

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira-BEJAIA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie
Spécialité : Microbiologie Appliquée



Réf :

Mémoire de fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

Master

Thème

Fabrication de Dessert glacé à Base d'Ingrédients Naturels

Présenté par :

DJOUADI Lydia et **ZERROUKI Sara**

Soutenu le 18-09-2025

Devant le jury composé de :

Pr. BENDALI Farida

Pr. DJINNI Ibtissem

Dr. ADEL Khadîdja

Grade

Pr

Pr

MAB

Présidente

Examinatrice

Promotrice

Année universitaire : 2024/2025

Dédicace

Par la grâce d'Allah, ce mémoire marque l'aboutissement d'un chemin académique rempli de défis, de patience et de persévérance.

Je remercie Allah, source de force et de sagesse, qui m'a guidé à chaque étape.

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, ma mère et mon père, pour leur amour infini, leurs sacrifices silencieux et leur soutien inconditionnel. Leur confiance en moi, leurs prières et leur présence ont été les piliers de tout ce parcours. Sans eux, je n'aurais jamais trouvé la force d'aller jusqu'au bout.

À ma sœur, pour sa présence et ses encouragements sincères.

À mes frères, ma source de joie et de rire, qui ont su alléger les moments de stress par leur énergie et leur complicité.

À mes neveux, pour leur tendresse et les instants de bonheur qu'ils m'ont offerts sans le savoir.

À ma famille et à mes amies, pour leur bienveillance, leur écoute et leur soutien tout au long de cette aventure.

À ma binôme Lydia, pour cette merveilleuse collaboration, son sérieux et les efforts partagés dans ce travail.

Et enfin, à moi-même. Pour ma patience dans les moments de doute, pour mon courage face aux obstacles, et pour ne pas avoir lâché, même quand le chemin semblait trop long.

Sara

Dédicace

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-puissant, pour sa bénédiction, sa miséricorde et la force qu'il m'a accordé pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce travail à :

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leurs sacrifices.

À ma famille, qui a toujours été un soutien indéfectible tout au long de mes études.

À mes sœurs, pour leur présence constante, leur compassion et leurs encouragements qui m'ont donné la force de continuer.

À mes chères amies, qui ont partagé avec moi les moments de joie, de stress et de doute, et qui m'ont apporté leur soutien moral et leur motivation quand j'en avais le plus besoin.

À ma binôme Sara, pour cette merveilleuse collaboration, sa patience, son engagement et son soutien moral.

Et enfin, à moi-même, pour avoir cru en mes capacités, pour n'avoir jamais abandonné malgré les difficultés, et pour avoir persévéré avec courage et détermination jusqu'au bout.

Lydia

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH**, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la volonté, la patience, le savoir et le courage pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice, **Mme ADEL Khadîdja**, de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail, pour son suivi rigoureux, ses encouragements, ses conseils précieux et sa contribution essentielle à sa réalisation.*

*Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury, **Mmes BENDALI Farida** et **DJINNI Ibtissem**, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, ainsi que pour leurs observations et suggestions enrichissantes.*

*Nous souhaitons également adresser nos remerciements au personnel du laboratoire de recherche **3BS**, qui a facilité le déroulement de nos recherches.*

*Nous remercions aussi toute l'équipe professorale et administrative de **la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie** pour leur accompagnement tout au long de notre parcours.*

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Introduction 1

Synthèse bibliographique

I- Généralités sur les desserts glacés 3

I-1- Définition 3

I-2- Principaux types classiques de desserts glacés 3

I-2-1- Sorbet 3

I-2-2- Lait glacé 3

I-2-3- Crème glacée 3

I-2-4- Yaourt glacé 3

I-3- Composants des desserts glacés 4

I-4- Processus de fabrication des sorbets 5

I-4-1-Préparation du mix 6

I-4-2- Pré-congélation du mix 7

I-4-3- Conditionnement et surgélation 7

I-4-4- Stockage 7

II- Généralités sur les laits végétaux 8

II-1-Définition 8

II-2- Types de laits végétaux 8

II-2-1-Exemples de laits végétaux 8

II-3- Avantages et inconvénients des laits végétaux 9

II-3-1-Avantages 9

II-3-2-Inconvénients 10

II-4- Différence entre le lait de vache et le lait végétal 11

Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes

I- Matériel et Méthodes.....	12
I- 1- Objectifs	12
I-2- Formulation du sorbet	12
I-3-Analyse des desserts glacés élaborés.....	14
I-3-1- Contrôle de la qualité microbiologique.....	14
I-3-2- Analyses physicochimiques	16
I-3-3- Analyses sensorielle.....	19
I-3-4- Analyse statistique.....	20

Résultats et Discussion

II-Résultats et discussion	21
II-1- Contrôle microbiologique des desserts glacés élaborés	21
II-1-1- Stabilité microbiologique	22
II-2- Contrôle des paramètres physico-chimiques.....	22
II-2-1- pH	22
II-2-2-Acidité titrable	23
II-2-3-Teneur en matière sèche.....	23
II-2-4- Extrait sec soluble (°Brix).....	24
II-2-5- Viscosité (Pa·s)	24
II-2-6- Densité réelle.....	24
II-2-7- Taux de foisonnement (%).....	25
II-2-8-Densité apparente	25
I-2-9- Temps de fusion.....	26
II-2-10- Couleur	26
Synthèse visuelle	27
II-3-Analyse sensorielle.....	28
III.3.1. Caractérisation du produit	28
III.3.2. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)	31
Conclusion.....	37

Références bibliographiques

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composantes Principales.

ANOVA : Analyse de Variance.

a* : Axe vert-rouge (paramètre colorimétrique).

°Brix : Degré Brix (teneur en solides solubles).

b* : Axe bleu-jaune (paramètre colorimétrique).

3BS : Laboratoire Biomathématiques Biophysique Biochimie et de Scientométrie.

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.

C* (Chroma) : Saturation de la couleur.

EPT : Eau Peptonée Tamponnée.

HM : Haut degré de Méthoxylation (pectine).

ISO : Organisation internationale de normalisation.

JORA : Journal officiel de la république Algérienne.

LM : Bas degré de Méthoxylation (pectine).

L* : Luminosité (paramètre colorimétrique CIELAB).

MS : Matière Sèche.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

PCA : Plate Count Agar.

pH : Potentiel Hydrogène.

RVS : Rappaport Vassiliadis soja (bouillon d'enrichissement).

TF : Taux de Foisonnement.

UFC/g : Unité formant colonie par gramme.

VRBG : Violet Red Bile Glucose Agar (milieu de culture).

α° (Hue angle) : Angle de teinte.

Liste des figures

Figure 1. Schéma représentatif des différentes étapes de fabrication des sorbets industriels.	6
Figure 2. Schéma récapitulatif du processus de fabrication des sorbets	14
Figure 3. Évaluation sensorielle des échantillons de sorbet élaborés.....	20
Figure 4. Résultats du pH et de l'acidité titrable.....	23
Figure 5. Résultat de la densité réelle et de la densité apparente des échantillons.....	26
Figure 6. Pouvoir discriminant par descripteur des produits préparés.	29
Figure 7. Coefficients des modèles des échantillons codés A, B, C, et D.....	30
Figure 8. Analyse en composantes principales des produits préparés.....	31
Figure 9. Classification ascendante hiérarchique des échantillons.	32
Figure 10. Courbe de niveau et carte des préférences des produits.....	33

Liste des tableaux

Tableau I. Composants des desserts glacés	4
Tableau II. Composition nutritionnelle des laits végétaux utilisés.	13
Tableau III. Liste des ingrédients utilisés pour la fabrication du sorbet.	13
Tableau IV. Analyse microbiologique du dessert glacé selon JORA(2017)	15
Tableau VII. Données colorimétriques des quatre sorbets élaborés	26
Tableau VIII: Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet.	33

Liste des Annexes

Annexe I. Matériel utilisé

Annexe II. Appareillages utilisés

Annexe III. Composition des milieux de culture utilisés

Annexe IV. Préparation des laits végétaux

Annexe V. Questionnaire d'analyse sensorielle

Liste des figures des Annexes

Figure 1. Bras mixeur (Brandt).

Figure 2. Bain Marie (Memmert).

Figure 3. Bec Bunsen (OMM).

Figure 4. Spectromètre (SHIMADZU).

Figure 5. Incubateur microbiologique (Memmert).

Figure 6. Plaque chauffante agitatrice

Figure 7. Réfractomètre (ATAGO PAL-1, Japan).

Figure 8. pH-mètre (HANNA, États-Unis).

Figure 9. Balance (Ming Heng Digital Scale, Chine)

Figure 10. Balance (RADWAG, Japan).

Figure 11. Burette de titrage.

Figure 12. Etuve.

Figure 13. Thermomètre numérique (WT-1).

Figure 14. Vortex (I Swix).

Figure 15. Viscosimètre (Chine).

Figure 16. Microonde.

Figure 17. Réfrigérateur (SAMSUNG).

Figure 18. Hachoir (Moulinex).

Figure 19. Autoclave (NUVE, Turquie).

Figure 20. Pycnomètre.

Figure 21. Préparation des laits végétaux.

Introduction

Introduction

De nos jours, la demande d'aliments sains ne cesse d'augmenter. Les consommateurs ont besoin de produits qui peuvent fournir de bons nutriments, peu de calories, beaucoup de fibres et donner une sensation de satisfaction et de bien-être (**Zakaria *et al.*, 2019**). Cette évolution s'explique en grande partie par les changements dans les modes de vie, les préoccupations liées à la santé, et l'amélioration du niveau de vie (**Arslaner et Salik, 2020**).

Les desserts glacés sont consommés depuis longtemps. Cependant, ils ne sont pas encore considérés comme des produits sains en raison de leur apport calorique élevé, de leur teneur en matières grasses et en sucre (**Zakaria *et al.*, 2019**). Ils désignent généralement tous les types de desserts destinés à être consommés congelés, notamment les glaces, les sorbets, les yaourts glacés et les desserts glacés sans produits laitiers (**Szydłowska *et al.*, 2024**).

Le marché mondial des desserts glacés connaît actuellement une évolution remarquable, principalement due au changement des préférences des consommateurs, qui s'orientent vers des produits plus sains. Cela a entraîné une demande croissante pour des options pauvres en matières grasses, en sucre et sans produits laitiers (**Akalin *et al.*, 2024**).

Le lait et les ingrédients laitiers sont des sources importantes pour la préparation de desserts glacés. Cependant, l'allergie au lait de vache, l'intolérance au lactose ainsi que le végétarisme et le véganisme limitent la consommation de ces produits (**Legassa, 2020**). Face à ces contraintes, un nombre croissant de consommateurs choisit des aliments d'origine végétale, notamment des substituts du lait, et des desserts congelés fabriqués à partir d'une variété de céréales, de légumineuses, de fruits à coque, de graines et de fruits (**Craig et Brothers, 2022**).

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est la conception de sorbets innovants et diététiques (c'est-à-dire sans ajout de sucre, d'arômes ni de colorants artificiels) à base de produits naturels tels que les laits végétaux et les fruits secs, tout en étudiant la stabilité microbiologique et les propriétés physicochimiques et sensorielles de ces produits. Une attention particulière a été portée à l'utilisation du lait issu des graines de pin d'Alep comme ingrédient de base pour toutes les variantes développées. Ce choix repose sur la richesse

nutritionnelle et la rareté de ce lait végétal sur le marché, qui représente une innovation majeure dans la formulation de desserts glacés. Cette démarche vise à valoriser un produit local peu exploité et à proposer une alternative durable et originale aux laits végétaux classiques.

Afin d'atteindre cet objectif, ce mémoire est structuré comme suit :

- Une première partie consacrée à une revue bibliographique présentant les généralités sur les desserts glacés, les laits végétaux et le processus de fabrication des sorbets.
- Une deuxième partie expérimentale comprenant :
 - La présentation du matériel et des méthodes d'analyse ainsi que la préparation des produits.
 - La caractérisation physico-chimique, organoleptique et microbiologique des produits finis élaborés.
 - L'interprétation et la discussion des résultats obtenus.
- Enfin, une conclusion générale et perspectives.

Synthèse Bibliographique

I- Généralités sur les desserts glacés

I-1- Définition

Le terme « dessert glacé » désigne un ensemble de produits élaborés avec ou sans composants laitiers (par exemple la matière grasse du lait, le lactose ou les protéines de lactosérum), congelés sous agitation et consommés à l'état congelé. Parmi les exemples les plus courants figurent les crèmes glacées, les gelatos, les flans glacés, les versions allégées ou sans sucre, les sorbets, les glaces à la machine et les yaourts glacés (**Alvi et Martinez-Monteagudo, 2024**).

I-2- Principaux types classiques de desserts glacés

I-2-1- Sorbet

Le sorbet est un produit glacé obtenu par congélation d'un mélange principalement composé d'eau, de sucres et de jus ou purées de fruits (**Codex Alimentarius, 2003**).

I-2-2- Lait glacé

Le lait glacé est un produit congelé obtenu par congélation d'un mélange à base de lait ou produits laitiers, avec ou sans sucres, arômes, stabilisants. Il peut contenir des matières grasses ou partiellement écrémées (**Codex Alimentarius, 2003**).

I-2-3- Crème glacée

La crème glacée est un produit alimentaire congelé, obtenu par congélation d'un mélange pasteurisé principalement composé de lait ou de produits laitiers, de matières grasses laitières, de sucres et d'ingrédients alimentaires autorisés. Ce mélange peut également contenir de l'air incorporé (foisonnement), ainsi que des arômes, colorants, stabilisants et émulsifiants (**FAO, 2023**).

I-2-4- Yaourt glacé

Le yaourt glacé est un produit congelé à partir d'un lait fermenté contenant des bactéries spécifiques (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), auquel peuvent être ajoutés des édulcorants, des fruits, des arômes, des stabilisants ou des émulsifiants autorisés (**Codex Alimentarius, 2003**).

I-3- Composants des desserts glacés

Le tableau ci-dessous présente les principaux composants entrant dans la composition des desserts glacés.

