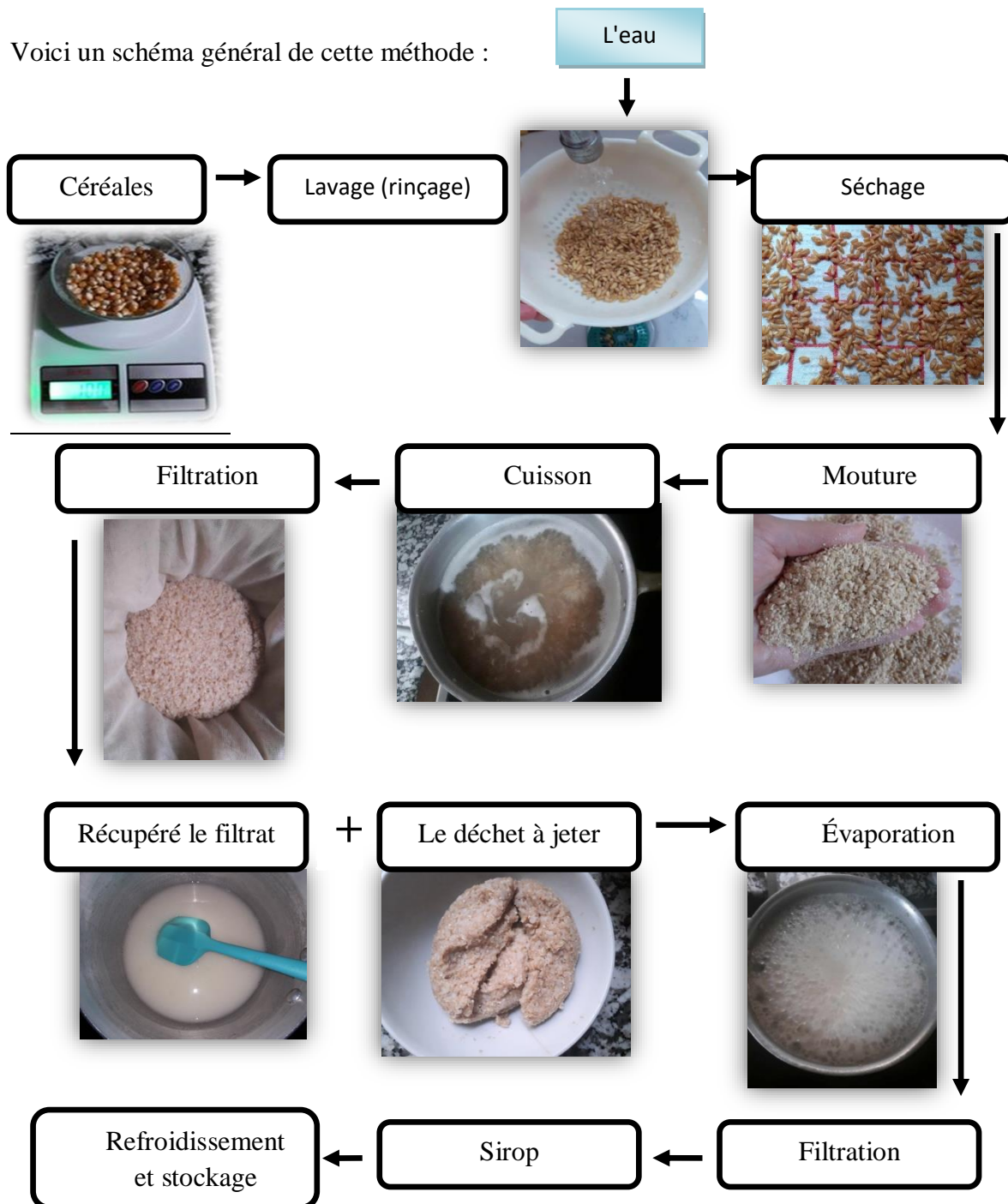
## Matériel et méthodes

---

- 2) Nous avons légèrement concassé les grains à l'aide d'un moulin à café, ou en utilisant un mortier et un pilon.
- 3) Dans une grande casserole, nous avons ajouté 100 g de céréales et 2 L d'eau. Le tout a été porté à ébullition, puis réduit à feu doux et laissé mijoter pendant environ une heure et demie, en remuant régulièrement avec une cuillère en bois, jusqu'à ce que les céréales soient bien tendres.
- 4) Nous avons utilisé un chiffon en mousseline et une passoire pour filtrer le liquide obtenu. Nous avons bien pressé pour en extraire le maximum de liquide et avons jeté les solides.
- 5) Nous avons versé le liquide filtré dans une grande casserole et l'avons porté à ébullition à feu doux. Nous avons remué de temps en temps et fait bouillir pendant 10 à 15 minutes jusqu'à ce que le sirop soit plus épais, plus collant et plus foncé, et Le sirop a commencé à épaissir et s'écoulait d'une cuillère en un filet épais et régulier.
- 6) Nous avons filtré à nouveau le sirop de céréales pour éliminer les éventuelles particules solides restantes.
- 7) Nous avons laissé le sirop filtré refroidir à température ambiante. Ensuite, nous l'avons transféré dans un récipient propre et hermétique pour le protéger de l'oxygène, de la lumière et de l'humidité, qui pouvaient provoquer sa détérioration. Nous avons conservé le sirop de céréales au réfrigérateur à une température de 2 à 4 °C, pour prolonger sa durée de conservation. À cette température, il pouvait se conserver pendant 5 à 7 jours.
- 8) Périodiquement, nous avons vérifié le sirop pour détecter tout changement éventuel de couleur, de texture ou d'odeur, signes révélateurs d'une possible détérioration.

## Matériel et méthodes

Voici un schéma général de cette méthode :



**Figure 2:** Schéma de préparation du sirop des céréales.

### 3.3 Calcul de rendement

Nous avons calculé le rendement en sirop à partir de 100 g de céréales. Nous avons d'abord mesuré cette quantité théorique, puis pesé le sirop extrait. Le rendement (%) est déterminé en divisant la quantité de sirop obtenue par la quantité théorique et en multipliant par 100. Nous avons séché les déchets à 200 °C et les avons pesés. La quantité réelle de sirop est calculée en soustrayant la quantité de déchets de la quantité initiale de céréales.

### 3.4 Les tests sensoriels

Les panels (les personnes : femmes et hommes) qui ont effectué le test sensoriel sont choisis aléatoirement, et nous avons choisi des personnes de populations diverses (des étudiants de notre faculté et des membres de familles), l'âge est situé entre 19 et 67 ans.

- Les panels sont des participants non spécifiques qui n'ont pas de formation spécifique ni d'expérience particulière dans la sphère sensorielle. Ce sont des consommateurs aux préférences représentatives du grand public.
- Le Panel ne doit pas être informé de la nature de l'échantillon. Nous avons assuré que les participants ne souffrent d'aucune condition médicale qui pourrait affecter leur perception sensorielle, telle que des troubles gustatifs ou olfactifs, des allergies alimentaires, des maladies chroniques, etc.
- Nous avons sélectionné des participants qui ne sont pas fumeurs ou qui n'ont pas fumé récemment, car la cigarette peut altérer la perception gustative et olfactive.
- Nous avons évité des participants qui ont des sensibilités connues à certains aliments ou ingrédients.
- Nous avons évité les endroits où il y a beaucoup de bruit qui pourraient influencer la perception sensorielle des participants.
- Nous avons utilisé un vocabulaire clair et des questions bien formulées.
- Nous avons réalisé les tests en laboratoire et dans les endroits calmes.
- Nous avons scellé chaque bol contenant les différents sirops par un signe alphabétique : **A** pour le maïs, **B** pour le blé, **C** pour l'avoine et **D** pour le riz.

## Matériel et méthodes

---

### 3.4.1 Test hédonique

Les tests hédoniques sont utilisés pour évaluer la réaction des consommateurs.

- Nous avons effectué un test hédonique, dans lequel le panel doit déguster les sirops A, B, C et D et répondre à des questions.
- Nous avons présenté les échantillons à 63 participants, chaque participant teste les échantillons séparément et dans des conditions contrôlées.
- Chaque participant évalue les sirops en utilisant une échelle hédonique que nous avons choisie : « Non apprécié », « Acceptable », « Bon », « Trop bon », décrite dans (**annexe 1**), cette échelle permet aux participants d'exprimer à quel degré ils aiment ou n'aiment pas chaque échantillon.
- Nous avons mis une croix dans la barre carrée de l'une des propositions des participants qui choisissent.
- Nous avons collecté et analysé les réponses des participants pour déterminer le niveau de préférence pour chaque échantillon.

### 3.4.2 Test descriptif

- Nous avons présenté les sirops A, B, C et D à 24 personnes (femmes et hommes), de l'âge de 19 à 67 ans, dans lesquels les panélistes doivent évaluer les sirops de céréales en fonction de leurs perceptions visuelles, olfactives, gustatives et tactiles, en attribuant une note selon l'échelle spécifiée pour chaque critère. Chaque participant teste les échantillons séparément et dans des conditions contrôlées.
- Nous avons mis une croix dans la barre carrée de l'une des propositions des participants qui choisissent, montré dans (**annexe 3**).

Et à la fin nous avons soumises Les données à une analyse statistique pour déterminer s'il existe des différences significatives dans les préférences des consommateurs entre les échantillons.