Tableau I. Composants des desserts glacés

Composants	Descriptions	Rôles
Eau	Liquide indispensable dans la composition des desserts glacés (Boutonnier, 2001) .	<ul style="list-style-type: none"> • Solubilise l'extrait sec dégraissé lactique et le sucre. • Favorise l'émulsification de la matière grasse. • Contribue à la stabilisation de la structure physico-chimique complexe des glaces (Boutonnier, 2001).
Air	L'air, constitue un élément essentiel dans la composition des glaces (Kettani, 2022) .	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser le taux de foisonnement du produit tout en réduisant la taille des cristaux de glace et des bulles d'air. • Confère une meilleure résistance à la fonte lors d'une élévation de température. • Allège la valeur énergétique de la glace (Kettani, 2022).
Lait et ses dérivés	Une source importante de matières grasses laitières ainsi que de matières sèches dégraissées du lait, qui regroupent les protéines, le lactose et les minéraux (Ng et al., 2024) .	<ul style="list-style-type: none"> • Protéines : Stabilisent le mix lors de l'incorporation de l'air, et contribuent à la formation des membranes de globules gras. • Lactose : Abaisse le point de congélation de l'eau tout en empêchant sa gélification partielle. • Minéraux : Affecte la stabilité des protéines, l'agglomération des matières grasses, et renforcent la valeur nutritionnelle du produit (Ng et al., 2024)
Matière grasse	La matière grasse est présente dans les desserts glacés sous forme de matière grasse d'origine laitière, et d'origine végétale dans certaines formulations (Kettani, 2022) .	<ul style="list-style-type: none"> • Sert à stabiliser la mousse et les bulles d'air. • Réduire la vitesse de foisonnement. • Améliorer la texture et la flaveur du produit fini (Kettani, 2022).
Sucre	Substance ajoutée sous forme liquide ou solide (Abbas Syed, 2018) .	<ul style="list-style-type: none"> • Rehausse et améliore le goût, la saveur et la texture. • Adoucit le produit (Abbas Syed, 2018). • Influence la stabilité thermique et la vitesse de fonte (Kettani, 2022)

Emulsifiants	Petites molécules tensio-actives généralement associées aux stabilisants dans les mélanges dont la fonction est très différente (Tekin et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Donner à la glace une texture et une consistance plus lisses. • Réduire la sensation de sécheresse. • Améliorer la capacité de foisonnement du mélange (Tekin et al., 2017).
Stabilisants	Les stabilisants sont un groupe de biopolymères hydrosolubles utilisés en petites quantités (Jana et al., 2016).	<ul style="list-style-type: none"> • Favorisent la rétention d'eau et la stabilité du produit • Confèrent une meilleure résistance à la fonte. • Empêchent la formation de cristaux de glace pendant le stockage et assurent une texture uniforme du produit (Deosarkar et al., 2016).
Arômes	Les arômes sont choisis en fonction des préférences des consommateurs. Il peut s'agir d'arômes naturels ou synthétiques (Legassa, 2020).	<ul style="list-style-type: none"> • Garantissent l'uniformité des saveurs dans le mélange. • Confèrent des goûts caractéristiques au produit (Deosarkar et al., 2016).
Colorants	La plupart sont d'origine chimique et peuvent être disponibles sous forme liquide ou en poudre (Legassa, 2020).	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter une couleur délicate et attrayante facilement associée à l'arôme (Deosarkar et al., 2016).
Fruits et dérivés	Les préparations de fruits spécialement conçues pour la fabrication de glaces peuvent se présenter sous forme réfrigérée surgelée, déshydratée ou lyophilisée (Boutonnier, 2001)	Les fruits et leurs dérivés apportent des morceaux visibles et renforcent l'attrait du produit pour le consommateur (Boutonnier, 2001).

I-4- Processus de fabrication des sorbets

Le procédé de fabrication des sorbets se compose généralement de trois grandes étapes : la préparation du mix, sa transformation en sorbet lors de la pré-congélation, puis les phases finales comprenant le conditionnement, la surgélation et le stockage (**Figure 1**) (**Masselot, 2020**).

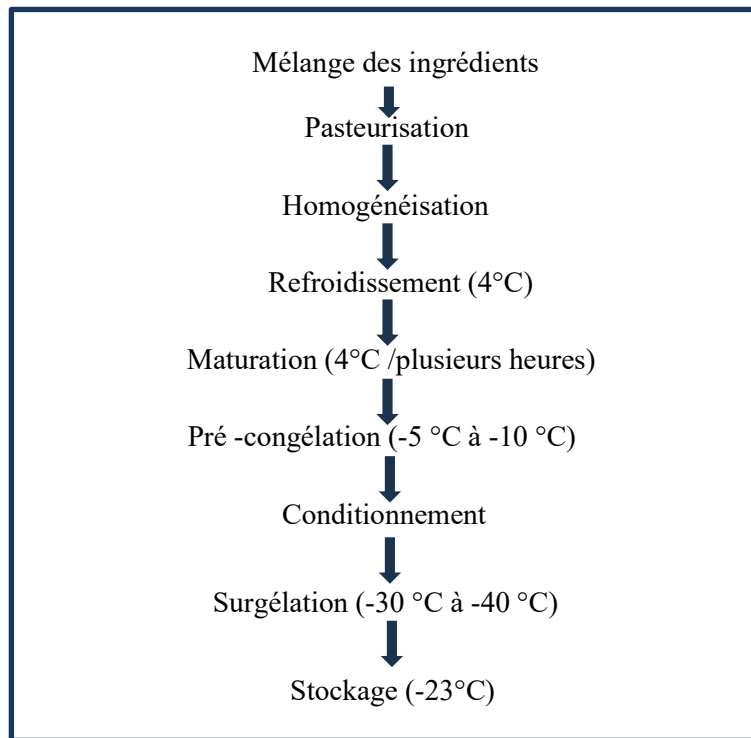


Figure 1. Schéma représentatif des différentes étapes de fabrication des sorbets industriels (Masselot, 2020).

I-4-1-Préparation du mix

a) I-4-1-1 Mélange des ingrédients

Les ingrédients (eau, jus de fruits, sucres, stabilisants, etc.) sont mélangés dans un réservoir équipé d'un système d'agitation et d'un dispositif de chauffage. Les ingrédients liquides sont introduits en premier. Les ingrédients secs sont préalablement mélangés, puis ajoutés progressivement à la solution sous agitation. Cela permet une bonne dispersion des stabilisants, dont la solubilisation peut être délicate. Ils peuvent également être dispersés dans un sirop de sucre (Masselot, 2020).

b) Pasteurisation

Le mix passe ensuite par une étape de pasteurisation, destinée à éliminer les éventuels microorganismes pathogènes et à prolonger sa durée de conservation (Masselot, 2020). Cette étape est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire des consommateurs et facilite également la dispersion et la dissolution des ingrédients secs (Dudez, 2017).

c) Homogénéisation

Le mélange de sorbet est ensuite soumis à une homogénéisation sous pression et agitation pour assurer une dispersion uniforme des ingrédients (Masselot, 2020).

d) Refroidissement

Le refroidissement du mix doit être effectué rapidement jusqu'à 4 °C afin d'éviter les interactions de goût indésirables et la prolifération de microorganismes. Il est ensuite maintenu à cette température pendant plusieurs heures lors de l'étape de maturation (**Goff et al., 2003**). Les ingrédients sensibles à la chaleur, tels que les arômes, les colorants ou les purées de fruits, peuvent être ajoutés à ce stade. La maturation permet l'expansion des polymères stabilisants en solution, assurant ainsi leur solubilisation complète (**Masselot, 2020**).

I-4-2- Pré-congélation du mix

La pré-congélation du mix ou glaçage représente une étape cruciale dans la fabrication des sorbets, réalisée dans un échangeur de chaleur à surface raclée. Durant cette étape, deux phénomènes essentiels se produisent. L'incorporation de l'air sous forme de bulles (foisonnement) et une partie de l'eau contenue dans le mix change d'état pour former la phase glace (nucléation), entraînant la formation des cristaux de glace. En conséquence, la solution résiduelle non congelée devient environ deux fois plus concentrée en sucres et en stabilisants que le mix initial (**Masselot, 2020**).

I-4-3- Conditionnement et surgélation

Après la pré-congélation, le sorbet est conditionné, puis soumis à une phase de durcissement ou de congélation finale dans un tunnel de surgélation, où la température varie entre -30 °C et -40 °C, afin d'atteindre une température à cœur d'environ -20 °C. Durant cette étape, les cristaux de glace continuent de croître tandis que le produit se refroidit progressivement pour atteindre la texture et la température souhaitées. À la fin du durcissement, environ 80 % de l'eau initialement présente dans le mix est solidifiée. Quant aux bulles d'air, elles peuvent subir des phénomènes de coalescence (**Masselot, 2020**).

I-4-4- Stockage

Le sorbet est ensuite stocké à une température de -23 °C, qui doit être rigoureusement maintenue tout au long de la chaîne du froid. Toute élévation de température pourrait altérer la qualité finale du produit. En effet, les variations thermiques peuvent entraîner une fusion partielle suivie d'une recristallisation, conduisant à la formation de cristaux de glace plus gros durant le stockage (**Masselot, 2020**).

II- Généralités sur les laits végétaux

II-1-Définition

Les laits végétaux, ou "plant milks", sont obtenus par extraction aqueuse de matières végétales telles que les pseudo-céréales, oléagineux, tubercules, céréales ou légumineuses. Présentés sous forme de suspensions ou d'émulsions colloïdales, leurs propriétés varient selon la source utilisée. Ces boissons imitent le lait de vache par leur texture, leur apparence et leur apport en protéines et calories. Bien qu'elles soient souvent moins riches en nutriments que le lait animal, elles sont enrichies en phytonutriments bénéfiques, ce qui les classe parmi les aliments fonctionnels (**Kehinde et al., 2020**).

II-2- Types de laits végétaux

Une classification générale des alternatives laitières à base de plantes ou de végétaux en cinq catégories est proposée comme suit : (**Sethi et al., 2016**).

- À base de céréales : Tels que le lait d'avoine, lait de riz, lait de maïs, lait d'épeautre.
- À base de légumineuses : Comme le lait de soja, lait d'arachide, lait de lupin, lait de niébé.
- À base de noix : le lait d'amande, lait de coco, lait de noisette, lait de pistache, lait de noix.
- À base de graines : Par exemple le lait de sésame, lait de lin, lait de chanvre, lait de tournesol.
- A base de pseudo-céréales : tel que le lait de Quinoa, lait de Teff, lait d'amarante.

II-2-1-Exemples de laits végétaux

a) Lait de pin d'Alep

Le lait de pin d'Alep est une boisson végétale produite à partir des graines de *Pinus halepensis*, reconnues pour leur richesse nutritionnelle. Ces graines, disponibles dans toute la région méditerranéenne, contiennent environ 5,6 % de sucres, 26,6 % de protéines et 36,7 % de lipides, incluant des acides gras essentiels. Selon **Abbou et al., (2021)**, elles constituent une excellente matière première pour la production d'alternatives végétales au lait animal, grâce à leur composition équilibrée et à leur disponibilité (**Abbou et al., 2025**).

b) Lait d'amande

Le lait d'amande est une boisson végétale légère, douce et peu calorique. Il est riche en vitamine E mais pauvre en protéines. Afin de mieux concurrencer le lait animal, il est souvent enrichi en calcium et en vitamines D et B12. Ses acides gras monoinsaturés, notamment l'acide oléique, sont reconnus pour leurs bienfaits sur la santé cardiovasculaire. De plus, les amandes offrent un équilibre intéressant entre protéines, graisses, fibres, antioxydants et minéraux (**Iorio et al., 2019**).

c) Lait de soja

Le lait de soja est l'une des boissons végétales les plus consommées, particulièrement en Asie. Il se distingue par sa richesse en protéines, en acides gras insaturés, en minéraux, en vitamines et en isoflavones. Grâce à cette composition, il est considéré comme l'alternative la plus proche du lait de vache sur le plan nutritionnel (**Mu et al., 2022**).

d) Lait de coco

Le lait de coco est obtenu à partir de la pulpe blanche de la noix de coco, généralement en pressant ou en transformant la chair râpée, avec ou sans ajout d'eau (**Wang et al., 2020**). Il est souvent préparé à partir de noix jeunes ou vertes à la chair tendre et se caractérise par son arôme unique, très apprécié par les consommateurs. Riche en protéines végétales et en nutriments essentiels, il présente plusieurs bienfaits pour la santé, notamment en renforçant le système immunitaire (**Addou et al., 2015**).

e) Lait d'avoine

Le lait d'avoine est une boisson végétale douce et légèrement sucrée, reconnue pour sa richesse en fibres, en particulier les fibres solubles et les bêta-glucanes. Ces fibres contribuent à une alimentation équilibrée, favorisent la digestion et aident à réduire le taux de cholestérol. Cependant, il contient généralement moins de protéines, de vitamines et de minéraux que le lait de vache (**Sunidhi et al., 2021**).

II-3- Avantages et inconvénients des laits végétaux

II-3-1-Avantages

Les laits végétaux sont des boissons aux caractéristiques nutritionnelles intéressantes, offrant plusieurs bénéfices pour la santé. Ils sont naturellement exempts de cholestérol et

contiennent des phytostérols, des composés reconnus pour leur effet hypocholestérolémiant, contribuant ainsi à la santé cardiovasculaire. Contrairement au lait de vache, ils apportent également des fibres alimentaires, favorisant une bonne digestion et une meilleure régulation du transit intestinal. De plus, la plupart des laits végétaux disponibles sur le marché sont enrichis en vitamines (B12 et D) et minéraux (calcium, fer) afin de compenser certaines carences possibles dans l'alimentation végétarienne ou végétane (**Gobbi *et al.*, 2019**).

La popularité de ces substituts s'explique aussi par leurs bénéfices pour les personnes souffrant d'intolérance au lactose, d'allergie aux protéines du lait de vache ou d'hypercholestérolémie, qui les rendent plus digestes et adaptés à différents régimes. Certains laits végétaux, comme le lait de soja ou d'amande, apportent des protéines et des acides gras insaturés bénéfiques pour le système cardiovasculaire. Enfin, ils répondent à une tendance croissante de consommation durable et éthique, en réduisant l'impact environnemental comparé à la production laitière animale (**Aydar *et al.*, 2020**).

II-3-2-Inconvénients

Malgré leurs nombreux bénéfices, les laits végétaux présentent certains inconvénients nutritionnels et technologiques. L'un des principaux points faibles concerne leur faible teneur en protéines, à l'exception du lait de soja, qui offre une teneur en protéines comparable, la majorité des boissons végétales ne couvre pas les besoins en acides aminés essentiels (**Rincon *et al.*, 2020**).

En plus, ces laits sont souvent moins riches en calcium, en fer et en vitamines que le lait animal, sauf lorsqu'ils sont enrichis artificiellement. Cette carence peut représenter un risque pour certaines populations, notamment les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées. De plus, certains laits végétaux peuvent contenir des allergènes courants tels que le soja et les amandes (**Abbou *et al.*, 2025**).

L'ajout d'additifs (édulcorants, gommés stabilisants, arômes) et de sucres dans certaines formulations industrielles afin d'améliorer le goût, la texture et la conservation peut diminuer la valeur nutritionnelle globale et augmenter l'apport calorique de la boisson, ce qui n'est pas toujours souhaitable dans un régime équilibré. Enfin, sur le plan environnemental, certains laits (comme l'amande) nécessitent une grande quantité d'eau pour leur production, ce qui soulève des interrogations sur la durabilité de leur filière (**Rincon *et al.*, 2020**).

II-4- Différence entre le lait de vache et le lait végétal

Le lait de vache est un élément essentiel de l'alimentation humaine, contenant plusieurs nutriments importants tels que le calcium, les protéines et les vitamines (A, B2 et B12). Cependant, la production laitière a un impact environnemental considérable, notamment par la dégradation des sols, la pollution de l'air et de l'eau, et la perte de la biodiversité. L'émergence croissante de l'intolérance au lactose, des allergies au lait, des préoccupations environnementales et des problèmes dus à des régimes alimentaires riches en cholestérol a entraîné une demande croissante d'alternatives aux produits laitiers ; le lait végétal est souvent présenté comme une alternative saine, durable et respectueuse du bien-être animal. Les consommateurs de lait végétal estiment qu'il est bien plus digeste et ne provoque pas d'allergies, tandis que les consommateurs de lait de vache sont motivés par son origine, son goût, sa qualité nutritive et son rôle dans le soutien aux petits producteurs (Haas *et al.*, 2019).

Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes

I- Matériel et Méthodes

I- 1- Objectifs

Notre travail a pour objectif la mise au point d'un dessert glacé innovant « sorbet » à base de laits végétaux, ainsi que l'étude de ses caractéristiques microbiologiques, physicochimiques et sensorielles.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire 3BS de l'université Abderrahmane Mira Bejaïa, durant une période d'un mois et demi (Mai-juillet).

Au cours de notre étude, nous avons testé plusieurs recettes jusqu'à parvenir à une formule satisfaisante et conforme à nos attentes.

Les ingrédients utilisés dans la formulation du sorbet, notamment les graines de pin d'Alep, la caroube, la noix de coco, l'amande et le sirop de dattes, ont été achetés auprès d'herboristes situés dans la wilaya de Béjaïa.

Les appareillages, les milieux de culture et leurs compositions ainsi que le matériel utilisé sont présentés dans les **Annexes I, II et III**.

I-2- Formulation du sorbet

Les étapes de préparation de nos formulations ont été réalisées à domicile, dans des conditions d'hygiène rigoureuses, en raison de l'indisponibilité de certains équipements au laboratoire, y compris la fabrication des laits végétaux, dont le procédé est détaillé en **Annexe IV**.

Notre choix s'est porté sur quatre laits végétaux différents, pour la fabrication de nos sorbets innovants. Leurs compositions nutritionnelles sont représentées sur le **tableau II**.

Tableau II. Composition nutritionnelle des laits végétaux utilisés.

Lait Végétal	Fibres	Minéraux et Vitamines	Glucides	Lipides	Protéines	Référence
Lait de graines de Pin d'Alep	Moyenne quantité de fibres solubles et insolubles	Riche en magnésium, zinc, vitamine E, fer.	Moyen	Élevé (présence d'huiles)	Bon apport en acides aminés	(Abbou et al., 2025)
Lait de Cocco	Faible	Fer. Potassium Magnésium.	Modéré	Élevé en acides gras saturés	Faible	(Karunasiri et al., 2020)
Lait d'amande	Faible à modéré	Calcium (si enrichi), magnésium, vitamine E.	Faible	Faible à modéré (gras insaturés)	Faible	(Craig et Fresán, 2021)
Lait de caroube	Riche en fibres (solubles)	Calcium, potassium, fer.	Élevé en sucres naturels	Faible	Faible	(Buzzanca et al., 2024)

Le **Tableau III** décrit les différents ingrédients et leurs quantités utilisés dans la fabrication du mix de nos produits. Quatre échantillons différents ont été préparés, chacun avec une formulation spécifique.

Tableau III. Liste des ingrédients utilisés pour la fabrication du sorbet.

- Pour la préparation des différentes recettes, les ingrédients présentés dans le **tableau III** ont été soigneusement mélangés à l'aide d'un bras mixeur afin d'obtenir un mix homogène et lisse.
- Le mélange a ensuite été pasteurisé par micro-onde, laissé refroidir à température ambiante, puis placé au réfrigérateur pendant 2 heures.
- Le mix a été turbiné régulièrement pendant 4 à 5 heures afin d'obtenir la texture désirée.
- Les produits obtenus ont été conservés au congélateur dans des bocaux hermétiquement fermés pour des analyses ultérieures.

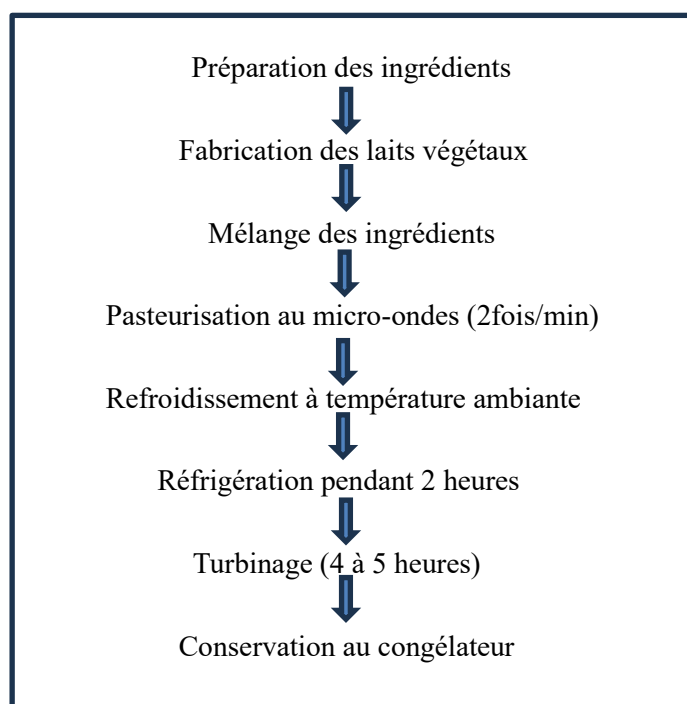


Figure 2. Schéma récapitulatif du processus de fabrication du sorbet élaboré à base de laits végétaux.

I-3-Analyse des desserts glacés élaborés

I-3-1- Contrôle de la qualité microbiologique

Dans cette partie, on s'intéresse à la recherche, au dénombrement et à l'identification des flores microbiennes susceptibles d'être présentes dans les sorbets élaborés. Les analyses ont été réalisées selon les exigences du Journal Officiel de la République Algérienne JORA N°39-14 du 02.07.2017 (**Tableau IV**).

Tableau IV. Analyse microbiologique du sorbet élaboré selon (JORA, 2017).

Paramètres microbiologiques	Milieu de culture utilisé	Conditions d'incubation	Limite maximale autorisée (UFC/g)
Microorganismes aérobies mésophiles totaux	PCA	48h / 30°C	10 ⁵
Levures et moisissures	Sabouraud	2-5 j / 25°C	10 ³
Coliformes totaux	VRBG	24-48h / 37°C	10
<i>Salmonella</i>	EPT / RVS /Hektoen	24h / 37°C	Absence dans 25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird Parker	24-48h / 37°C	10
<i>Listeria monocytogenes</i>	Palcam	24 h / 37°C	10 ²

a) Préparation de la solution mère et des dilutions

Dans le cadre de l'analyse microbiologique, les différents échantillons de sorbet élaborés ont d'abord été décongelés à température ambiante. La préparation a ensuite débuté par la réalisation de la solution mère. Pour ce faire, 5 g de sorbet décongelé ont été pesés à l'aide d'une balance de précision, directement dans des flacons stériles correspondant à chaque échantillon (A, B, C et D). Ensuite, 45 ml d'eau physiologique stérile ont été ajoutés, constituant ainsi une dilution initiale au 10⁻¹.

Exception : pour la recherche de *Salmonella*, 25 g de sorbet décongelé sont prélevés et ajoutés à 225 ml de bouillon de pré-enrichissement (Eau peptonée tamponnée), suivi d'une étape d'enrichissement sélectif sur le Bouillon RVS (Rappaport-Vassiliadis soja).

Les dilutions décimales ont été préparées en transférant 1 ml de la solution mère dans 9 ml d'eau physiologique stérile, afin d'obtenir les dilutions 10⁻² et 10⁻³. L'homogénéisation des mélanges a été assurée par un vortex.

b) Ensemencement

Un volume de 1 ml de chaque dilution a été prélevé puis versé dans des boîtes de Petri préalablement numérotées. Chaque boîte a ensuite été complétée avec le milieu de culture approprié (Tableau IV). Après solidification, les géloses ont été incubées selon les conditions spécifiques à chaque micro-organisme recherché.

c) Lecture

Après incubation, les boîtes de Pétriensemencées avec les différentes dilutions ont été examinées afin de procéder au dénombrement des colonies. Pour chaque échantillon, on compte les colonies visibles dans les boîtes correspondant aux dilutions appropriées. Pour l'interprétation des résultats, il convient de se référer aux spécifications microbiologiques définies dans **JORA (2017) (Tableau IV)**.

d) Stabilité microbiologique

Les mêmes tests de contrôle microbiologique ont été répétés après 14 jours, et 30 jours dans le but de vérifier l'absence de toute contamination microbienne éventuelle pouvant apparaître au fil du temps.

I-3-2- Analyses physicochimiques**a) Mesure du pH**

Le pH des échantillons de sorbet élaborés (A, B, C et D) a été mesuré avec un pH-mètre (HANNA Edge Ph HI2002-02, Roumanie). Les valeurs ont été relevées après stabilisation. Chaque mesure a été répétée trois fois pour chaque échantillon, afin de garantir la fiabilité et la précision des résultats.

b) Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable correspond à la teneur en acides organiques et minéraux, déterminée par titrage potentiométrique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N (**Camara et al., 2021**).

Une quantité d'échantillon (1 g) a été ajoutée à 25 ml d'eau distillée, la solution obtenue a été homogénéisée. Pour déterminer l'acidité de chaque échantillon, quelques gouttes de phénolphaléine (**Annexe III**) ont été ajoutées à la solution préparée puis le titrage a été effectué avec une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 N) (**Annexe III**), jusqu'à l'apparition du virage de couleur vers le rose pâle (**Foughalia et al., 2020**). Trois répétitions ont été effectuées.

Le calcul de l'acidité est déterminé par la formule suivante :

$$AC = \frac{V(\text{ml}) \times M \times N}{PE}$$

V : Volume de chute de burette en ml

PE : Masse de la prise d'essai

M : Masse molaire de NaOH 64g/Mol

N : Normalité à 0,1 N

c) Détermination de la teneur en matière sèche

La matière sèche est le résidu sec des produits alimentaires après l'évaporation de leur humidité. Elle est déterminée par dessiccation dans l'étuve à $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante.

La matière sèche est calculée selon la formule :

$$\text{Teneur en matière sèche (\%)} = (m_0 - m_2 / m_1) \times 100$$

M_0 : Masse de capsule vide en gramme.

m_1 : Masse de la même capsule avec la prise d'essai avant séchage en gramme.

m_2 : Masse de la même capsule avec la prise d'essai après le séchage.

d) Mesure du degré Brix

Le degré Brix a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre (ATAGO PAL-1 V 718101, Japon), en déposant une petite quantité d'échantillon sur le prisme de l'appareil. Il représente la teneur en matière sèche soluble, qui est liée à la quantité de sucre (**Roussos *et al.*, 2011**). La valeur du Brix a été lue directement sur l'écran de l'appareil.

e) Mesure de la viscosité

La viscosité mesure la résistance d'un mélange à l'écoulement, ce qui en fait une propriété essentielle. Elle correspond au frottement interne qui tend à s'opposer au glissement d'une partie du fluide sur une autre.

La mesure de la viscosité des différents échantillons de sorbet élaboré a été réalisée à l'aide d'un viscosimètre (SNB-1 DIGITAL VISCOMETER) équipé d'un Spindle cylindrique.

f) Détermination du taux de foisonnement

Le taux de foisonnement correspond à la quantité d'air injectée dans le produit fini lors de processus de fabrication. Il est déterminé en comparant la masse d'un volume donné

de mix avant foisonnement à celle du même volume de glace après foisonnement. Il est exprimé en pourcentage comme suit :

$$TF (\%) = [(P_1 - P_2) / P_1] \times 100$$

TF : Taux de foisonnement (%).

P₁ : Masse du mix (g).

P₂ : Masse de la glace (g).

g) Détermination de la densité

La densité d'un corps est le rapport entre sa masse volumique et celle d'une substance de référence. Pour les liquides et les solides, la substance de référence est généralement l'eau pure à une température de 4°C (**Guerri et al., 2015**).

La densité est une grandeur sans dimension, exprimée sans unité de mesure. La densité est mesurée avec un pycnomètre de 25ml, selon la loi suivante :

$$Densité = \frac{\text{masse volumique du dessert glacé}}{\text{masse volumique d'eau}}$$

h) Densité réelle

La densité réelle est définie comme le rapport entre la masse totale (matière sèche + eau) et le volume réel occupé par les solides et l'eau, sans tenir compte des pores d'air (**Rodriguez-Ramirez et al., 2012**).

i) Densité apparente

La densité apparente est définie comme le rapport entre la masse totale d'un matériau et son volume total, y compris les pores d'air présents dans la structure du produit (**Rodriguez-Ramirez et al., 2012**).

j) Détermination du Temps de fusion

La détermination du temps de fusion d'un dessert glacé peut fournir des indications précieuses sur sa qualité et sa composition influant sur la texture, la sensation en bouche et l'expérience globale du consommateur (**Muse et Hartel, 2004**).

Dans notre étude, la détermination du temps de fusion des différents échantillons de sorbet élaboré a été réalisée de manière visuelle à température ambiante (25 °C). Chaque

échantillon a été observé à intervalles réguliers. Le temps de fusion exprimé en minutes a été défini comme le moment où le dessert fond complètement, en perdant sa forme solide.

k) Analyse de la couleur

L'analyse de la couleur des échantillons (A, B, C, D) du sorbet a été réalisée à l'aide d'un colorimètre. Les paramètres colorimétriques L* (clarté), a* (rouge-vert), b* (jaune bleu) ont été mesurés avec trois répétitions par échantillon.

À partir de ces valeurs, les paramètres suivants ont été calculés :

- **Chroma (C)** : indique la saturation ou l'intensité de la couleur, calculé par :

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

- **Angle de teinte (α°)** : représente la nuance de couleur, déterminé par :

$$\alpha^\circ = -\tan^{-1} \frac{b}{a}$$

En calculant la **chroma (C)** et l'**angle de teinte (α°)**, on obtient une représentation visuelle plus fine des nuances, valorisant des critères sensoriels précis tels que la vivacité ou la neutralité visuelle (Milovanovic *et al.*, 2020; Pathare *et al.*, 2013).

I-3-3- Analyses sensorielle

Selon la norme **ISO22935-1: (2009)**, l'analyse sensorielle est définie comme l'étude des caractéristiques organoleptiques d'un produit à l'aide des organes des sens.

L'analyse sensorielle du sorbet élaboré a été réalisée par un jury d'experts composé de 12 personnes appartenant au 3BS.