### 3.4.3 Test comparaison

- C'est une méthode d'évaluation sensorielle utilisée pour comparer deux sirops. Nous avons fait un choix de deux sirops de céréales similaires en termes de couleur pour l'évaluation.

## Matériel et méthodes

---

- Nous avons présenté les sirops aux évaluateurs sous forme de paires. Le premier pair se compose d'un sirop A et d'un sirop B. La deuxième paire se compose d'un sirop D et d'un sirop C (**annexe 2**).
- Les 23 participants ont goûté chaque paire d'échantillons et ont évalué leur préférence d'un échantillon par rapport à l'autre en fonction d'un critère de saveur.
- Nous avons coché la case indique leur choix préféré. Une fois que toutes les évaluations ont été complétées, les données sont analysées pour déterminer la préférence globale entre les deux échantillons.
- Les résultats peuvent être présentés sous forme de pourcentage de préférence ou de notation moyenne.

Le test par paire est utile pour évaluer les différences perceptibles entre deux sirops choisis et déterminer les préférences des consommateurs. C'est une méthode simple et rapide qui permet de recueillir des informations directes sur les préférences des échantillons.

### 3.5 Les tests statistiques

Dans cette étude, nous avons utilisé un test statistique binomial afin de comparer le taux de réussite avec le calcul de l'écart-réduit z (**annexe 4**).

$$z = \frac{|PA - PB|}{\sqrt{PQ/nA + PQ/nB}}$$

Si  $z \geq 1,96$ , différence statistiquement significative.

Si  $z < 1,96$ , différence statistiquement non significative.

### 3.6 Détermination de l'index glycémique

L'index glycémique (IG) mesure la capacité d'un aliment à élever la glycémie après le repas par rapport à un standard de référence qui est le glucose pur (**Gilles, 2017**). Les aliments contenant des glucides peuvent être classés comme ayant un IG élevé ( $\geq 70$ ), modéré (56-69) ou faible ( $\leq 55$ ) par rapport au glucose pur (IG = 100) (**Higdon, et al., 2005**).

Pour déterminer l'index glycémique(IG) d'un aliment, les volontaires sains reçoivent généralement un aliment test qui fournit 50 g de glucides et un aliment de référence (pain blanc ou de blé ou glucose pur) qui fournit la même quantité de glucides, à des jours

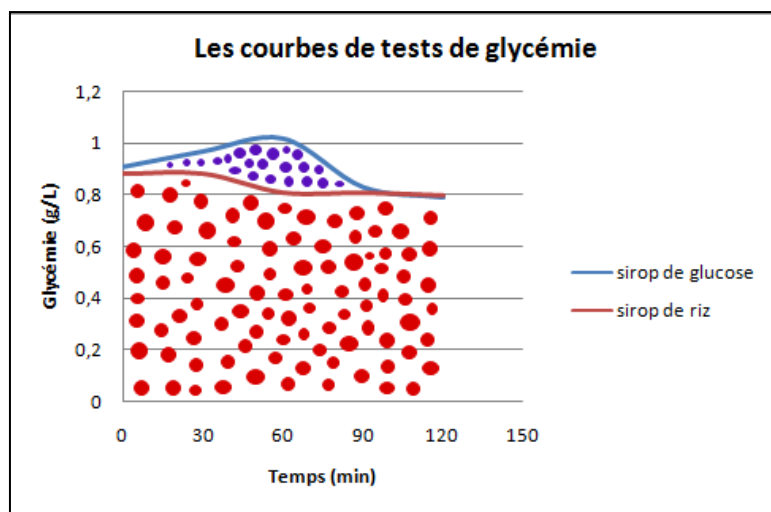
## Matériel et méthodes

---

différents (Monro & Shaw, 2008). La glycémie est mesurée toutes les 30 minutes pendant 2 à 3 heures.

Les changements de la concentration de glucose dans le sang au fil du temps sont tracés sous forme de courbe. En divisant l'aire située sous la courbe glycémique de l'aliment testé par l'aire située sous la courbe de référence, on obtient l'IG, et La valeur est multipliée par 100(Brand-Miller, 2002):

$$\text{L'index glycémique} = \frac{\text{l'ASC de l'aliment test}}{\text{l'ASC de l'aliment de référence}} \times 100$$



**Figure 3 :** Les courbes des aliments testés (sirop de glucose et sirop de riz).

### 3.6.1 Mode opératoire

#### 3.6.1.1 Effectuer un test glycémique

- 1) Sélection des participants : nous avons choisi un groupe de 3 participants en bonne santé et n'ayant aucune condition médicale affectant la glycémie.
- 2) Préparation de l'aliment de référence : nous avons choisi le sirop de glucose.
- 3) Préparation de l'aliment test : nous avons préparé des échantillons de sirop de différentes céréales à tester, notamment du sirop de blé, d'avoine, de maïs et de riz.
- 4) Mesure la glycémie à jeun : Avant de commencer l'expérience, nous avons mesuré la glycémie à jeun de chaque participant à l'aide d'un glucomètre pour établir une référence de base.

## Matériel et méthodes

---

5) Consommation des sirops : nous avons consommé 10 g de sirop de glucose.

6) Mesure de la glycémie : la glycémie est mesurée toutes les 30 min pendant 2 heures après la consommation et est déterminée au niveau du sang provenant du système vasculaire capillaire, par piqûre transcutanée, à l'aide d'un lecteur de glycémie modèle ISUCARE GLUCOLEADER LANCETTE de contrôle de la glycémie CHECK 3. Ce dernier fonctionne avec des bandelettes réactives permettant la mesure quantitative de la glycémie à partir du sang capillaire frais.

Cette opération est répétée avec des sirops de céréales à tester contenant 10 g de glucides.



**Figure 4** : La mesure de la glycémie à l'aide du glucomètre.

### 3.6.1.2 Le calcul de la charge glycémique

La charge glycémique (CG) est décrite simultanément la qualité (IG) et la quantité de glucides dans une portion, un repas ou un régime alimentaire. Le CG d'un seul aliment est calculé en multipliant l'IG par la quantité de glucides en grammes (g) fournie par une portion d'aliment, puis en divisant le total par 100 (**Monro & Shaw, 2008**):

$$\text{Charge glycémique} = \frac{\text{IG} \times \text{quantité de glucides d'une portion d'aliment}}{100}$$

Pour une portion typique d'un aliment, la CG serait considérée comme élevée avec une  $CG \geq 20$ , intermédiaire avec une CG de 11-19 et faible avec une  $CG \leq 10$ .



### 3.7 Analyse physicochimique

#### 3.7.1 Méthode de dosage colorimétrique du sucre total

##### 3.7.1.1 Principe

Les tests colorimétriques pour les sucres réducteurs et les polysaccharides sont connus depuis un temps considérable (**Dubois, et al., 1956**).

Sous l'action d'acides minéraux concentrés et à chaud, les hexoses et pentoses du milieu subissent une déshydratation interne poussée, suivie d'une cyclisation aboutissant à la formation de dérivés du furfural et 5-hydroxyméthylfurfural, réagissant avec le phénol. La formation d'un complexe jaune-rouge permet de suivre la concentration en sucres totaux de l'échantillon en lisant l'absorbance à 485 nm (**Dubois, et al., 1956**).

##### 3.7.1.2 Mode opératoire

###### 3.7.1.2.1 Pour le glucose

- Nous avons pesé 0,5 g de glucose et ajouté de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume total de 250 mL.
- La solution a été soigneusement mélangée pour assurer une dissolution complète du glucose.
- Nous avons dilué la solution en prélevant 100  $\mu$ L de la solution mère et en ajoutant de l'eau distillée jusqu'à obtenir un volume total de 100 mL.
- Nous avons calculé le volume de la solution mère à utiliser et ces volumes ont été mesurés et transférés dans des éprouvettes.
- Nous avons ajouté 1 ml de phénol (5 % dans l'eau) et 5 ml d'acide sulfurique.
- Les tubes ont été classés dans un support et placés dans un bain-marie à une température de 25-30 °C pendant 20 min, et après incubation, les tubes ont été refroidis pendant 10 min.
- Nous avons ajusté la lecture d'absorption dans le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 485 nm.
- Avant de lire la solution d'échantillon, nous avons utilisé une solution blanche (solution diluée) pour garantir la précision des mesures d'absorption, en éliminant les contributions des autres composants de la solution.

## Matériel et méthodes

---

Calcul du volume de la solution mère :  $C_1V_1=C_2V_2$ , alors  $V_1=(C_2V_2)/C_1$

- $C_1$  est la concentration de la solution mère (200 mg/L).
- $V_1$  est le volume de la solution mère utilisée pour la dilution (mL).
- $C_2$  est la concentration de la solution diluée après dilution (50, 100, 150, 200 mg/L).
- $V_2$  est le volume total de la solution diluée (5 mL).

Exemple :  $V_1 = (50 \times 5) / 200 = 1,250$  mg/L

**Tableau I** : Le volume et la concentration de solution de glucose dilué.

Concentration de la solution diluée (mg/L)	50	100	150	200
Volume de la solution mère utilisé pour la dilution (mL).	1,250	2,5	3,750	5

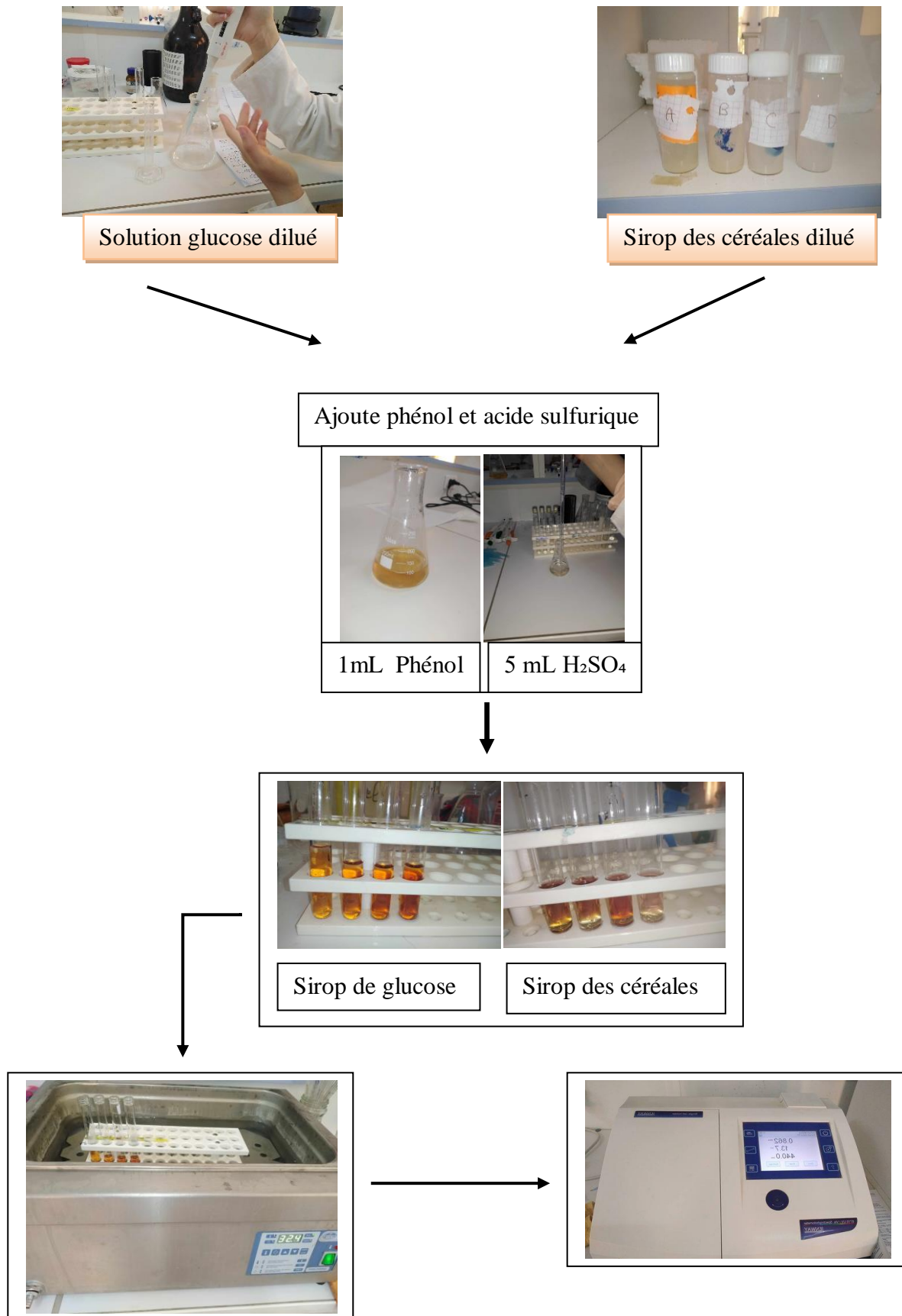
### 3.7.1.2.2 Pour les sirops des céréales

- Pour dissoudre les échantillons, nous avons pesé 5 g de sirop puis ajouté 40 mL d'eau distillée. Ce processus a été répété pour tous les sirops de céréales préparés.
- Nous avons dilué la solution obtenue en prélevant 10 mL et ajouté de l'eau distillée jusqu'à ce que nous atteignons 50 mL. Ensuite, nous avons ajouté du phénol et de l'acide sulfurique dans les mêmes quantités que précédemment, les tubes préparés ont été placés dans un bain-marie, puis les absorbances ont été lues à l'aide d'un spectrophotomètre à 485 nm.
- Le blanc utilisé était un échantillon de la solution de sirop diluée, donc avant de lire tout type d'échantillon, nous avons appliqué le blanc du même type d'échantillon à étudier.

Après avoir déterminé l'absorption à travers le spectre, nous avons découvert la dose totale de sucre en utilisant la courbe d'étalonnage du glucose  $A = f(C)$  en compensant ( $y = A$  et  $x = C$ ).  
Donc :  $y = 0,008 X = 0,008 C$ . Donc :  $c = a / 0,008$ .

Le résultat pertinent pour la solution des sirops de céréales diluée était en mg/L. Cela a été multiplié par le facteur de dilution (20/1000) pour obtenir la concentration de la solution mère pour les échantillons en g/L.

## Matériel et méthodes



**Figure 5 :** Schéma général de méthode de dosage colorimétrique du sucre total.

## Matériel et méthodes

---

### 3.7.2 Mise en évidence des sucres réducteurs par la liqueur de Fehling

#### 3.7.2.1 Principe

Le complexe oxyde cuivrique-acide tartrique est soluble en milieu basique et il est bleu. L'ion cuivrique ( $\text{Cu}^{2+}$ ) est réduit en ion cuivreux ( $\text{Cu}^{+}$ ) par la fonction aldéhyde ( $-\text{C}-\text{O}$ ) des sucres réducteurs pour donner l'oxyde cuivreux ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) qui est rouge et qui précipite (**Asatkar & Basak, 2023**).

#### 3.7.2.2 Mode opératoire

La solution de liqueur de Fehling est placée dans un tube à essai (5 ml de solution A et 5 ml de solution B par pipette en verre graduée) et donne une teinte bleue à la fin.

**Solution A** : solution saturée de  $\text{CuSO}_4$  (environ 45 g/l).

**Solution B** :

- 200 g de tartrate double de potassium et de sodium, 4  $\text{H}_2\text{O}$ .
- 150 g de  $\text{NaOH}$ .
- $\text{H}_2\text{O}$ , quantité suffisante pour un litre.

5ml de solution B avec 5ml de solution A dans tube à essai

Nous chauffons l'eau et versons la solution sucrée dans une burette graduée



**Figure 6** : Les étapes de la méthode de Fehling.

## ***4. Résultats et interprétations***

## Résultats et interprétations

---

### 4.1 Les sirops des céréales



**Figure 7 :** Les sirops de céréales obtenus après l'extraction.

### 4.2 Le rendement

Les résultats des rendements des sirops de chaque échantillon représenté dans le tableau suivant :

**Tableau II :** Pourcentage de la quantité de sirop après extraction.

Type de Céréale	Rendement de sirop
Maïs	31 %
Blé	62 %
Avoine	78 %
Riz	31 %

Le rendement du sirop de maïs et du sirop de riz est relativement faible comparé aux autres sirops. Ils présentent les deux un pourcentage égal de 31 %. Le rendement du sirop de blé (62 %) est plus élevé que celui du sirop de maïs et de riz. Le rendement de sirop le plus élevé parmi les sirops, c'est le sirop d'avoine (78 %).

### 4.3 Les tests sensoriels

Les échantillons (A, B, C, D) indiquent : « **A** : Sirop de maïs, **B** : Sirop de blé, **C** : Sirop d'avoine, **D** : Sirop de riz ».

## Résultats et interprétations

---

### 4.3.1 Test hédonique

Les participants (panels) ont évalué chaque échantillon sur une échelle de plaisir allant de « non apprécié » à « très bon ». Les pourcentages dans chaque catégorie dans (**tableau III**) indiquent le pourcentage de participants qui ont attribué cette évaluation à chaque échantillon.

**Tableau III** : Évaluation sensorielle des sirops de maïs, blé, avoine et riz par un test hédonique.

	A	B	C	D
Non apprécier	25,30%	26,98%	30,15%	12,69%
Acceptable	66,60%	52,38%	50,79%	49,20%
Bon	7,93%	23,80%	15,87%	22,22%
Trop bon	0%	1,58%	7,93%	15,87%

Les résultats du test hédonique montrent que :

Le sirop de riz (D) été le plus apprécié parmi les quatre échantillons, avec seulement 12,69 % des participants ne l'appréciant pas ; la différence a été significative par rapport à «acceptable» 49,20 %, et des pourcentages relativement élevés de participants l'ayant trouvé «bon» 22,22 % et la différence été non significative par rapport à «trop bon» 15,87 %.

Le sirop de maïs (A) et le sirop de blé (B) ont été moins bien notés, avec respectivement 25,30 % et 26,98 % des participants les trouvant «non appréciés».

Le sirop d'avoine (C) a été le moins apprécié, avec une différence significative entre 30,15 % des participants ne l'aimant pas et seulement 7,93 % le trouvant « trop bon ». Le sirop de blé (B) a eu un pourcentage relativement élevé dans la catégorie « bon » 23,80 %, mais peu de participants l'ont trouvé « trop bon » 1,58 % et la différence entre eux a été significative.

En revanche, le sirop de maïs (A) a eu une forte proportion de « non apprécié » (25,30 %) et aucun participant ne l'a trouvé « trop bon ». Globalement, le sirop de riz (D) s'est distingué comme le préféré des participants, suivi par le sirop de blé (B) et le sirop d'avoine (C), tandis que le sirop de maïs (A) a été le moins apprécié. Les préférences des participants ont probablement été influencées par des facteurs sensoriels tels que la saveur, la texture et l'arôme de chaque sirop.