Les échantillons de sorbet ont été présentés dans de petites boîtes transparentes, hermétiquement fermées, codées et disposées selon un ordre équilibré (**Figure 3**). Un gobelet d'eau était mis à la disposition de chaque dégustateur afin de rincer sa bouche après chaque dégustation. Un questionnaire a également été remis pour évaluer les caractéristiques organoleptiques suivantes : odeur, couleur, aspect, texture, consistance et saveur (**Annexe V**).

Le traitement de données a été réalisé à l'aide du logiciel XLSTAT 2018.

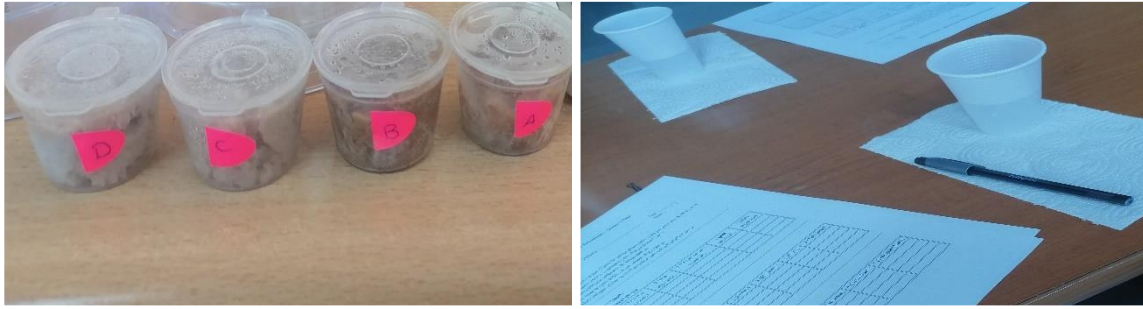


Figure 3. Évaluation sensorielle des échantillons de sorbet élaborés.

I-3-4- Analyse statistique

Les données ont été obtenues à partir de trois essais, exprimées sous forme de moyenne \pm écart type, et comparées par des analyses de variance (ANOVA-Tukey test) avec un niveau de signification de 5 % ($p < 0.05$).

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel JMP Pro 13 et la présentation des résultats a été effectuée avec Microsoft Excel 2019.

Résultats et Discussion

II- Résultats et discussion

II-1- Contrôle microbiologique des desserts glacés élaborés

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse microbiologique selon JORA (2017).

Tableau V. Résultats de l'analyse microbiologique.

Paramètre analysé	Résultat	Limite réglementaire (Jora 2017)	Conformité
Germe aérobie mésophile (30 °C)	$2,10^2$ à $3,4 \times 10^2$ UFC/g	$\leq 3 \times 10^5$ UFC/g	Conforme aux normes
Coliformes totaux	Absence	Absence	Conforme aux normes
Levures et moisissures	Absence	Absence	Conforme aux normes
<i>Listeria monocytogenes</i>	Absence	Absence	Conforme aux normes
<i>Salmonella spp</i>	Absence	Absence	Conforme aux normes
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	Absence	Conforme aux normes

Les analyses microbiologiques réalisées sur les quatre échantillons de sorbet élaboré révèlent que la charge en germes aérobies mésophiles à 30 °C est comprise entre 2.10^2 et $3,4.10^2$ UFC/g, soit inférieure à la limite maximale fixées par la réglementation ($m = 3 \times 10^5$ UFC/g). Par ailleurs, les recherches ciblées sur les coliformes totaux, levures, moisissures, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* et *Staphylococcus aureus* ont montré une absence sur tous les échantillons testés. Ces résultats confirment que la qualité microbiologique du produit est satisfaisante et conforme aux normes de sécurité définies par l'arrêté interministériel publié dans (JORA, 2017), fixant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires.

Ces résultats peuvent s'expliquer, d'une part, par l'utilisation d'une pasteurisation par micro-ondes. Une étude sur des jus a démontré qu'un traitement à 80–90 °C par micro-ondes pouvait inactiver les populations d'*E. coli* O157:H7 et *Salmonella Typhimurium* jusqu'à 7 log₁₀, soit une efficacité comparable, voire supérieure, à la pasteurisation conventionnelle (Wójcik *et al.*, 2024), tout en préservant la qualité sensorielle du produit et une meilleure conservation des propriétés de couleur, de °Brix et d'acidité (Çağlar *et al.*, 2021).

D'autre part, le respect strict de la chaîne du froid, depuis la production jusqu'à l'analyse, a permis de préserver la qualité microbiologique des échantillons et d'assurer la fiabilité des analyses.

II-1-1- Stabilité microbiologique

Les résultats de l'analyse microbiologique des sorbets élaborés, réalisés après 15 jours et un mois de fabrication et de stockage, ont révélé une très faible charge en germes aérobies mésophiles, comprise entre 0 et 45 UFC/g. Aucun autre germe n'a été détecté. Ces données confirment la stabilité et la sécurité microbiologique précédemment observées, garantissant ainsi un produit sûr et fiable pour les consommateurs.

II-2- Contrôle des paramètres physico-chimiques

Le **Tableau VI** représente les résultats de l'analyse physicochimique des quatre échantillons de sorbet élaborés.

Tableau VI. Résultats de l'analyse physicochimique des sorbets élaborés.

Echantillon	A	B	C	D
pH	5,23 ± 0,02 ^b	5,39 ± 0,01 ^a	3,64 ± 0,01 ^d	4,09 ± 0,01 ^c
Acidité titrable	0,74 ± 0,03 ^c	0,89 ± 0,00 ^b	2,26 ± 0,09 ^a	2,28 ± 0,03 ^a
Teneur en matière sèche	87,48 ± 0,09 ^a	83,70 ± 0,22 ^c	84,82 ± 0,03 ^b	82,15 ± 0,05 ^d
Brix (%)	9,6 ± 0,002 ^d	11,5 ± 0,001 ^b	10,4 ± 0,001 ^c	11,8 ± 0,002 ^a
Viscosité (Pa.s)	4,30 ± 0,004 ^d	4,40 ± 0,007 ^c	5,30 ± 0,002 ^a	5,10 ± 0,002 ^b
Taux de Foisonnement (%)	51,95 ± 0,15 ^a	40,29 ± 0,12 ^c	36,78 ± 0,25 ^d	47,37 ± 0,24 ^b
Densité réelle	1,037 ± 0,000 ^d	1,046 ± 0,000 ^c	1,049 ± 0,0003 ^b	1,052 ± 0,000 ^a
Densité apparente	0,661 ± 0,6604 ^d	0,711 ± 0,7103 ^c	0,754 ± 0,753 ^a	0,718 ± 0,7181 ^b
Temps de fusion (min)	53,10 ± 0,14 ^c	52,02 ± 0,03 ^d	57,01 ± 0,02 ^a	56,10 ± 0,14 ^b

II-2-1- pH

Les valeurs de pH des échantillons analysés varient de façon significative entre 3,64 et 5,39 (**Figure 4**). L'échantillon C présentait le pH le plus bas (3,64 ± 0,01^d), indiquant une forte acidité, suivi de D (4,09 ± 0,01^c), puis A (5,23 ± 0,02^b), tandis que B affichait le pH le plus élevé (5,39 ± 0,01^a).

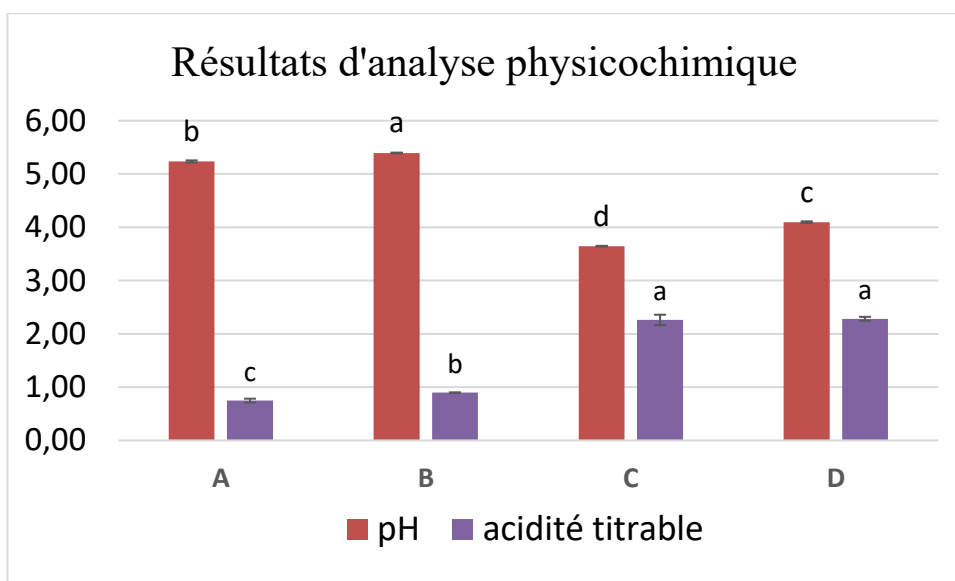


Figure 4. Résultats du pH et de l'acidité titrable.

Ces variations s'expliquent par la nature des ingrédients utilisés dans chaque formulation. Les préparations A et B, enrichies en sirop de datte sans acidification, restent plus proches de la neutralité, tandis que C et D, contenant citron et miel, sont nettement plus acides.

Les résultats du pH notés sont proches de ceux rapportés par **Leahu *et al.*, (2022)**, qui ont déterminé un pH compris entre 3,00 et 6,00 pour leurs desserts glacés végétaux.

II-2-2-Acidité titrable

L'acidité titrable des différentes formulations de sorbet varie entre [0,74 et 2,28]. Les échantillons C et D présentent les taux les plus élevés sans différence statistiquement significative avec $2,26 \pm 0,09^a$ et $2,28 \pm 0,037^a$ respectivement. L'échantillon B affiche une acidité modérée ($0,89 \pm 0,00^b$), tandis que l'échantillon A est le moins acide ($0,74 \pm 0,03^c$).

Ce gradient reflète bien la composition : C et D contiennent du jus de citron et du miel, apportant naturellement plus d'acidité, tandis que A et B sont sucrés à l'aide de sirop de datte moins acidifiant. ce qui confirme la relation directe entre acides organiques et acidité titrable (**Boulton, 1980; Tsegay, 2020**).

II-2-3-Teneur en matière sèche

La matière sèche varie significativement d'un échantillon à l'autre : A ($87,48 \pm 0,10$ %^a) présente la teneur la plus élevée, suivie de C ($84,83 \pm 0,03$ %^b), B ($83,70 \pm 0,22$ %^c) et enfin D ($82,16 \pm 0,06$ %^d).

II-2-4- Extrait sec soluble (°Brix)

Le °Brix a été mesuré afin d'évaluer la teneur en solides solubles, principalement constitués de sucres simples tels que ceux provenant du miel et du sirop de datte. Ce paramètre est essentiel car il influence directement la douceur, la viscosité et la stabilité des préparations alimentaires (**Yanniotis *et al.*, 2006**).

Dans cette étude, les valeurs obtenues varient de [9,6 % (A) à 11,8 % (D)], avec des différences significatives entre les échantillons. L'échantillon D, contenant une proportion importante de miel et de jus de citron, enregistre le °Brix le plus élevé ($11,8 \pm 0,002^a$), suivi de B ($11,5 \pm 0,001^b$), C ($10,4 \pm 0,001^c$) et A ($9,6 \pm 0,002^d$). Ces résultats sont proches de ceux rapportés par **Hipólito *et al.*, (2016)**.

Les différences observées s'expliquent principalement par le type d'ingrédient sucrant utilisé : le miel, plus riche en sucres simples, entraîne des valeurs de °Brix plus élevées (D et B) que le sirop de datte (A et C). De plus, des facteurs secondaires tels que la nature du lait végétal (amande ou coco) et la présence de jus de citron peuvent également influencer la concentration en solides solubles et, par conséquent, le °Brix.

II-2-5- Viscosité (Pa·s)

La viscosité, qui reflète la résistance à l'écoulement d'un fluide, constitue un paramètre déterminant pour la texture et la stabilité des glaces, influençant notamment l'incorporation d'air (foisonnement) et la sensation en bouche.

Les valeurs de viscosité des formulations étudiées varient entre [4,30 Pa·s et 5,30 Pa·s]. L'échantillon C présente la viscosité la plus élevée ($5,30 \pm 0,002^a$ Pa·s), suivi de D ($5,10 \pm 0,002^b$ Pa·s), tandis que A reste le moins visqueux ($4,30 \pm 0,004^d$ Pa·s).

Ces différences s'expliquent par la présence de stabilisants naturels, agents gélifiants et le type de sucre : C et D, riches en jus de citron et miel, favorisent une structuration pectique renforcée en milieu acide, ce qui augmente la viscosité, tandis que A, à base de lait de coco contenant huile de coco et sirop de datte et moins acide, offre une matrice plus fluide.

II-2-6- Densité réelle

La densité réelle, définie comme la masse d'un produit rapportée au volume occupé uniquement par la matière solide sans porosité ni air incorporé (**Rodríguez-Ramírez *et al.***,

2012), varie avec des différences statistiquement significatives entre 1,037 et 1,052. Ces différences s'expliquent par la composition en solides et minéraux : l'échantillon D, le plus dense ($1,052 \pm 0,00^a$), est riche en miel et jus de citron, apportant des sucres et minéraux solubles, tandis que A, contenant davantage de lait de coco, présente la densité la plus faible ($1,037 \pm 0,000^d$).

II-2-7- Taux de foisonnement (%)

Le taux de foisonnement, indicateur de la quantité d'air incorporée lors du turbinage, varie statistiquement de manière significative entre [36,78 % et 51,95 %]. L'échantillon A présente le taux le plus élevé ($51,95 \pm 0,15^a$ %), ce qui confère une texture plus légère et onctueuse, tandis que l'échantillon C présente le taux le plus bas donc plus dense et compact ($36,78 \pm 0,25^d$ %). Les échantillons B et D ont des valeurs intermédiaires $40,29 \pm 0,12^c$ % et $47,37 \pm 0,24^b$ % respectivement.

II-2-8-Densité apparente

La densité apparente, incluant le volume total occupé par le produit avec les pores et l'air incorporé (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2012), varie de [0,661 à 0,754] avec des différences statistiquement significatives entre tous nos échantillons (Figure 5).

L'échantillon C, malgré un fort taux d'acidité et une viscosité élevée, présente la densité apparente la plus forte ($0,754 \pm 0,753^a$), probablement en raison de sa faible incorporation d'air (faible foisonnement). À l'inverse, A ($0,661 \pm 0,6604^d$) affiche une faible densité apparente, qui s'explique par un fort taux de foisonnement (51,95 %) et par l'effet structurant du lait de coco, favorisant l'aération. Les échantillons B ($0,711 \pm 0,7103^c$) et D ($0,718 \pm 0,7181^b$) présentent des valeurs intermédiaires.