## Résultats et interprétations

---

### 4.3.2 Test descriptif

Ce test représente une simple description selon les critères suivants : l'odeur, la couleur, la texture et la saveur (**annexe3**).

#### 4.3.2.1 Odeur

**Tableau IV** : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à l'odeur.

Odeur	Farine	Céréale	Alimentaire	Anneau	Anis	Noix	Huile	Sans arôme
A	12,50%	37,50%	37,50%	12,50%	4,16%	0%	0%	4,16%
B	25%	50%	33,33%	0%	8,33%	0%	0%	0%
C	29,16%	50%	12,50%	0%	0%	8,33%	8,33%	4,16%
D	8,33%	25,00%	25,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	45,83%

Le sirop de blé a été le plus souvent associé à l'odeur de farine par 25 % des participants et à l'odeur de céréales par 50 % des participants. De plus, 33,3 % des participants ont perçu les saveurs des aliments, et la différence a été significative par rapport aux participants trouvant des arômes d'anis à 8,33 %.

Pour le sirop de maïs, 12,5 % des participants ont choisi l'odeur de la farine, 37,5 % l'odeur des céréales et 37,5 % l'odeur de la nourriture. Par rapport à l'arôme d'anis à 4,16 %, la différence a été significative. Bien qu'il ait partagé des saveurs similaires avec le blé et l'avoine, le sirop de maïs n'a pas eu de son positif.

Pour le sirop d'avoine, la majorité des participants ont sélectionné l'odeur des céréales à 50 %, et la différence a été significative avec 29,16 % choisissant l'odeur de farine. Cependant, seulement 12,5 % des participants ont perçu des odeurs de nourriture et 8,3 % des arômes de noix et d'huile, et cette différence a été non significative.

Le sirop de riz s'est caractérisé par un pourcentage élevé de perceptions « sans arôme » à 45,83 %. Il a été également associé à l'odeur des céréales par 25 % des participants, à l'odeur des aliments par 25 %, et à l'odeur de farine par 8,33 %. Cette neutralité perçue ou ce manque d'odorat l'a rendu mieux accepté dans les tests descriptifs, et la différence a été significative par rapport aux autres arômes.



## Résultats et interprétations

---

Le sirop de riz, perçu par la majorité des participants comme neutre ou sans saveur, a été mieux accepté dans le test de plaisir. Les sirops de blé et d'avoine, avec leur profil aromatique plus prononcé, ont affecté les préférences de manière variable. Le sirop de maïs, bien qu'ayant des saveurs similaires à celles du blé et de l'avoine, n'a pas réussi à se démarquer favorablement.

### 4.3.2.2 Couleur

**Tableau V** : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la couleur.

Couleur	A	B	C	D
Beige	75 %	58,33 %	/	/
Blanc cassé	25%	41,66%	41,66%	/
Blanc	/	/	58,33%	100%

**Beige** : les participants ont trouvé que le sirop de maïs se distinguait avec une prédominance de 75 % dans cette teinte, suivi par le sirop de blé avec 58,33 %. Les sirops d'avoine et de riz n'ont pas été associés à la couleur beige dans ce contexte.

**Blanc cassé** : les participants ont trouvé que les sirops de blé et d'avoine partageaient presque à égalité cette teinte, avec des pourcentages de 41,66 % chacun, tandis que le sirop de maïs était moins présent avec 25 %, et la différence entre eux a été significative. Le sirop de riz n'a pas présenté d'association avec la couleur blanc cassé dans ce tableau.

**Blanc** : le sirop de riz s'est distingué nettement avec une forte association à la couleur blanche, représentant 100 % des réponses pour cette teinte. Le sirop d'avoine a également été associé à cette couleur, mais dans une moindre mesure, avec 58,33 %. Les sirops de maïs et de blé n'ont pas été associés à la couleur blanche dans ce contexte.

En résumé, chaque sirop a été perçu différemment en termes de couleur par les participants. Les sirops de maïs et de blé ont été principalement associés au beige, tandis que le sirop d'avoine a été principalement associé au blanc. Le sirop de riz a été unanimement perçu comme étant blanc.

## Résultats et interprétations

---

### 4.3.2.3 Texture

**Tableau VI** : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la texture

Texture	Critères				Commentaires				
	Collant	Fondant	Farineux	Visqueux	Liquide	Lisse	Lourde	Granuleux	Onctueux
A	4,16%	45,83%	12,50%	8,33%	0%	25%	0%	20,83%	4,16%
B	8,33%	29,16%	16,66%	16,66%	25%	16,66%	8,33%	4,16%	0%
C	8,33%	25%	8,33%	33,33%	33,33%	8,33%	8,33%	0%	4,16%
D	45,83%	0%	12,50%	12,50%	4,16%	4,16%	12,50%	29,16%	8,33%

Dans le sirop de riz, les participants ayant choisi la texture collante été de 45,83 %. Bien qu'il n'ait pas associé à une texture fondante, 12,5 % ont choisi la texture lourde et 29,16 % granuleuses avec une différence non significative. Le sirop de riz a également été perçu comme visqueux et farineux par 12,50 % des participants.

Le sirop de maïs a été identifié par 45,83 % des participants comme ayant une texture fondante, et la différence entre lisse (25 %) et granuleux (20,83 %) été non significative, avec une légère perception de texture farineuse à 12,50 %. Contrairement aux autres sirops, il n'a pas présenté de texture liquide ou lourde, ce qui a pu influencer la perception globale.

En ce qui concerne le sirop de blé, la majorité des avis des panels ont confirmé qu'il s'agissait d'une texture fondante à 29,16 % et liquide à 25 %. La différence été non significative par rapport à lisse, visqueux et texture farineuse de 16,66 %. Une petite proportion de panels a trouvé que sa texture lourde était de 8,33 %, mais il n'a pas eu de texture granuleuse ou onctueuse selon les avis des panels, et c'était une différence non significative par rapport aux proportions d'autres textures.

Le sirop d'avoine a été principalement perçu comme visqueux par 33,33 % des participants, et la différence non significative par rapport à la texture fondante (25 %), et significative pour farineuse (8,33 %). Une petite proportion l'a trouvé lisse (8,33 %) ou onctueux (4,16 %). Les arômes de noix et d'huile ont été plus prononcés, rendant le profil aromatique plus complexe et influençant les préférences de manière distincte.

## Résultats et interprétations

---

En conclusion, chaque sirop a offert une combinaison unique de textures : le sirop de maïs a été décrit comme fondu et lisse, le sirop de blé comme farineux et granulé, le sirop d'avoine comme visqueux et liquide, et le sirop de riz comme visqueux et lourd, granuleux et crémeux. De telles différences ont caractérisé chaque type de sirop aux céréales.

### 4.3.2.4 Saveur

**Tableau VII** : Évaluation descriptive des sirops de maïs, blé, avoine et riz par rapport à la saveur.

Saveur	Sucré	Non sucré	Gout farine	Amer	Salé	Sans saveur
A	12,50%	79,16%	16,66%	8,33%	12,50%	0%
B	4,16%	75%	29,16%	0%	0%	0%
C	0%	70,83%	33,33%	8,33%	0%	0%
D	4,16%	83,33%	16,66%	4,16%	8,33%	12,50%

Le sirop de maïs avait séduit 12,5 % des participants avec sa délicate douceur, marquant le pourcentage le plus élevé parmi tous les sirops testés. Par ailleurs, il été distingué par son caractère non sucré, attirant 79,16 % des participants, et la différence entre ces deux groupes été significative. Le sirop de maïs avait également été associé au goût de farine pour 16,66 % des participants et à l'amertume pour 8,33 %. De plus, 12,5 % des participants avaient détecté une légère salinité dans ce sirop, alors que la variation entre ces perceptions n'avait pas été significative. En revanche, aucun participant n'avait perçu une absence de saveur.

Le sirop de blé : les avis des panels avaient élevé la saveur non sucrée à 75 % par rapport à la saveur sucrée de 4,16 %, ce qui constituait une différence significative entre eux. Il avait également été principalement associé au goût de farine pour 29,16 % des participants. De plus, aucun participant n'avait perçu ce sirop comme étant sans saveur, amer ou salé.

Le sirop d'avoine n'avait pas évoqué de saveur sucrée chez les participants. En revanche, il avait été perçu comme non sucré par 70,83 % des participants. Le goût de farine avait été choisi pour ce sirop par 33,33 % des participants, et 8,33 % avaient détecté de l'amertume. Il n'avait cependant pas révélé de saveur salée. Aucun participant n'avait perçu le sirop d'avoine comme étant sans saveur. La différence entre ces perceptions avait été significative.

## Résultats et interprétations

---

Le sirop de riz : 83,33 % des participants l'avaient choisi non sucré, mais il avait été perçu comme sucré par 4,16 % des participants. Il avait aussi été associé à un goût de farine pour 16,66 % des participants et à l'amertume pour 4,16 %. De plus, 8,33 % des participants avaient détecté une légère salinité. Le sirop de riz était notable pour son absence de saveur pour 12,50 % des participants, offrant une expérience sensorielle presque neutre, et la différence entre le pourcentage de ceux qui avaient choisi « non sucré » et les autres saveurs avait été significative.

### 4.3.3 Test comparaison

Ce test montre une comparaison sensorielle entre les sirops de blé (A) et de maïs (B) et entre les sirops d'avoine (C) et de riz (D), concernant la saveur, la texture, la couleur et l'odeur.

#### 4.3.3.1 Entre les sirops A et B

**Tableau VIII** : Comparaison sensorielle des sirops de blé (B) et de maïs (A) pour la texture, couleur, saveur et odeur.

	A	B
Saveur	52,17%	47,82%
Texture	13,04%	86,95%
Couleur	21,73%	78,26%
Odeur	26,03%	73,91%

Les résultats du test de comparaison, comparant les sirops de maïs (A) et de blé (B) sur la base de la saveur, de la texture, de la couleur et de l'odeur, avaient montré des préférences claires des participants pour plusieurs critères. Concernant la saveur, les préférences avaient été presque équilibrées, avec 52,17 % des participants favorisant le sirop de maïs et une différence non significative de 47,82 % préférant le sirop de blé. En ce qui concerne la texture, le sirop de blé avait été nettement préféré, recueillant 86,95 % contre seulement 13,04 % pour le sirop de maïs, marquant une différence significative. Pour la couleur, une différence significative avait été observée, avec 78,26 % des participants préférant celle du sirop de blé, tandis que 21,73 % préféraient celle du sirop de maïs. Enfin, pour l'odeur, 73,91 % des participants avaient choisi le sirop de blé, contre 26,03 % pour le sirop de maïs, et cette différence était également significative. Ces résultats avaient indiqué que, globalement, le

## Résultats et interprétations

---

sirop de blé avait été préféré pour sa texture, sa couleur et son odeur, tandis que la préférence pour la saveur avait été plus partagée entre les deux sirops.

### 4.3.3.2 Entre les sirops C et D

**Tableau IX :** Comparaison sensorielle des sirops de riz (D) et d'avoine(C) pour la texture, couleur, saveur et odeur.

	C	D
Saveur	30,43%	69,50%
Texture	73,90%	26,08%
Couleur	47,82%	56,50%
Odeur	60,80%	39,13%

Les résultats du test de comparaison, qui a opposé les sirops de riz (D) et d'avoine (C) en termes de saveur, texture, couleur et odeur, ont révélé des préférences variées parmi les participants pour ces critères sensoriels. En ce qui concerne la saveur, le sirop de riz a clairement dominé en recueillant 69,5 % des votes contre 30,43 % pour le sirop d'avoine, avec une différence significative. Pour la texture, le sirop d'avoine a été largement préféré avec 73,9 % des suffrages, tandis que le sirop de riz n'a obtenu que 26,08 %. Pour la couleur, bien que les préférences aient été plus équilibrées, le sirop de riz a été légèrement favorisé avec 56,50 % des votes contre 47,82 % pour le sirop d'avoine, mais la différence n'était pas significative. Enfin, en ce qui concerne l'odeur, le sirop d'avoine a été préféré par 60,8 % des participants, tandis que le sirop de riz a été choisi par 39,13 %, sans différence significative entre eux.

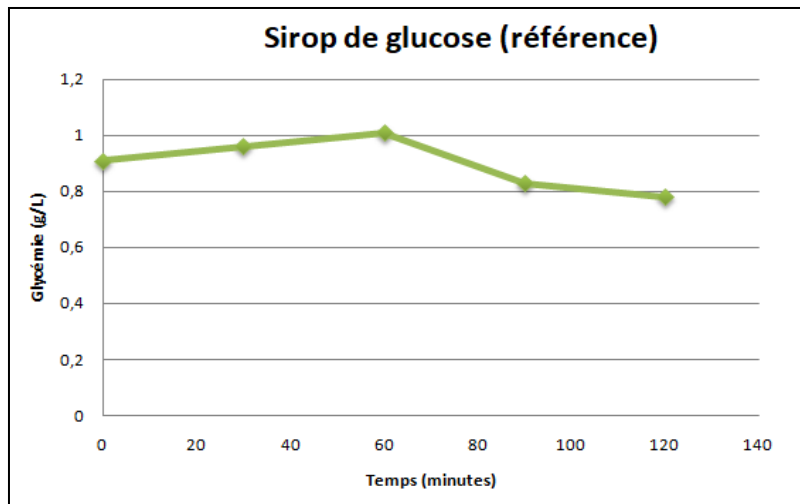
Ces résultats indiquent que le sirop de riz est globalement préféré pour sa saveur et légèrement pour sa couleur, tandis que le sirop d'avoine est largement préféré pour sa texture et son odeur. Ces préférences mettent en lumière les caractéristiques sensorielles distinctes des deux sirops, influençant les choix des consommateurs.

## 4.4 La glycémie

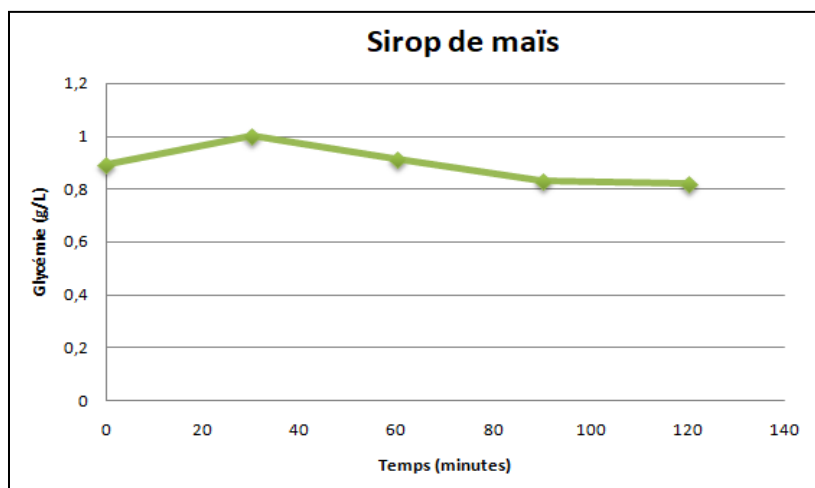
La réponse glycémique des sirops (des aliments testés) étudiés est présentée dans la figure suivante.