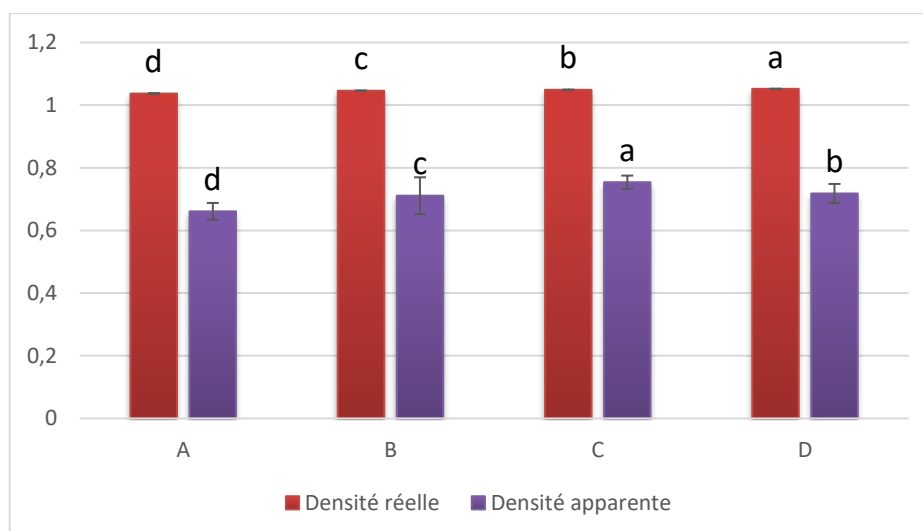


Figure 5. Résultat de la densité réelle et de la densité apparente des échantillons (A,B,C et D)

I-2-9- Temps de fusion

Le temps de fusion des quatre échantillons de sorbet a été mesuré à température ambiante, avec des valeurs comprises entre [52,02 min et 57,01 min]. L'échantillon C présente la durée de fusion la plus longue ($57,015 \pm 0,021^a$ min), suivi de D ($56,1 \pm 0,14^b$ min), tandis que B se distingue par la fusion la plus rapide ($52,02 \pm 0,03^d$ min).

Ces différences s'expliquent par la viscosité, la teneur en matière sèche, le foisonnement et la densité. En effet, l'échantillon C, caractérisé par une viscosité élevée (5,30 Pa·s) et une densité apparente importante, résiste mieux à la fonte, contrairement à B, moins visqueux et plus foisonné, qui font plus rapidement.

II-2-10- Couleur

La couleur est un des paramètres les plus cruciaux pour l'évaluation de la qualité des produits alimentaires, influençant fortement l'acceptabilité par le consommateur (**Dutta et Nath, 2023; Pathare et al., 2013**), dans certains cas, jusqu'à 62–90 % des évaluations de produits sont basées uniquement sur la couleur (**Spence, 2015**).

Les échantillons présentent des profils colorimétriques distincts (**Tableau VII**) :

Tableau VII. Données colorimétriques des quatre sorbets élaborés

	L	a	b	Chroma (C)	Angle de teinte (α°)	Synthèse visuelle
A	70,95	6,2	16,35	11,275	0,552	<ul style="list-style-type: none"> • Plus dense • Teinte chaude et saturée
B	77,7	5,05	14,3	9,675	0,320	<ul style="list-style-type: none"> • Clair et modérément coloré • Teinte chaude mais douce
C	79,37	2,80	9,47	6,133	-0,244	<ul style="list-style-type: none"> • Très clair, faible coloration • Teinte neutre et pastel.
D	70,9	1,65	7,5	4,575	-5,934	<ul style="list-style-type: none"> • Clair mais dé-saturé • Teinte légèrement froide.

Les mesures colorimétriques obtenues à l'aide d'un colorimètre selon le système CIE $L^* a^* b^*$ permettent une quantification objective de la couleur des échantillons représentés dans le **tableau VII** où :

- L^* indique la clarté (0 = noir, 100 = blanc),
- a^* représente le passage vert-rouge ($+a^*$ = rouge)
- b^* le bleu-jaune ($+b^*$ = jaune) (**Milovanovic et al., 2020**)
- Le Chroma (C^*), reflète la saturation ou l'intensité de la couleur,
- L'angle de teinte (α°), indique la dominante colorée en degrés sur le plan a-b :
0° correspond au rouge ($+a^*$), 90° au jaune ($+b^*$)

L'échantillon **A** se distingue par une saturation élevée ($C \approx 11,28$) malgré une luminosité modérée ($L = 70,95$). Il apparaît donc assez foncé tout en restant visuellement riche en couleur. Son angle de teinte légèrement positif ($+0,55^\circ$) reflète une nuance doucement chaude, tirant vers le rouge/orangé

L'échantillon **B** présente une luminosité élevée ($L = 77,70$) et conserve une saturation intermédiaire ($C \approx 9,68$). Visuellement, cela se traduit par une crème assez lumineuse mais encore colorée, avec une nuance légèrement chaude, soulignée par un angle de teinte autour de $+0,32^\circ$.

L'échantillon **C** présente la luminosité la plus élevée ($L = 79,37$), associée à une saturation la plus faible ($C \approx 6,13$), ce qui donne une apparence visuelle très claire et très douce, presque pastel. Son angle de teinte légèrement négatif ($-0,24^\circ$) indique une teinte quasiment neutre, sans dominance marquée.

Enfin, **D**, bien que similaire à **A** en termes de luminosité ($L = 70,90$), affiche la saturation la plus faible ($C \approx 4,58$). Il apparaît visuellement clair mais peu coloré, avec une nuance plus froide, légèrement déplacée vers le vert ou le bleu (angle de teinte $-5,93^\circ$).

Ces différences colorimétriques peuvent s'expliquer par les ingrédients présents : la saturation élevée de **A** pourrait être due à des colorants naturels foncés (ex. datte, caroube), tandis que **C** et **D** (avec citron/miel, etc.) sont naturellement plus clairs et moins saturés. Cependant, l'ajout de lait d'amande (dans **B** et **D**) semble également atténuer les pigments foncés, alléger la saturation et modifier subtilement la teinte.

Des études comparables confirment que l'ajout de fibres fruitières entraîne une diminution du paramètre L^* (ton plus sombre), ainsi qu'une augmentation des composantes rouges et jaunes (a^* , b^*), en plus d'affecter la texture en améliorant la fermeté (**Salehi 2021**).

De plus, les attentes sensorielles créées par la couleur peuvent influencer la perception réelle du goût ou de la saveur. Par exemple, une teinte plus saturée et des nuances chaudes sont souvent associées à une saveur plus riche ou sucrée, tandis que les couleurs plus claires ou pastel sont perçues comme plus délicates ou neutres (**Spence, 2019; Spence et al., 2015**).

II-3-Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est une méthode essentielle qui permet de mesurer les réponses humaines aux produits, déterminant ainsi leurs caractéristiques du profil sensoriel et leur acceptabilité (**Vaikma et al., 2025**). Dans cette étude, nous avons évalué les propriétés sensorielles de quatre formulations de sorbet. Chaque formulation a été notée sur une échelle de 1 à 9 pour évaluer l'intensité de chaque descripteur sensoriel (**Annexe V**).

III.3.1. Caractérisation du produit

La caractérisation de produit permet de décrire les caractéristiques organoleptiques des produits en se basant sur les résultats du panel expert. Elle permet également d'identifier quels sont les descripteurs qui décrivent au mieux les produits et quelles sont les caractéristiques qui ne varient pas significativement entre les échantillons analysés (**Husson et al., 2005**).

a) Pouvoir discriminant par descripteur

Ce test permet de représenter les attributs sensoriels des produits testés par un des experts, classés par ordre de p-value du plus discriminant au moins discriminant, et les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous (**Figure 6**).

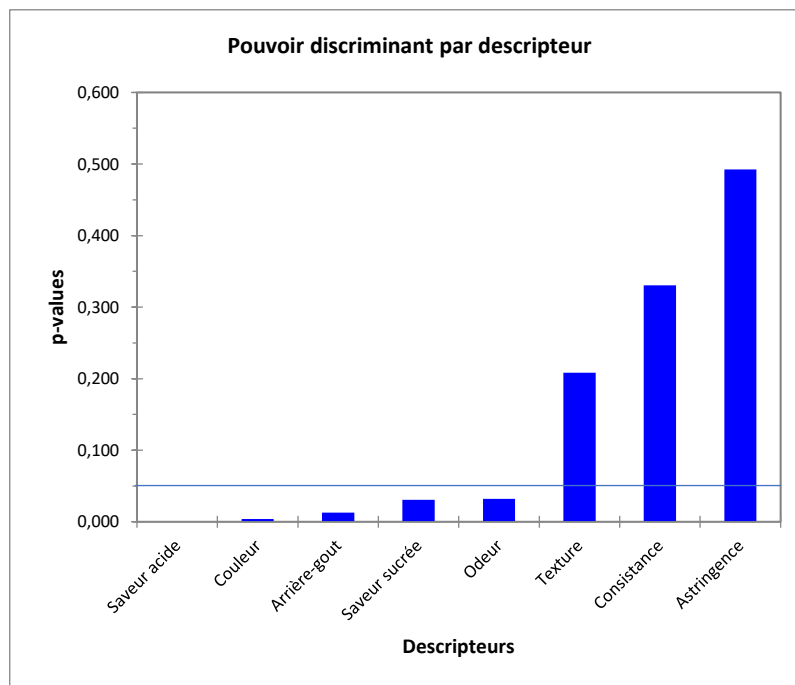


Figure 6. Pouvoir discriminant par descripteur des produits préparés.

Cette figure présente les descripteurs ordonnés du plus discriminant au moins discriminant pour les quatre produits préparés.

- **Saveur acide** : La valeur p de la saveur acide est de 0, indiquant qu'elle a un pouvoir discriminant dans cette analyse. Cela signifie que sa variation entre les différentes formulations est significative et permet de distinguer efficacement les différents produits.
- **Couleur, arrière-goût, saveur sucrée et odeur** : La valeur p pour la couleur, l'arrière-goût, la saveur sucrée et l'odeur est en dessous de 0,05. Cela indique que l'odeur a un pouvoir discriminant modéré, proche du seuil de signification statistique ($p < 0,05$).
- **Texture, consistance et astringence** : Les valeurs p pour la texture, la consistance et l'astringence sont bien au-dessus de 0,2. Cela montre que ces descripteurs n'ont pas de pouvoir discriminant significatif. En d'autres termes, leurs variations entre les différentes formulations ne sont pas significatives et ne sont donc pas utiles pour la caractérisation sensorielle.

b) Coefficient des modèles

Pour chaque descripteur et chaque produit de ce test, les coefficients du modèle ont été estimés afin d'évaluer si les attributs sont perçus favorablement, défavorablement ou de manière neutre par les juges experts.

Les représentations graphiques (**Figure 7**) permettent de visualiser cette appréciation des descripteurs pour chaque sorbet testé par les experts, à l'aide d'un code couleur explicite :

- **Couleur bleue** : Les coefficients des caractéristiques sont significativement positifs, ce qui signifie que les attributs sensoriels ont été appréciés.
- **Couleur rouge** : Les coefficients des caractéristiques sont significativement négatifs, ce qui signifie que les caractéristiques n'ont pas été appréciées.
- **Couleur blanche** : Les coefficients des attributs sensoriels ne sont pas significatifs, ce qui signifie que les attributs sensoriels n'ont pas été appréciés.

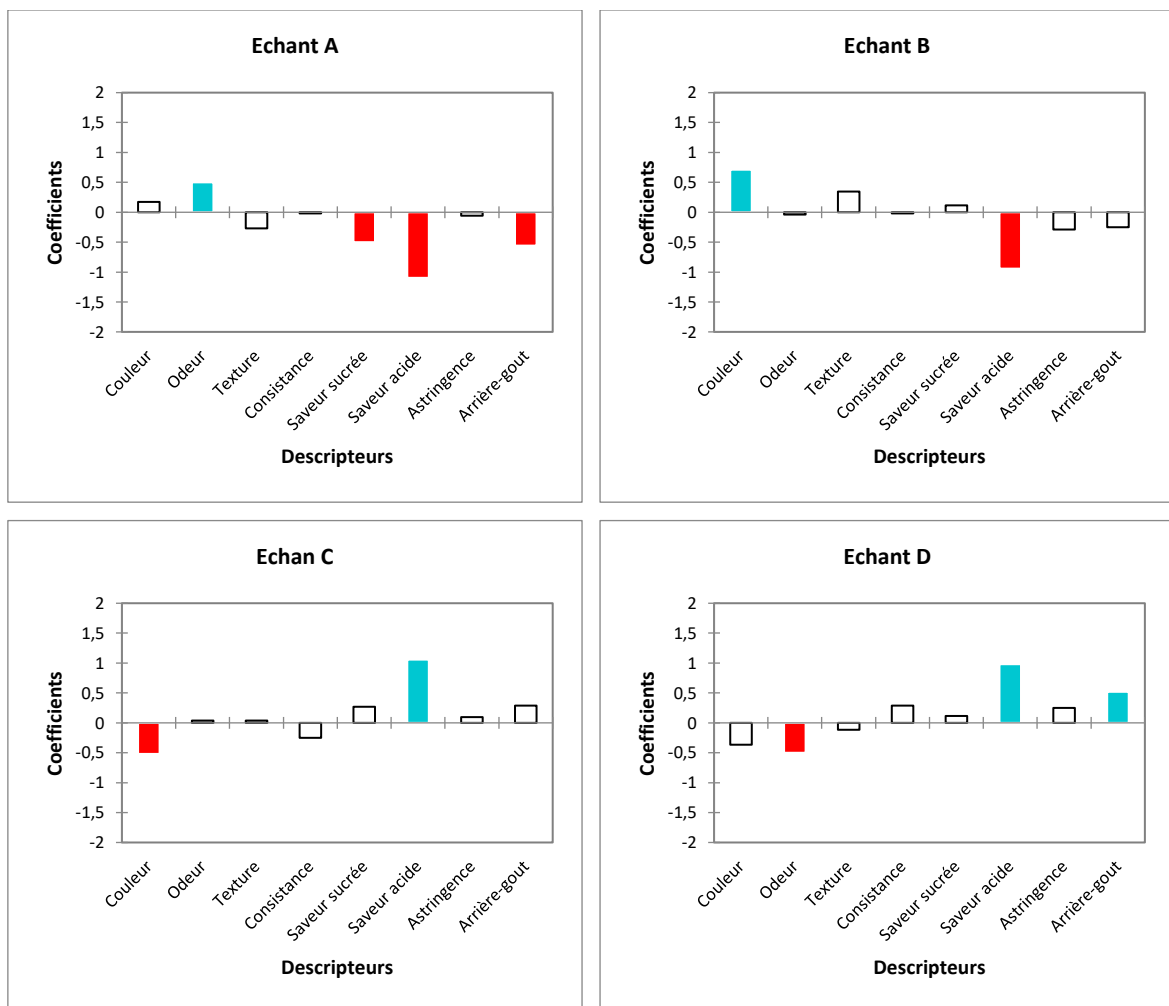


Figure 7. Coefficients des modèles des échantillons codés A, B, C, et D.

À partir des résultats obtenus, le sorbet codé par B est caractérisé par sa « saveur acide » en couleur rouge dans le graphique, ce qui signifie qu'il n'a pas été apprécié par les jurys experts. Contrairement au descripteur « Couleur » qui est représenté en bleu, ce qui signifie qu'il a été apprécié par les experts. Le reste des descripteurs est en blanc, cela montre qu'ils n'ont pas été détectés par l'ensemble des experts.

Le sorbet A a également été jugé négativement pour sa saveur acide (rouge), en plus de son « arrière-goût » et « saveur sucrée », et apprécié pour son « odeur », Les autres descripteurs n'ont pas été jugés (blanc).

Le sorbet C a été apprécié pour sa « saveur acide », mais non apprécié pour sa couleur.

Enfin, le sorbet D a montré une appréciation pour sa « saveur acide » et son « arrière-goût » (bleu), mais une non-appréciation pour « l'odeur » (rouge), les autres descripteurs ne sont pas significatifs puisqu'ils n'ont pas été détectés par les experts.

III.3.2. Cartographie externe de préférence (PREFMAP)

a) Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode de description multidimensionnelle qui fait partie des méthodes factorielles. L'ACP est l'une des méthodes d'analyse des données multi variées les plus utilisées (Næs *et al.*, 2021)

La **Figure 8** permet de représenter les corrélations entre les variables et les facteurs par l'ACP.

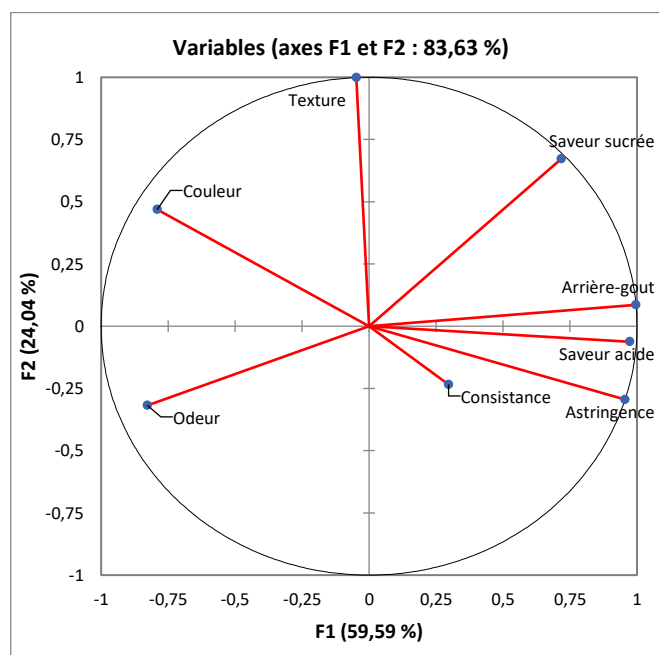


Figure 8. Analyse en composantes principales des produits préparés.

La carte obtenue a montré une fiabilité de la représentation sensorielle puisqu'elle permet de représenter 83,63 % de la variabilité totale. Les produits ont été perçus comme assez différents par les experts. Tous les descripteurs (couleur, odeur, texture, consistance, saveur sucrée, saveur acide, astringence et arrière-gout) sont bien représentés dans le cercle, ce qui indique une analyse complète et fiable.

b) Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH est une méthode de classification non supervisée qui construit une hiérarchie de regroupements à partir des individus, représentés sous forme d'un arbre appelé dendrogramme, dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions. Cette approche permet de décider facilement du nombre de classes à retenir en « troncant » l'arbre à un niveau choisi, selon des critères pratiques ou statistiques (**Randriamihamison et al., 2021**)

Le graphe en-dessous (**Figure 9**) permet de visualiser le classement préférentiel au sein de chaque groupe :

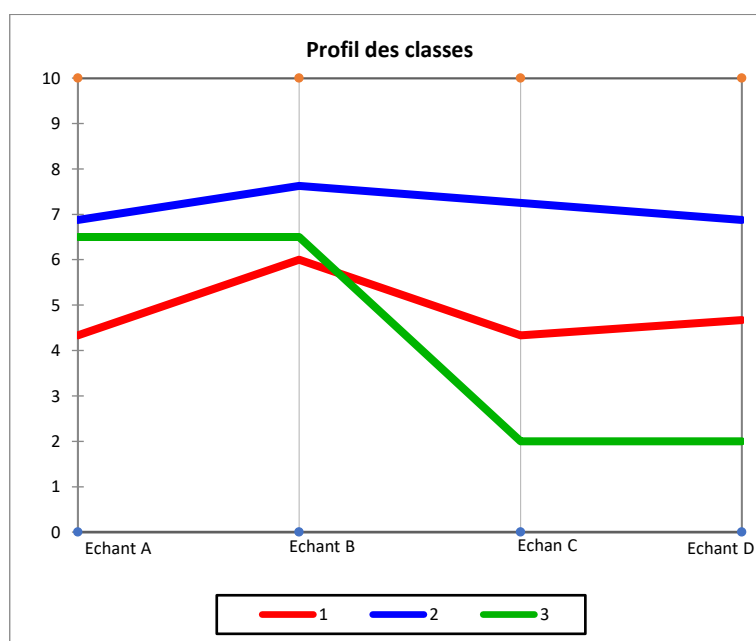


Figure 9. Classification ascendante hiérarchique des échantillons.

Le graphe du profil des classes (réalisé à partir des données de préférences) permet de comparer visuellement les moyennes des différentes classes créées :

- **La classe 1 (rouge) :** préfère l'échantillon B, suivi de C après A et enfin D.
- **La classe 2 (bleu) :** préfère l'échantillon B, suivi par C après D et enfin A.
- **La classe 3 (vert) :** Préfère l'échantillon A et B, suivi par l'échantillon C et D.

c) Cartographie externe de préférence (PREFMAP)

En analyse sensorielle, la cartographie des préférences vise à créer un espace multidimensionnel. Cet espace visualise la carte des préférences, les courbes de niveau, ainsi que le tableau des pourcentages de satisfaction des juges pour chaque produit (**Tableau VIII**).

La cartographie externe de préférence (ou PREFMAP) est une approche multivariée qui relie les données descriptives des produits (issue d'un ACP sur les descripteurs sensoriels) aux scores de préférence des consommateurs (**Figure 10**). Elle permet ainsi de visualiser dans un même espace :

- La position sensorielle des produits (issus de l'ACP),
- Les zones de préférence via des courbes de niveau (contour plots),
- Les pourcentages de satisfaction pour chaque produit. (**Cadena et al., 2012**)

Tableau VIII: Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet.

Objet	%
Echant A	33%
Echant B	100%
Echant C	33%
Echant D	0%

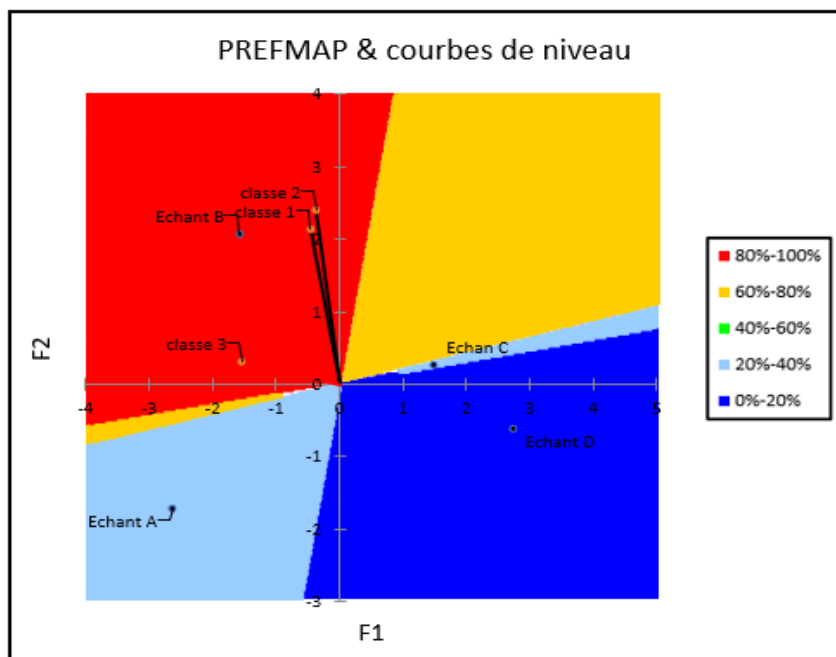


Figure 10. Courbe de niveau et carte des préférences des produits.

Ce test a été réalisé dans le but de connaître les préférences du consommateur vis-à-vis de nos produits et connaître les raisons pour lesquelles ils les ont choisis.

D'après les résultats obtenus (figure 10), le sorbet B est le plus apprécié, avec 100 %. Suivi par les sorbets A et C, qui sont appréciés par 33% des juges chacun. En revanche, le sorbet D n'a reçu aucune préférence de la part des juges (0%).

Conclusion

Conclusion

Malgré leur popularité, les desserts glacés sont souvent critiqués pour leur composition riche en sucres, en graisses et en substances artificielles, ce qui contraste avec la tendance actuelle vers une alimentation plus saine et naturelle.

L'objectif de ce travail était la mise au point de sorbets innovants à base de laits végétaux et d'ingrédients naturels, sans recours aux additifs artificiels. Le choix du lait de pin d'Alep comme ingrédient principal représente une innovation notable, car il s'agit d'une ressource locale riche en protéines, en lipides essentiels et en minéraux, offrant une véritable alternative aux laits végétaux classiques.

Les formulations élaborées ont montré une excellente qualité microbiologique : les microorganismes aérobies mésophiles demeurent bien en dessous des seuils réglementaires, et aucun des germes pathogènes testés (coliformes totaux, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, etc.) n'a été détecté, même après 15 jours et un mois de conservation, confirmant l'efficacité des procédés de préparation, du protocole de pasteurisation, le respect de la chaîne du froid et la stabilité du produit durant le stockage.

Sur le plan physicochimique, les formulations présentent des caractéristiques intéressantes : pH acide favorable à la conservation, viscosité et teneur en matière sèche équilibrées, taux de foisonnement satisfaisant et bonne résistance à la fusion. Ces paramètres témoignent de la cohérence technologique et de la qualité structurale des échantillons.

Sur le plan sensoriel, les descripteurs les plus influents dans la différenciation des produits sont la saveur acide, la couleur, l'odeur, la saveur sucrée et l'arrière-goût. La saveur acide se révèle comme le descripteur le plus discriminant. Les préférences des juges confirment que la formulation B est la plus appréciée, alors que l'échantillon D est celui qui présente le moins de satisfaction, malgré certaines qualités notables de couleur ou de texture dans les autres échantillons.

Cette étude a démontré la faisabilité de développer de sorbets innovants à base de laits végétaux et d'ingrédients naturels, sans additifs artificiels, alliant qualité nutritionnelle, sécurité microbiologique et plaisir sensoriel.

Pour améliorer et approfondir ce travail, plusieurs pistes peuvent être envisagées :

- Étudier la composition chimique de l'échantillon B.
- Optimiser la formulation des desserts glacés en testant différentes combinaisons de laits végétaux et d'ingrédients naturels.
- Explorer d'autres additifs chromatiques ou aromatiques, pour voir leur impact sur la couleur, l'arôme et l'acceptabilité.
- Étudier la durée de conservation sur des périodes plus longues afin de confirmer la stabilité microbiologique et sensorielle.
- Vérifier les effets de stockage prolongé sur la structure (cristallisation, cristaux de glace), la texture et l'acceptation sensorielle
- Comparer ces formulations avec des produits commerciaux pour évaluer leur potentiel de marché.
- Tester la perception par des consommateurs non-experts pour avoir une vision plus réaliste des préférences.
- Étudier le volet économique et la faisabilité du produit à grande échelle.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques



Abbas Syed Q. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* 8: 10.15406/jnhfe.2018.08.00305.

Abbou A., Kadri N., Servent A., Mouhoubi K., Medouni-Haroune L., Bouiche C., Negrichi S., Meghlaoui Z., Amrane-Abider M., Bechir S., Taouzinet L., Bougherra H., Madani K., & Achir N. (2025). Advantages and Drawbacks of Plant-Based Beverages as Alternatives to Animal Milk: A Multidimensional Review. *The North African Journal of Food and Nutrition Research* 9: 74-95 10.51745/najfnr.9.20.74-95.

Abbou A., Kadri N., Servent A., Ricci J., Madani K., Dornier M., Collignan A., & Achir N. (2021). Setting up a diagram process for the elaboration of a new plant-based beverage from *Pinus halepensis* seeds: Selection of unit operations and their conditions. *Journal of Food Process Engineering* 45: 10.1111/jfpe.13943.

Addou S., Benaissa Y., Belmokhtar A., Saidi D., & Kheroua O. (2015). Effet du lait de noix de coco sur la réponse immunitaire systémique et sur la muqueuse intestinale des souris Balb/c. *Revue Française d'Allergologie* 55: 224.

Akalin H., Kinik O., & Satir G. (2024). Manufacturing plant-based non-dairy and probiotic frozen desserts and their impact on physicochemical, sensory and functional aspects. *Food Sci Technol* 61: 1874-1883 10.1007/s13197-024-05964-8.

Akkermans S., & Van Impe J.F. (2018). Mechanistic modelling of the inhibitory effect of pH on microbial growth. *J Food microbiology* 72: 214-219.

Alvi M., & Martinez-Monteaudo S.I. (2024). Mapping the meltdown behavior of frozen dairy desserts. *J Dairy Sci* 107: 5473-5480 10.3168/jds.2024-24657.

Arslaner A., & Salik M.A. (2020). Functional Ice Cream Technology. *Akademik Gıda* 18: 180-189 10.24323/akademik-gida.758835.

Atasoy M., Álvarez Ordóñez A., Cenian A., Djukić-Vuković A., Lund P.A., Ozogul F., Trček J., Ziv C., & De Biase D. (2024). Exploitation of microbial activities at low pH to enhance planetary health. *J FEMS Microbiology Reviews* 48: fuad062.

Aydar E.F., Tutuncu S., & Ozcelik B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods* 70: 10.1016/j.jff.2020.103975.

B

Boulton R. (1980). The relationships between total acidity, titratable acidity and pH in wine. *J American journal of enology viticulture* 31: 76-80.

Boutonnier J.L. (2001). *Cremes Glacees, Glaces wt Sorbets Formulation et Fabrication*. In: (ed.). *Book Cremes Glacees, Glaces wt Sorbets Formulation et Fabrication*. Place: Ed. Techniques Ingénieur.

C

Cadena R., Cruz A., Faria J., &Bolini H. (2012). Reduced fat and sugar vanilla ice creams: Sensory profiling and external preference mapping. *Journal of dairy science* 95: 4842-4850.