## Résultats et interprétations

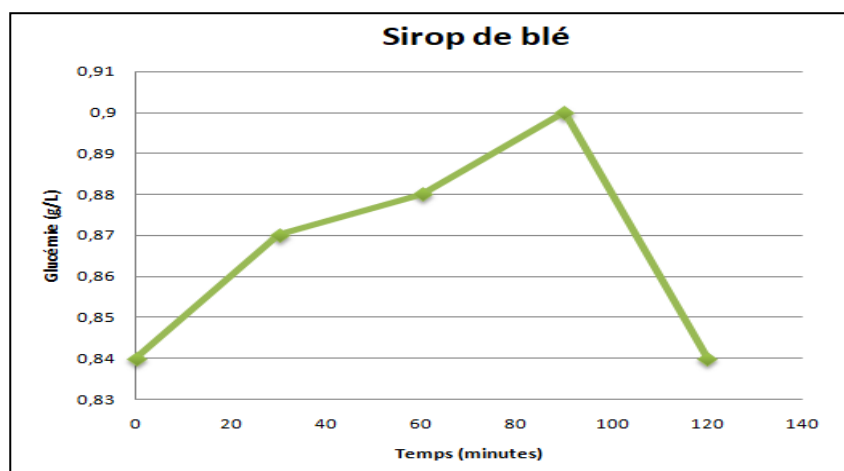
---



**Figure 8 :** Variation de la glycémie après la consommation de sirop de glucose (référence).

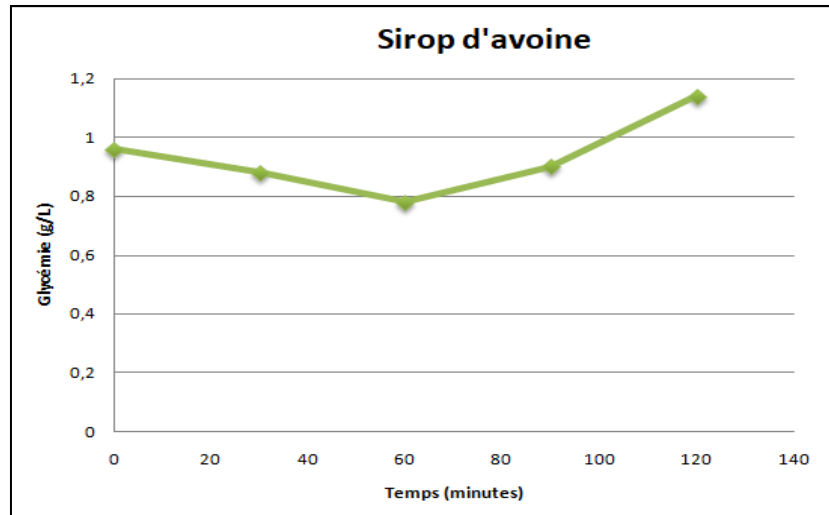


**Figure 9 :** Variation de la glycémie après la consommation de sirop de maïs.

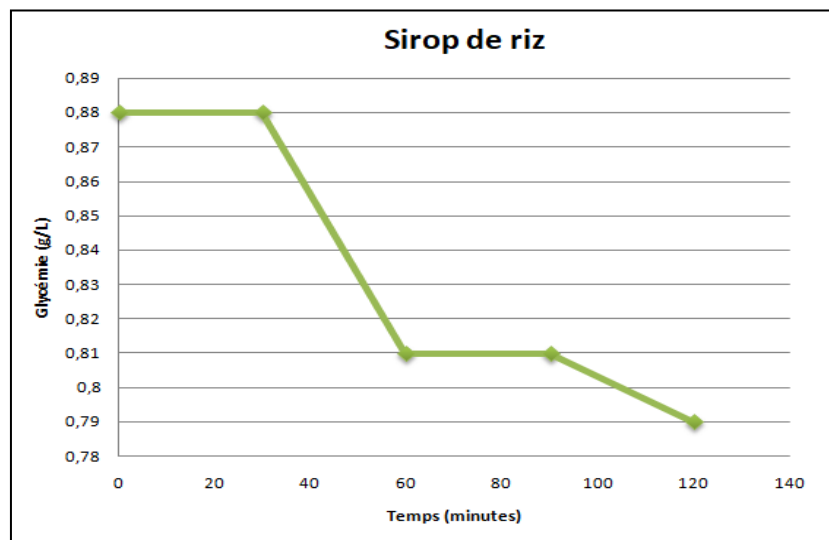


**Figure 10 :** Variation de la glycémie après la consommation de sirop de blé.

## Résultats et interprétations



**Figure 11 :** Variation de la glycémie après la consommation de sirop d'avoine.



**Figure 12 :** Variation de la glycémie après la consommation de sirop de riz.

Sirop de glucose : la glycémie de référence a commencé à 0,91 g/L. Elle atteint 0,97 g/L après 30 min, puis a augmenté à 1,02 g/L à 60 min. Par la suite, elle a diminué à 0,83 g/L à 90 min et a continué de baisser à 0,79 g/L à 120 min. Cela montre une augmentation initiale rapide suivie d'une baisse progressive.

Sirop de maïs : initialement, la valeur de glycémie était de 0,9 g/L. Elle a atteint un pic de 1,01 g/L à 30 min, puis a diminué progressivement à 0,82 g/L à 120 min. Ce schéma a montré une réponse glycémique rapide, suivie d'une diminution progressive.

## Résultats et interprétations

Sirop de blé : la mesure initiale de la glycémie était de 0,84 g/L. Elle a légèrement augmenté jusqu'à 0,90 g/L après 90 min, puis est revenue à 0,85 g/L à 120 min. Ce comportement a indiqué une réponse glycémique modérée, caractérisée par un léger pic suivi d'un retour au niveau de départ.

Sirop d'avoine : la glycémie débute à 0,96 g/L, baisse à 0,82g/L à 60 min, avant d'augmenter de manière notable à 1,04 g/L à 120 min. Ce profil révèle une réponse glycémique initialement faible, suivie d'une absorption prolongée et retardée des sucres.

Sirop de riz : la glycémie a commencé à 0,88 g/L et est restée stable jusqu'à 30 min, avant de diminuer progressivement à 0,80 g/L à 120 min. Cela comportement a indiqué une réponse glycémique très stable, sans pic significatif.

**Tableau X : Réponses glycémiques.**

Temps (min) L'aliment	0	30	60	90	120
Sirop de Glucose	0,91 ± 0,01	0,97 ± 0,02	1,02 ± 0,08	0,83 ± 0,01	0,79 ± 0,03
Sirop de blé	0,84 ± 0,04	0,87 ± 0,03	0,88 ± 0,00	0,90 ± 0,02	0,85 ± 0,04
Sirop de Riz	0,88 ± 0,05	0,88 ± 0,03	0,81 ± 0,03	0,81 ± 0,01	0,80 ± 0,02
Sirop d'avoine	0,96 ± 0,05	0,88 ± 0,01	0,82 ± 0,03	0,90 ± 0,02	1,04 ± 0,09
Sirop de maïs	0,90 ± 0,03	1,01 ± 0,06	0,92 ± 0,04	0,83 ± 0,05	0,82 ± 0,05

### 4.4.1 L'index glycémique (IG)

**Tableau XI : L'index glycémique de l'aliment testé.**

L'aliment	Sirop de maïs	Sirop de blé	Sirop de l'avoine	Sirop de riz
L'IG de l'aliment	99	95	98	91

À partir de la classification des aliments en fonction de leur index glycémique, nous pouvons donc considérer que les sirops de céréales étudiés présentent un IG « élevé », puisqu'elles sont supérieures à 70.

### 4.4.2 La charge glycémique (CG)



## Résultats et interprétations

**Tableau XII :** Calcul de la charge glycémique de l'aliment testé.

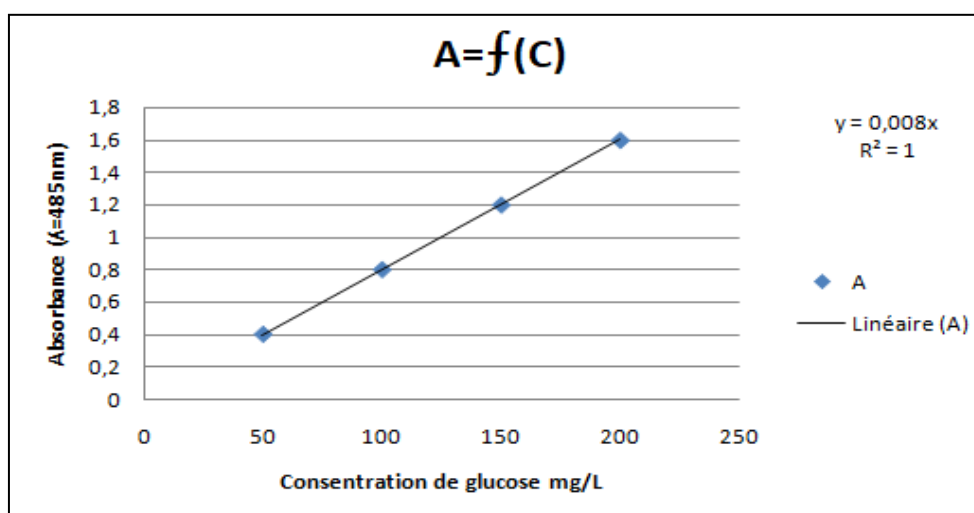
L'aliment	Sirop de maïs	Sirop de blé	Sirop de l'avoine	Sirop de riz
CG de l'aliment	9.9	9.5	9.8	9.1

Dans la présente étude, nous avons enregistré les valeurs de la charge glycémique pour les quatre sirops de céréales. D'après les résultats, les sirops de céréales étudiés avaient été classés comme des aliments à charge glycémique faible, puisqu'ils sont inférieurs à 10.

### 4.5 Tests physico-chimiques

#### 4.5.1 Valeur de sucre total

À travers cette courbe d'étalonnage linéaire, les sucres totaux des sirops de céréales ont été calculés.



**Figure 13 :** La courbe d'étalonnage linéaire de glucose  $A = f(C)$ .

Valeur de sucre totaux a défèrent sirops dans les tableaux suivant :

**Tableau XIII :** Les valeurs de sucre total des sirops de céréales.

Echantillon	Sirop de maïs	Sirop de blé	Sirop d'avoine	Sirop de riz
Sucre totaux (g/L)	1,96	3,96	4,66	3,49

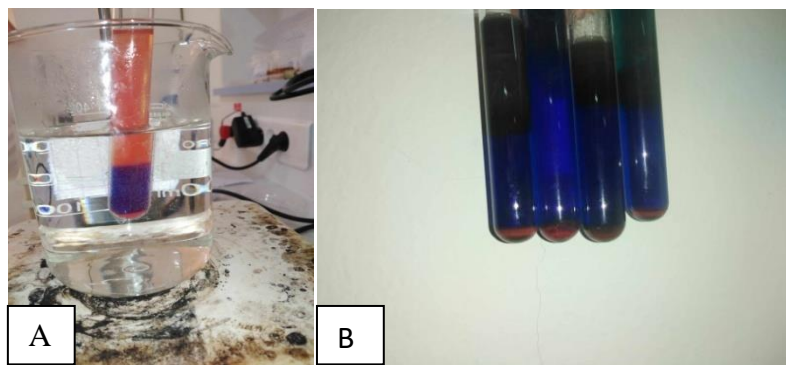
## Résultats et interprétations

---

Les valeurs de sucre total des sirops de céréales avaient révélé des différences significatives entre les types de sirops. Le sirop de maïs contenait 1,96 g/L de sucre total, ce qui en faisait le sirop avec la plus faible concentration en sucre parmi les quatre étudiés. En comparaison, le sirop de blé contenait 3,96 g/L de sucre total, soit environ deux fois plus que le sirop de maïs. Le sirop d'avoine, avec 4,66 g/L de sucre total, présentait la plus haute concentration en sucre total, légèrement supérieure à celle du sirop de blé. Enfin, le sirop de riz contenait 3,49 g/L de sucre total, une concentration intermédiaire, inférieure à celle des sirops de blé et d'avoine, mais supérieure à celle du sirop de maïs. En résumé, le sirop d'avoine était le plus riche en sucre total, suivi du sirop de blé, du sirop de riz et enfin du sirop de maïs.

### 4.5.2 Résultat de sucre réducteur

Dans les résultats de cette méthode, il a été observé que la couleur du mélange au fond du tube à essai, après chauffage, avait changé du bleu au rouge brique.



**Figure 14 :** La précipitation de couleur rouge dans les tubes à essais des échantillons utilisés A et B. (A : glucose ; B : échantillon des sirops des céréales classés de gauche à droite dans l'ordre suivant : sirop de maïs, sirop de blé, sirop d'avoine, sirop de riz).