Çağlar D., Rayman Ergün A., &Baysal T. (2021). Effects of microwave pasteurization on the thermal resistance of *Zygosaccharomyces rouxii* and on the physicochemical properties of organic intermediate moisture raisin. *Journal of Food Processing Preservation* 45: e15382.

Camara N.B., Faye M., Diedhiou D., Mbengue M., Sock O., &Rigal L. (2021). Physico-chemical and biochemical characterization of the pulp and oil of three oilseeds of Senegal: *Annona muricata*, *Terminalia catappa* and *Neocarya macrophylla*.

Céline A., Fréour S., Jacquemin F., &Casari P. (2014). The hygroscopic behavior of plant fibers: a review. *Frontiers in chemistry* 1: 43.

Craig W.J., &Brothers C.J. (2022). Nutritional Content of Non-Dairy Frozen Desserts. *Nutrients* 14: 10.3390/nu14194150.

Craig W.J., &Fresán U.J.N. (2021). International analysis of the nutritional content and a review of health benefits of non-dairy plant-based beverages. 13: 842.

Codex Alimentarius. (2003). Codex standard for fermented milks (CODEX STAN 243-2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) / World Health Organization (WHO). <https://www.fao.org/3/y5411e/y5411e00.htm>

Codex Alimentarius Commission. (2003). Codex Standard for Edible Ices and Ice Mixes (CODEX STAN 243-2003). FAO/WHO, Rome.

D

Deosarkar S.S., Kalyankar S.D., Pawshe R.D., &Khedkar C.D. (2016). Ice Cream: Composition and Health Effects. In: (ed.). *Encyclopedia of Food and Health*. Place. 385-390.

Dudez P.F., M.; Raiffaud, C. (2017). Transformer les produits laitiers frais à la ferme: 3e édition mise à jour. In: (ed.). Book Transformer les produits laitiers frais à la ferme: 3e édition mise à jour. Place: Educagri éditions.

Dutta K., & Nath R. (2023). Application of Colorimetry in Food Industries. In: (ed.). Advances in Colorimetry. Place: IntechOpen.



Farid E., Mounir S., Talaat E., Elnemr S., & Siliha H. (2022). Effect of foaming parameters on the physical and phytochemical properties of tomato powder. Food Science Biotechnology 31: 1423-1431.

Fauziyah N., Ifie I., Syarief O., & Darniadi S. (2023). Impact of hydrocolloid and foaming agent on the physicochemical, microstructural and bioactive characteristics of foam-mat freeze-dried tapai (fermented black glutinous rice) powder. Food Science Nutrition 11: 578-589.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Standard for ice cream and frozen desserts. FAO/WHO Codex Alimentarius. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

Foughalia A., Aliliche M., Boulabtina A., & Akkouche Z. (2020). Arbojus, une boisson médicinale à base du gel d'Aloe arborescens Miller et du miel. Journal Algérien des Régions Arides 14: 26-36.



Ghanbari M., Mortazavian A.M., Ghasemi J.B., Mohammadi A., Hosseini H., & Neyestani T.R. (2017). Formulation and development of a new prebiotic cereal-based dairy dessert: Rheological, sensory and physical attributes. Food Science Technology Research 23: 637-649.

Gheisari H., Heydari S., & Basiri S. (2020). The effect of date versus sugar on sensory, physicochemical, and antioxidant properties of ice cream. Iranian journal of veterinary research 21: 9.

Gobbi L., Ciano S., Rapa M., & Ruggieri R. (2019). Biogenic Amines Determination in "Plant Milks". Beverages 5: 10.3390/beverages5020040.

Goff H.D., Hartel R.W., & Rankin S.A. (2003). Ice Cream. In: (ed.). Book Ice Cream. Place: Springer.

Guerra M., Cammarano F., & Connolly J.A. (2015). Effects of chemical composition, water and temperature on physical properties of continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 16: 2431-2449.

H

Haas R., Schnepps A., Pichler A., & Meixner O. (2019). Cow Milk versus Plant-Based Milk Substitutes: A Comparison of Product Image and Motivational Structure of Consumption. *Sustainability* 11: 10.3390/su11185046.

Hernandez-Gonzalez M., Nans A., Calcraft T., Rosenthal P., & Way M. (2025). 10.1101/2025.08.20.671218.

Hipólito C., Ramalheira R., Beirão Da Costa S., & Moldão-Martins M. (2016). The effect of fruit cultivar/origin and storage time on sorbets quality. *LWT - Food Science and Technology* 68: 462-469 10.1016/j.lwt.2015.12.054.

Husson F., Lê S., & Pagès J. (2005). Confidence ellipse for the sensory profiles obtained by principal component analysis. *Food Quality Preference* 16: 245-250.

I

Iorio M.C., Bevilacqua A., Corbo M.R., Campaniello D., Sinigaglia M., & Altieri C. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrason Sonochem* 52: 477-483 10.1016/j.ultsonch.2018.12.026.

J

Jana A., Pinto S., & Moorthy P. (2016). *Ice cream and Frozen Desserts*. Agrimoon. India.

Jora. (2017). Arrêté interministériel fixant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. *Journal Officiel de la République Algérienne (JORA)* N° 39: 11–32.

K

Karim A., Raji Z., Habibi Y., & Khalloufi S. (2024). A review on the hydration properties of dietary fibers derived from food waste and their interactions with other ingredients: Opportunities and challenges for their application in the food industry. *Critical reviews in food science nutrition* 64: 11722-11756.

Kettani A. (2022). Conception d'une glace végétale à base de jus d'avoine fermenté au kéfir.

Kirtil E. (2025). Molecular Strategies to Overcome Sensory Challenges in Alternative Protein Foods. *Food bioprocess technology* 1-33.

Kot A., Barańska A., & Kamińska-Dwórznicza A. (2020). Study of the properties of vegan ice cream based on almond drink. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 21-30 10.22630/zppnr.2020.600.3.

L

Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y., & Rascón-Chu A. (2018). Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. *Molecules* 23: 942.

Leahu A., Ropciuc S., & Ghinea C. (2022). Plant-Based Milks: Alternatives to the Manufacture and Characterization of Ice Cream. *Applied Sciences* 12: 10.3390/app12031754.

Legassa O. (2020). Ice cream nutrition and its health impacts. *International Journal of Food Nutritional Science* 7: 19-27.

M

Mao Y., Zhang Z., Liu L., Qin Y., Qin Z., Cao Y., Zou X., Shi J., Tian S., & Jiang G. (2025). Dynamic interaction of sweet and sour taste perceptions based on sucrose and citric acid. *npj Science of Food* 9: 152.

Massaut K.B., Dos Santos Pereira E., Moreira A.N., Padilha Da Silva W., & Fiorentini Â.M. (2024). Potentially functional lactose-free ice cream with *Lactobacillus casei* CSL3, ginger, and honey. *Brazilian Journal of Microbiology* 55: 1735-1744.

Masselot V. (2020). Influence des stabilisants sur la cristallisation d'un semi-liquide alimentaire: Application à la congélation des sorbets. Université Paris-Saclay.

Milovanovic B., Djekic I., Miocinovic J., Djordjevic V., Lorenzo J.M., Barba F.J., Mörlein D., & Tomasevic I. (2020). What is the color of milk and dairy products and how is it measured? *Foods* 9: 1629.

Mu Q., Su H., Zhou Q., Xiao S., Zhu L., Xu X., Pan S., & Hu H. (2022). Effect of ultrasound on functional properties, flavor characteristics, and storage stability of soybean milk. *Food Chemistry* 381: 132158.

Muse M., & Hartel R.W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of Dairy Science* 87: 1-10.

Mykhalevych A., Polishchuk G., & Bass O. (2024). Determining the influence of plant-based proteins on the characteristics of dairy ice cream. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.

N

Næs T., Tomic O., Endrizzi I., & Varela P. (2021). Principal components analysis of descriptive sensory data: Reflections, challenges, and suggestions. *Journal of Sensory Studies* 36: e12692.

Ng C.K.Z., Leng W.Q., Lim C.H., & Du J. (2024). Physicochemical property characterization, amino acid profiling, and sensory evaluation of plant-based ice cream incorporated with soy, pea, and milk proteins. *Journal of Dairy Science* 107: 10268-10279.

Ng F.S.K., Chiang J.H., Ng G.C.F., Lee C.S.H., & Henry C.J. (2023). Effects of proteins and fats on the physicochemical, nutritional and sensory properties of plant-based frozen desserts. *International Journal of Food Science Technology* 58: 3912-3923.

O

Ozdemir C., Dagdemir E., Ozdemir S., & Sagdic O. (2008). The effects of using alternative sweeteners to sucrose on ice cream quality. *Journal of food quality* 31: 415-428.

P

Pathare P.B., Opara U.L., & Al-Said F.a.-J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioprocess Technology* 6: 36-60.

R

Randriamihamison N., Vialaneix N., & Neuvial P. (2021). Applicability and interpretability of Ward's hierarchical agglomerative clustering with or without contiguity constraints. *Journal of Classification* 38: 363-389.

Rincon L., Braz Assunção Botelho R., & De Alencar E.R. (2020). Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *Lwt* 128: 10.1016/j.lwt.2020.109479.

Rodriguez-Ramirez J., Mendez-Lagunas L., Lopez-Ortiz A., & Torres S.S. (2012). True density and apparent density during the drying process for vegetables and fruits: a review. *J Food Science* 77: R146-154 10.1111/j.1750-3841.2012.02990.x.

Rodríguez-Ramírez J., Méndez-Lagunas L., López-Ortiz A., & Torres S.S. (2012). True density and apparent density during the drying process for vegetables and fruits: A review. *Journal of food science* 77: R146-R154.

Roussos P.A., Sefferou V., Denaxa N.-K., Tsantili E., & Stathis V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae* 129: 472-478.



Said N.S., Olawuyi I.F., & Lee W.Y. (2023). Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications. *Gels* 9: 732.

Salehi F. (2021). Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science Nutrition* 9: 4666-4686.

Sethi S., Tyagi S.K., & Anurag R.K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J Food Sci Technol* 53: 3408-3423 10.1007/s13197-016-2328-3.

Shalabi O.M.a.K. (2023). Utilizing tiger nut milk to make a novel, healthy, functional ice milk. *Annals of Agricultural Sciences* 68: 118-125 10.1016/j.aogas.2023.11.003.

Sionek B., Szydłowska A., Trzaskowska M., & Kołożyn-Krajewska D. (2024). The impact of physicochemical conditions on lactic acid bacteria survival in food products. *Fermentation* 10: 298.

Snyder A.B., Martin N., & Wiedmann M. (2024). Microbial food spoilage: impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology* 22: 528-542.

Sözeri Atik D., & Hartel R.W. (2025). Microstructural, Rheological, and Melting Behavior of Plant-Based Frozen Desserts Produced From Soy and Pea Protein Isolates. *Journal of Texture Studies* 56: e70035.

Spence C. (2015). On the psychological impact of food colour. *Flavour* 4: 21.

—. (2019). On the relationship (s) between color and taste/flavor. *Experimental psychology*.

Spence C., Wan X., Woods A., Velasco C., Deng J., Youssef J., & Deroy O. (2015). On tasty colours and colourful tastes? Assessing, explaining, and utilizing crossmodal correspondences between colours and basic tastes. *Flavour* 4: 23.

Stone H., Oliver S., & Kloehn J. (1969). Temperature and pH effects on the relative sweetness of suprathreshold mixtures of dextrose fructose. *Perception Psychophysics* 5: 257-260.

Sunidhi G.S., Vij R., &Katoch S. (2021). Comparison of dairy milk with vegan milk of different types available in India. *The Pharma Innovation Journal* 10: 24-29.

Szydłowska A., Zielińska D., Sionek B., &Kołozyn-Krajewska D. (2024). Factors Affecting the Quality of Probiotic Plant-Based Frozen Desserts—The Authors' Own Experiments in the Context of the Literature. *Fermentation* 10: 10.3390/fermentation10060291.

T

Tekin E., Sahin S., &Sumnu G. (2017). Physicochemical, rheological, and sensory properties of low-fat ice cream designed by double emulsions. *European Journal of Lipid Science Technology* 119: 1600505.

Tsegay Z.T. (2020). Total titratable acidity and organic acids of wines produced from cactus pear (*Opuntia-ficus-indica*) fruit and *Lantana camara* (L. *Camara*) fruit blended fermentation process employed response surface optimization. *Food Science Nutrition* 8: 4449-4462.

V

Vaikma H., Maasikmets M., Kuldjärv R., Kutti M.-L., Rosenvald S., Straumite E., &Stulova I. (2025). Sensory perception and preferences of oat-based vanilla-flavoured frozen desserts among children (aged 8–16) and adults. *Food Quality Preference* 129: 105533.

W

Wang W., Chen H., Ke D., Chen W., Zhong Q., Chen W., &Yun Y.-H. (2020). Effect of sterilization and storage on volatile compounds, sensory properties and physicochemical properties of coconut milk. *Microchemical journal* 153: 104532.

Wójcik M., Szczepańska-Stolarczyk J., Woźniak Ł., Jasińska U.T., Trych U., Cywińska-Antonik M., Kosiński J., Kaniewska B., &Marszałek K. (2024). Evaluating the Impact of Microwave vs. Conventional Pasteurization on NFC Apple–Peach and Apple–Chokeberry Juices: A Comparative Analysis at Industrial Scale. *Applied Sciences* 14: 6008.

Y

Yanniotis S., Skaltsi S., &Karaburnioti S. (2006). Effect of moisture content on the viscosity of honey at different temperatures. *Journal of food engineering* 72: 372-377.

Z

Zagorska J., Stamere B.L., Galoburda R., Ciprova I., & Strausa E. (2024). Physical, Rheological and Nutritional Properties of Plant-Based Frozen Dessert. *Rural Sustainability Research* 52: 31-43.

Zakaria F.N., Hashim N.K., Dasiman R., & Malik A.S.A. (2019). Development of nutritious frozen dessert from fruit-fruit formulation: analysis of sensory and market survey. *Healthscope: The Official Research Book of Faculty of Health Sciences, UiTM* 2.

Annexes

Annexe I

Matériel utilisé

Tableau I: Liste du matériel utilisé.

Matériel		
● Aluminium	● Boîte en verre	● Flacons en verre
● Balance	● Casserole	● Film alimentaire
● Barreau magnétique	● Éprouvette	● Micropipette
● Becher	● Eppendorf	● Pissette
● Burette	● Erlenmeyer	● Pince
● Bec Bunsen	● Embouts	● Spatule
● Boîte de Petri	● Fiole	● Tube d'essai avec support

Annexe II

Appareillages utilisés



Figure 1. Bras mixeur (Brandt).



Figure 2. Bain Marie (Mettmert).