La couleur rouge brique s'était formée au fond de tous les tubes à essai, mais le glucose avait précipité la majorité de la couleur rouge en peu de temps. En revanche, les sirops de céréales avaient mis plus de temps que le glucose à développer une couleur rouge brique, mais elle est faible par rapport au glucose.

Des quatre sirops, le maïs et le blé présentaient la couleur la plus rouge, tandis que les dépôts rouges d'avoine étaient en petites quantités et moins abondants que dans tous les autres échantillons, y compris le riz. Le glucose est l'échantillon qui a montré le plus de dépôts de brique rouge en un temps record, suivi du maïs, du blé, puis du riz et enfin de l'avoine à des temps différents.

## ***5. Discussion***

## Discussion

---

Notre procédé d'extraction des sirops de céréales est basé sur le chauffage. Les études montrent que sous l'effet de la chaleur, les liaisons structurales de l'amidon sont rompues, libérant des chaînes d'amylose et d'amylopectine, qui se décomposent en glucose (**Goyon & Mestres, 2017**). Basés sur les résultats de cette étude, nous concluons que ces sirops contiennent des sucres simples comme le glucose, ce qui est confirmé dans nos résultats par l'apparition d'un précipité rouge à partir de la méthode de Fehling, variant selon chaque sirop. Cela est similaire à une étude de Kadiata et *al.* (2022), qui indique que les teneurs en sucres réducteurs diffèrent selon le sirop de céréales, affectant ainsi l'intensité de la couleur rouge (**Kadiata et al., 2022**). De plus, le sucre total varie en fonction des différents rapports de teneur en glucose et en fructose sous forme libre dans les sirops des céréales (Dubois, et *al.*, 1956), où le sirop d'avoine a la teneur la plus élevée en sucre simple, comme l'explique l'étude de Drake (1989) (**Drake, 1989**). C'est pourquoi nous avons obtenu la plus grande quantité de sucre total dans notre résultat (4,66 g/L). Quant au sirop de riz, nous avons obtenu 3,49 g/L, ce qui correspond à une étude de Mohan & Singh (2020) récente indiquant qu'elle contient 3 % de glucose et une petite quantité de fructose (**Mohan & Singh, 2020**).

Le rendement des sirops des céréales varie d'un échantillon à l'autre, de nombreuses études montrent que ces sirops contiennent des composants secondaires comme des protéines, des lipides et des minéraux (**Boursier, 2005**). Ce qui indique que nos sirops ne contenant pas seulement des sucres simples à 100 % mais d'autres composés avec des proportions différentes, et ça dû probablement au processus d'extraction (**Mohan & Singh, 2020**).

L'index glycémique des sirops des céréales utilisées (maïs, blé, riz, avoine) est élevé avec une légère différence, qui sont respectivement (99, 95, 91, 98), et cela revient à la présence des sucres simples (glucose et fructose) dont les proportions varient dans chaque sirop de céréale, qui sont rapidement absorbés dans le sang et provoquent un pic glycémique (**Foster-Powell, et al., 2002**).

La majorité des panels dit que le sirop de riz a une légère odeur de céréales, nos résultats prouvés par une étude qui montre que l'odeur de céréales provient des composés naturels des sirops de céréales (**Nijssen et al., 1996**).

## Discussion

---

Tous les participants observent que le sirop de riz a une couleur de 100 % blanc. Cette observation est similaire avec l'autre étude de Park et *al* (2012), qui montre que la blancheur du riz est liée au mode de blanchiment et à la température de stockage (**Park, et al., 2012**). La plupart des participants disent que le sirop de blé a une saveur de farine, ce qui est signifié par une étude qui montre que les protéines et amidons partiellement hydrolysés fournissent une saveur farineuse (**Wieser, H. 2007**).

La majorité des participants dit que le sirop d'avoine est apprécié pour ses arômes, sa texture et sa saveur. Cette préférence est prouvée par une étude de Bai et *al.* (2022) en montrant que les arômes doux et terreux résultant de la dégradation thermique des grains, les composants solubles contribuent à une texture délicate et les acides aminés amers ajoutent une légère amertume. La cuisson renforce les notes de noisette dans l'extrait d'avoine (**Bai, et al., 2022**).

La majorité des participants a dégusté le sirop de maïs et dit que sucré. Ce résultat est similaire à une étude qui montre que la saveur sucré en raison de sa haute teneur en fructose et glucose (**Singh et al., 2020**).

Les consommateurs remarquent que le sirop de maïs est visqueux, ce résultat est prouvé par une étude de Singh et *al.* (2020) qui dit que la viscosité du sirop de maïs dépend du nombre de molécules de glucides présentes, une viscosité plus épaisse contribuant à une texture douce, ce qui le rend utile en pâtisserie. La saveur de ce sirop, selon une étude, peut contenir du sodium comme exhausteur de goût (**Mohan & Singh, 2020**).

## ***6. Conclusion***

## Conclusion

---

À la lumière de nos résultats, les réponses sensorielles des participants indiquent que nos sirops sont différents d'une céréale à une autre. Le sirop de blé est le plus apprécié par la plupart des consommateurs, le sirop de riz est perçu le moins sucré, les sirops de blé et d'avoine associés à des arômes de céréales et de farine, et le sirop de maïs jugé de meilleure saveur. En ce qui concerne l'indice glycémique, tous les sirops utilisés ont un indice glycémique élevé avec de légères variations : 99 pour le sirop de maïs, 95 pour le sirop de blé, 98 pour le sirop d'avoine et 91 pour le sirop de riz. De plus, tous les sirops contiennent du sucre simple en quantités variables.

Enfin, nous pouvons conclure que le sirop de blé est probablement proposé comme une alternative plus intéressante parmi les autres sirops de céréales, dans lesquels il est préféré pour sa texture, sa couleur, son odeur, et aussi pour son index glycémique.

Pour les autres céréales, des modifications devraient être proposées pour optimiser les modes d'extraction, améliorer le goût, l'appréciation et l'indice glycémique.

## *7. Références bibliographiques*



## Références bibliographiques

---

- 1) Alatyrev, S. S., Alatyrev, A. S., Zaitsev, P. V., Bulatov, S. Y., Nechaev, V. N., Sizova, Y. V., et al. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality (Vol. 433(1)). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing.
- 2) Arzate, A. (2005). Extraction et raffinage du sucre de canne. Revue de l'ACER (Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture).
- 3) Asatkar, A. K., & Basak, R. K. (2023). Carbohydrate: Introduction and fundamentals. Elsevier.
- 4) Bai, X., Zhang, M., Zhang, Y., Guo, X., & Guo, R. (2022). Effects of Pretreatment on the Volatile Composition, Amino Acid, and Fatty Acid Content of Oat Bran. 11 (3) , *Foods*.
- 5) Benyoucef, B. (2018). La filiere sucre en Algerie dans le contexte de la mondialisation. (Vol. 21). Journal of Economic Sciences Institute.
- 6) Benzohra, B. (2015). Le processus de liberalisation de la filiere sucre en Algerie. Revue des Sciences Économiques de Gestion et de Commerce.
- 7) Boursier, B. (2005). Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. Ed. Techniques Ingénieur.
- 8) Brand-Miller, J. C. (2002). About Glycemic Index. T. U. Sydney. Récupéré sur <https://glycemicindex.com/about-gi/>. Accessed 1/4/22.
- 9) Cano, N., Barnoud, D., Schneider, S. M., Vasson, M. P., Hasselmann, M., & Lerverve, X. (2006). Traité de nutrition artificielle de l'adulte (éd. troisième).
- 10) Claustrioux, J. J., & Delvaux, A. (1992). Traitement statistique de données sensorielles. Faculté des Sciences Agronomiques.
- 11) Claustrioux, J.-J. (2001). Considérations sur l'analyse statistique de données sensorielles. BASE.
- 12) Davies, M. J., D'Alessio, D. A., Fradkin, J., Kernan, W. N., Mathieu, C., Mingrone, G., et al. (2018). Management of hyperglycaemia in type 2 diabetes, 2018. A consensus report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD) (Vol. 61). Diabetologia.

## Références bibliographiques

---

- 13) Dimitriadis, G. D., Kountouri, A., Maratou, E., Board, M., & Lambadiari, V. (2021). Regulation of postabsorptive and postprandial glucose metabolism by insulin-dependent and insulin-independent mechanisms: an integrative approach (Vol. 13(1)). *Nutrients*.
- 14) Drake, D. L. (1989). *Composition of foods: cereal grains and pasta: raw, processed, prepared*. US Department of Agriculture, Human Nutrition Information Service.
- 15) Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). *Colorimetric method for determination of sugars and related substances*. (Vol. 28(3)), p 350-356. *Analytical chemistry*.
- 16) Flandrin, J. L. *Histoire du sucre et du sucré Chronologie et géographie de la production*. (Vol. 7).8ème Colloque de l'Alliance.Paris .
- 17) Foster-Powell, K., Holt, S. H., & Brand-Miller, J. C. (2002). *International table of glycemic index and glycemic load values: 2002*. The American journal of clinical nutrition. (Vol.76 (1)), p 5-56.
- 18) Gemen, R., de Vries, J. F., & Slavin, J. L. (2011). *Relationship between molecular structure of cereal dietary fiber and health effects: focus on glucose/insulin response and gut health*. (vol. 69(1)), p. 22-33. *Nutrition reviews*.
- 19) Gilles, C. (2017). *Agriculture et alimentation durables - Trois enjeux dans la filière céréales*. Quae éditions.
- 20) Goyon, A., & Mestres, C. (2017). *Le riz: bénéfiques et risques pour la santé*. Cahiers de Nutrition et de Diététique, France.
- 21) Guy-Grand, B. (2008). *Les sucres dans l'alimentation : de quoi parle-t-on ?*(Vol. 43). Elsevier.
- 22) Higdon, J., Drake, V., Delage, B., & Liu, S. (2005). *Glycemic index and glycemic load*. Linus Pauling Institute, Corvallis, OR.
- 23) Holesh, J. E., Aslam, S., & Martin, A. (2023). *Physiology, carbohydrates*.

## Références bibliographiques

---

- 24) Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., et al. (1981). *Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange*. *The American journal of clinical nutrition*, 34 (3), 362-366.
- 25) Kadiata, M. M., Nkoseay, F. M., M'Rabet, N., & Laurent, P. (2022). *Étude phytochimique de quelques plantes alimentaires et médicinales utilisées dans la prévention et traitement du diabète de type-2 en République Démocratique du Congo*. Vol (5 (1)), p51-61. *Revue Africaine de Médecine et de Santé Publique*, 5 (1), 51-61.
- 26) Keller, A., Heitmann, B. L., & Olsen, N. (2015). *Sugar-sweetened beverages, vascular risk factors and events: a systematic literature review* (Vol. 18(7)). *Public Health Nutrition*.
- 27) Liu, S., & Willett, W. C. (2002). *Dietary glycemic load and atherothrombotic risk* (Vol. 4). Springer.
- 28) Livesey, G., Taylor, R., Livesey, H., & Liu, S. (2013). *Is there a dose-response relation of dietary glycemic load to risk of type 2 diabetes? Meta-analysis of prospective cohort studies* (Vol. 97). *The American journal of clinical nutrition*.
- 29) MacLeod, P., & Sauvageot, F. (1986). *Bases neurophysiologiques*. Paris: Lavoisier.
- 30) Mohan, N., & Singh, P. (2020). *Sugar and sugar derivatives: Changing consumer preferences*. Singapore: Springer.
- 31) Monro, J. A., & Shaw, M. (2008). *Glycemic impact, glycemic glucose equivalents, glycemic index, and glycemic load: definitions, distinctions, and implications*. (Vol. 87 (1)), p 237S-243S. *The American Journal of Clinical Nutrition*.
- 32) Nijssen, L. M., Visscher, C. A., Maarse, H., Willemsens, L. C., & Boelens, M. H. (1996). *Volatile Compounds in Food: Qualitative and Quantitative Data*. TNO Nutrition and Food Research Institute.
- 33) Park, C. E., Kim, Y. S., Park, K. J., & Kim, B. K. (2012). *Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures*. (Vol. 48), p 25-29. *Journal of stored products research*.
- 34) Roden, M., & Shulman, G. I. (2019). *The integrative biology of type 2 diabetes* (Vol. 576(7785)). *Nature*.

## Références bibliographiques

---

- 35) Saulnier, L. (2012). *Cereals grains: diversity and nutritional composition* (Vol. 47).
- 36) Seal, C. J., & Brownlee, I. A. (2015). *Whole-grain foods and chronic disease: evidence from epidemiological and intervention studies.*(Vol. 74(3)), p 313-319. Proceedings of the Nutrition Society.
- 37) Smith, N. R. (2021). *Cost-Effectiveness for Public Health Policymaking: The Case of Sugar-Sweetened Beverages.* The University of North Carolina at Chapel Hill.
- 38) Stratulat, S. (2023). *Le doux danger du sucre.*
- 39) Te Morenga, L., Mallard, S., & Mann, J. (2013). *Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies.*
- 40) Teyssandier, F. (2011). *Formulation et morphologies de mélanges de polymères Vthermoplastiques à base d'amidon.*INSA de Lyon.
- 41) Truswell, A. S. (2002). *Cereal grains and coronary heart disease.*(Vol. 56(1)), p 1-14. European journal of clinical nutrition.
- 42) Wieser, H. (2007). *Chemistry of gluten proteins.* (Vol. 24(2)),p 115-119. Food Microbiology.
- 43) Willett, W., Manson, J., & Liu, S. (2002). *Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes* (Vol. 76(1)). The American journal of clinical nutrition.
- 44) World Health Organization. (2015). *Guideline: sugars intake for adults and children.*Geneva: World Health Organization.

## ***8. Annexes***

## Annexes

---

### Annexe 1

#### Test Hédonique

Panel:

nom:

sex:Age:

<b>Echantillons</b>	<b>Appréciation</b>		<b>Commentaires</b>
<b>A</b>	1- <input type="checkbox"/>	2- <input type="checkbox"/>	
	3- <input type="checkbox"/>	4- <input type="checkbox"/>	
<b>B</b>	1- <input type="checkbox"/>	2- <input type="checkbox"/>	
	3- <input type="checkbox"/>	4- <input type="checkbox"/>	
<b>C</b>	1- <input type="checkbox"/>	2- <input type="checkbox"/>	
	3- <input type="checkbox"/>	4- <input type="checkbox"/>	
<b>D</b>	1- <input type="checkbox"/>	2- <input type="checkbox"/>	
	3- <input type="checkbox"/>	4- <input type="checkbox"/>	

**Appréciation** => 1-Non apprécier /2-Acceptable 3-Bon/ 4-Trop bon.

### Annexe 2

#### Teste par paire

<b>Echantillons</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Saveur		
Texture		
Couleur		
Odeur		

<b>Echantillons</b>	<b>D</b>	<b>C</b>
Saveur		
Texture		
Couleur		
Odeur		

Annexe 3

Test descriptif

Panel:

nom:

sex:

Age:

Echantillons	L'aspect	Critères	Commentaires
<b>A</b>	<b>1-Texture</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
	<b>2-Odeur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>3-Saveur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>4-Couleur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
<b>B</b>	<b>1-Texture</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
	<b>2-Odeur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>3-Saveur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>4-Couleur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
<b>C</b>	<b>1-Texture</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
	<b>2-Odeur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>3-Saveur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>4-Couleur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
<b>D</b>	<b>1-Texture</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	
	<b>2-Odeur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>3-Saveur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/>	
	<b>4-Couleur</b>	1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> 4- <input type="checkbox"/>	

**Critères :**

**1-Texture :** 1-collant, 2-fondant, 3-farineux, 4-visqueux.

**2-Odeur :** 1- arôme de farine ,2-Arôme de céréales ,3-Alimentaires.

**3-Saveur :** 1- sucré ,2- non sucré, 3- gout de malt.

**4-Couleur :** 1- Intensité de la couleur ,2- Teinte, 3- Présence de sédiments, 4- Brillance.

### Annexe 4

#### Test statistique binomiale

##### Comparaison de deux pourcentages observés

Soit un pourcentage PA observé sur un échantillon nA et un pourcentage PB observé sur un échantillon nB.

Calculer la différence absolue entre les deux pourcentages :  $|PA - PB|$

Calculer l'écart-type s des deux pourcentages :  $s = \sqrt{PQ/nA + PQ/nB}$

P et Q : Proportions estimés sur l'ensemble de deux échantillons  $P = \frac{x_A + x_B}{n_A + n_B}$

Calculer l'écart-réduit z :  $z = \frac{|PA - PB|}{s}$

$$z = \frac{|PA - PB|}{\sqrt{PQ/nA + PQ/nB}}$$

Si  $z \geq 1,96$ , Différence statistiquement significative

Si  $z < 1,96$ , Différence statistiquement non significative

Conditions d'application :  $n_{AP}, n_{AQ}, n_{BP}$  et  $n_{BQ} \geq 5$

**Exemple** : On sélectionne deux groupes de 63 et de 63 sujets qui reçoivent respectivement deux traitements A et B.

Les pourcentages de succès respectifs sont de 25 % et de 12 %.

$PA=0,25, PB=0,12, nA=63, nB=63$

Calcul de la différence absolue entre les deux pourcentages

$$|PA - PB| = |0,25 - 0,12| = 0,13$$

Calcul des proportions estimées P et Q

$$P = \frac{x_A + x_B}{n_A + n_B}$$

$$x_A = p_A \times n_A = 0,25 \times 63 = 15,75$$



## Annexes

---

$$x_B = p_B \times n_B = 0.12 \times 63 = 7.56$$

$$P = \frac{15.75 + 7.56}{63 + 63} = 23.31126 \approx 0.185$$

$$Q = 1 - P = 1 - 0.185 = 0.815$$

Calcul de l'écart-type  $s$

$$s = \sqrt{\frac{PQ}{n_A} + \frac{PQ}{n_B}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0.185 \times 0.815}{63} + \frac{0.185 \times 0.815}{63}}$$

calcul chaque partie :

$$PQ = 0.185 \times 0.815 \approx 0.150775$$

$$PQ = 0.185 \times 0.815 \approx 0.150775$$

$$\frac{PQ}{n_A} = 0.15077563 \approx 0.002392$$

$$\frac{PQ}{n_B} = 0.15077563 \approx 0.002392$$

$$S = \sqrt{0.002392 + 0.002392} \approx \sqrt{0.004784} \approx 0.069$$

Calcul de l'écart-réduit  $z$

$$z = \frac{|p_A - p_B|}{s}$$

$$z = \frac{0.13}{0.069} \approx 1.884$$

Puisque  $z = 1.884$  est inférieur à 1.96, la différence entre les pourcentages  $p_A = 0.25$  et  $p_B = 0.12$  avec des échantillons de taille 63 n'est pas statistiquement significative.