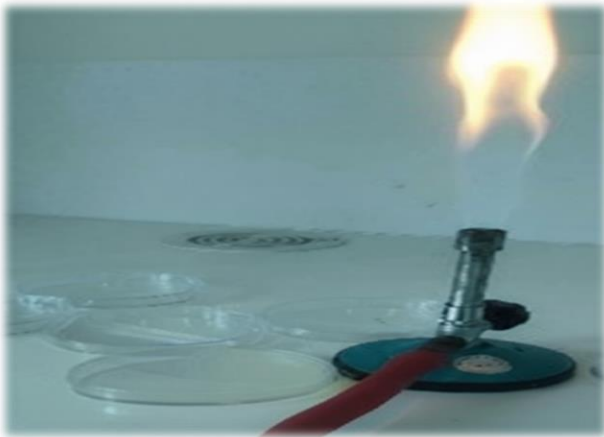


Figure 3. Bec Bunsen (OMM).



Figure 4. Spectromètre (SHIMADZU).



Figure 5. Incubateur microbiologique (Mettmert).



Figure 6. Plaque chauffante agitatrice



Figure 7. Réfractomètre (ATAGO PAL-1, Japan).



Figure 8. pH-mètre (HANNA, États-Unis).



Figure 9. Balance (Ming Heng Digital Scale, Chine)



Figure 10. Balance (RADWAG, Japan).

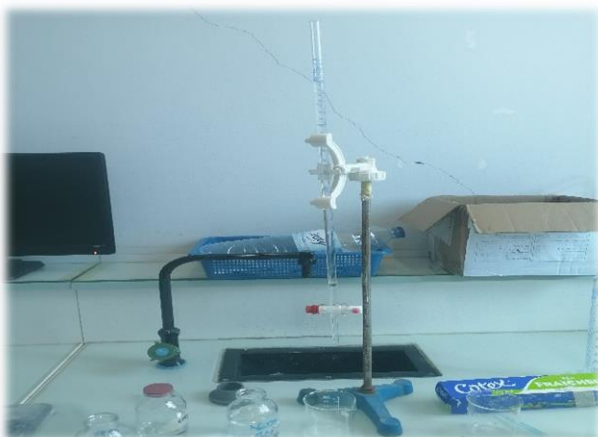


Figure 11. Burette de titrage.



Figure 12. Etuve.



Figure 13. Thermomètre numérique (WT-1).



Figure 14. Vortex (I Swix).



Figure 15. Viscosimètre (Chine).



Figure 16. Microonde.



Figure 17. Réfrigérateur (SAMSUNG).



Figure 18. Hachoir (Moulinex).



Figure 19. Autoclave (NUVE, Turquie).



Figure 20. Pycnomètre

Annexe III

Composition des milieux de culture utilisés

Gélose PCA

- Trypton.....5,0g
- Extrait de levure2,50 g
- Glucose1,0 g
- Agar.....12,0 g
- pH.....7,0 ± 0,2

Gélose VRBG

- Peptone.....7,00g
- Extrait de levure3,00 g
- Sels biliaires1,50 g
- Glucose.....10,0 g
- Chlorure de sodium5,0 g
- Rouge neutre (Neutral red)0,03 g
- Cristal violet 0,002 g
- Agar.....13,0g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH.....7,4 ± 0,2

Gélose Sabouraud

- Dextrose40,0 g
- Digestat pancréatique de tissus animaux..... 5,0 g
- Digestat pancréatique de caséine.....5,0 g
- Gélose15,0 g
- pH5,6 ± 0,2

Eau peptonée tamponnée (Buffered Peptone Water, BPW)

Pour 1 litre d'eau peptonée tamponnée

- Peptone.....10,0g
- Chlorure de sodium (NaCl)5,0 g
- Phosphate disodique ((Na₂HPO₄)3,56g
- Phosphate monopotassique (KH₂PO₄)1,5 g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH.....7,2± 0,2

Bouillon Rappaport-Vassiliadis soja (RVS)

- Peptone de soja4,50g
- Chlorure de sodium (NaCl)7,20g
- Phosphate dipotassique (K₂HPO₄)0,18g
- Phosphate monopotassique (KH₂PO₄)1,26 g
- Chlorure de magnésium hexahydraté (MgCl₂.6H₂O) 29,0g
- Vert de malachite..... 0,036g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH.....5.2 ± 0,2

Gélose Hektoen

- Peptone.....12,0g
- Extrait de levure3.0 g
- Lactose12,0g
- Saccharose.....12.0g
- Salicine.....2,0 g
- Sels biliaires.....9,0 g
- Chlorure de sodium.....5,0 g
- Thiosulfate de sodium..... 5,0 g
- Citrate ferrique ammoniacal.....1,5g
- Bleu de bromothymol.....65mg
- Fuchsine acide.....0,1g
- Agar agar.....13,5g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH.....7,4-7,7

Gélose Baird Parker

- Glycine.....12,0g
- Digest pancréatique of caséine10,0 g
- Pyruvate de sodium10,0 g
- Extrait de viande.....05,0 g
- Chlorure de lithium05,0 g
- Extrait de levure.....01,0 g
- Agar 20,0 g
- pH.....6,8

Gélose PALCAM

• Peptone.....	23,0g
• Extrait de levure	3,0 g
• Glucose.....	0,5g
• Amidon.....	1,0g
• D-mannitol.....	10,0 g
• Esculine.....	0,8 g
• Citrate ferrique ammoniacal.....	0,5g
• Chlorure de sodium.....	5,0 g
• Chlorure de lithium.....	15,0g
• Polymyxine B sulfate	10mg
• Ceftazidime	20mg
• Acriflavine.....	5,0mg
• Rouge de phénol.....	0,08g
• Agar agar.....	10,0g
pH.....	7,2± 0,2.

Préparation des solutions

Préparation de l'eau physiologique

NaCl	9 g
pH.....	5,5 à 7

Préparation du NaOH à 0,1N

Pour 100 ml

NaOH.....	4 g
-----------	-----

Préparation de la phénolphtaléine

7,5ml d'éthanol +2,5ml d'eau distillée.....	0.1 g
---	-------

Annexe IV

Préparation des laits végétaux



Noix de coco



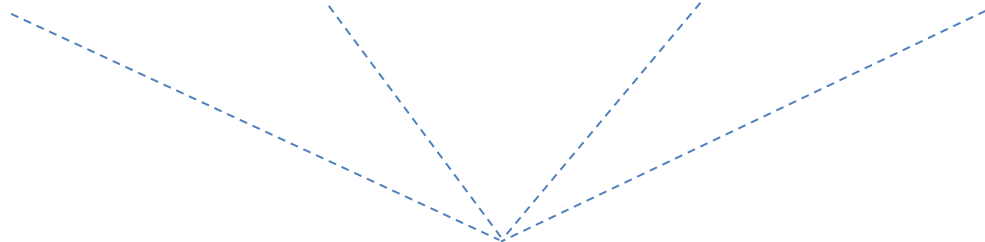
Amandes



Grains de Caroube



Grains de Pin d'Alep



Trempage



Égoutter et rincer



Mixer avec de l'eau



Filtrer



Conserver au frais (3 à 4 jours)



Figure 21. Schéma représentatif de différentes étapes de préparation des laits végétaux

Annexe V

Questionnaire d'Analyse Sensorielle

Nom : Prénom..... Age.....
 Sexe :..... Date.../.../.....

Quatre échantillons de dessert glacé codés A, B, C, D vous sont présentés.

Lisez attentivement les instructions. Effectuez les évaluations dans l'ordre demandé, prenez votre temps pour apprécier les attributs énumérés. Prenez à chaque fois une cuillère, soyez sûr d'avoir pris une quantité suffisante et consistante de glace. Rincez la bouche à l'eau avant d'évaluer chaque attribut.

Il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques et attribuer une appréciation selon des codes donnés :

1) Couleur

- 1 : N'est pas appréciée
- 2 : Peu appréciée
- 3 : Moyennement appréciée
- 4 : Bien appréciée
- 5 : Très bien appréciée

A	B	C	D

2) Odeur

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

3) Texture

Examinez l'échantillon, la texture, et son uniformité :

- 1 : Mole
- 2 : Assez dure
- 3 : Dure
- 4 : Surface non uniforme,
- 5 : Rugueuse, présence de cristaux de glace ou autre

A	B	C	D

4) Homogénéité

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

5) Cristallisation

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

6) Saveur sucrée

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

7) Saveur acide

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

8) Astringence

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

9) Arrière-goût

- 1 : Absent
- 2 : Faible
- 3 : Moyen
- 4 : Fort
- 5 : Très fort

A	B	C	D

10) Texture en bouche

- 1 : Très lisse
- 2 : Lisse
- 3 : Moyenne
- 4 : Granuleuse
- 5 : Très granuleuse

A	B	C	D

11) Consistance en bouche

- 1: Trop Molle
- 2 : Molle
- 3 : Moyenne
- 4 : Gélifiante
- 5 : Très gélifiante

A	B	C	D

12) Arôme identifié

A	B	C	D

13) Goût identifié

A	B	C	D

14) Attribuez une note de 1 à 9 pour chaque échantillon selon votre préférence, sachant que 1 correspond le moins préféré et 9 au plus préféré comme présenté dans l'échelle ci-dessous :

- 1 : Extrêmement désagréable,
- 2 : très désagréable,
- 3 : Désagréable,
- 4 : Assez désagréable
- 5 : Ni agréable ni désagréable,
- 6 : Désagréable,
- 7 : Agréable,
- 8 : Très agréable
- 9 : Extrêmement agréable

15) Quelles sont les caractéristiques qui ont motivé votre préférence :

- 1 : La couleur
- 2 : Le goût
- 3 : La texture
- 4 : La consistance
- 5 : L'odeur

A	B	C	D

Autre :.....

1) Remarque

.....

Merci pour votre coopération

Résumé

Les desserts glacés traditionnels sont souvent critiqués pour leur teneur élevée en sucres, en graisses et en additifs. Dans ce contexte, ce travail a porté sur la conception de sorbets innovants, formulés à partir de laits végétaux et d'ingrédients naturels, sans recours aux additifs artificiels. L'originalité de l'étude repose sur l'utilisation du lait des graines de pin d'Alep, une ressource locale riche en nutriments et encore peu valorisée.

Quatre formulations (A, B, C et D) ont été élaborées et soumises à des analyses microbiologiques, physico-chimiques et sensorielles. Les résultats ont confirmé une charge des germes aérobies mésophiles comprise entre 2×10^2 et $3,4 \times 10^2$ UFC/g, nettement inférieure aux normes autorisées par le JORA (2017), une absence de coliformes totaux, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* et *Listeria monocytogenes* pour tous les échantillons testés, et une stabilité sanitaire après 15 jours et 30 jours de stockage. Les sorbets ont montré des différences significatives : l'acidité, la matière sèche, le °Brix et la viscosité sont maximales pour les formulations riches en miel et citron (notamment D et C), tandis que A a le foisonnement le plus élevé et B fond le plus vite. Les résultats ont souligné que la densité réelle augmente avec les sucres et minéraux ; la densité apparente est inversement liée à l'air incorporé et influence la texture et la résistance à la fonte. L'analyse sensorielle a noté une bonne appréciation par le panel de dégustateurs pour l'échantillon B (100 %).

Ce travail démontre la faisabilité de proposer des sorbets végétaux alliant sécurité, valeur nutritionnelle et attrait sensoriel, tout en ouvrant de nouvelles perspectives pour la valorisation des ressources naturelles locales.

Mots clés : Sorbet, laits végétaux, ingrédients naturels, lait de pin d'Alep, analyse microbiologique.

Abstract

Traditional frozen desserts are often criticised for their high content of sugars, fats, and additives. In this context, this study focused on the development of innovative sorbets, formulated from plant-based milks and natural ingredients, without the use of artificial additives. The originality of the work lies in the use of milk from Aleppo pine seeds, a local resource rich in nutrients and still underexploited.

Four formulations (A, B, C, and D) were prepared and subjected to microbiological, physicochemical, and sensory analyses. The results confirmed an aerobic mesophilic germ load ranging from 2×10^2 to 3.4×10^2 CFU/g, well below the limits authorized by JORA (2017), and the absence of total coliforms, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, and *Listeria monocytogenes* in all tested samples, with sanitary stability after 15 and 30 days of storage. The sorbets showed significant differences: acidity, dry matter, °Brix, and viscosity were highest in the formulations rich in honey and lemon (notably D and C), whereas A showed the highest overrun, and B melted the fastest. The results highlighted that real density increases with sugars and minerals, while apparent density is inversely related to the amount of incorporated air and influences texture and melting resistance. Sensory evaluation reported a good appreciation by the tasting panel for sample B (100%).

This work demonstrates the feasibility of producing plant-based sorbets combining safety, nutritional value, and sensory appeal, while opening new perspectives for the valorisation of local natural resources.

Keywords: Sorbet, plant-based milks, natural ingredients, Aleppo pine milk, microbiological analysis.

المخلص

غالبًا ما تُنتقد الحلويات المجددة التقليدية بسبب محتواها العالي من السكريات والدهون والمواد المضافة. وفي هذا السياق، ركّز هذا العمل على تصميم مثلجات مبتكرة (سوربيه) مصنوعة من مكونات طبيعية، دون اللجوء إلى المواد المضافة الاصطناعية. وتكمن أصالة هذه الدراسة في استخدام حليب بذور الصنوبر الحلبي، وهو مورد محلي غني بالعناصر الغذائية ولم يُستغل بشكل كافٍ بعد.

تم إعداد أربع تركيبات (أ، ب، ج و د) وخضعت لتحاليل ميكروبيولوجية، فيزيائية-كيميائية حسية. أكدت النتائج وجود حمولة من الجراثيم الهوائية المعتدلة الحرارة تتراوح بين 2×10^2 و $3,4 \times 10^2$ UFC/G، واهي أقل بكثير عن الحدود المسموح بها في الجريدة الرسمية الجزائرية 2017، وعدم وجود القولونيات الكلية، والسالمونيلا، والمكورات العنقودية الذهبية، والليستيريا في جميع العينات، مع ثبات صحي بعد 15 و 30 يومًا من التخزين. وقد أظهرت المثلجات فروقًا معنوية: كانت الحموضة، والمادة الجافة، ودرجة البريكس، واللزوجة في أعلى مستوياتها في التركيبات الغنية بالعلسل والليمون خاصة ج و د، بينما سجلت التركيبة أ أعلى معدل إدخال هواء، وذابت بشكل أسرع. وأبرزت النتائج أن الكثافة الحقيقية تزداد مع السكريات والمعادن، في حين أن الكثافة الظاهرية ترتبط عكسيًا بالهواء المدخل وتؤثر على القوام ومقاومة الذوبان. وأظهرت التحاليل الحسية استحسانًا جيدًا من لجنة التذوق للعينات ب بنسبة 100%. تُظهر هذه الدراسة إمكانية إنتاج سوربيه يجمع بين السلامة والقيمة الغذائية والجاذبية الحسية، مع فتح آفاق جديدة لاستغلال الموارد الطبيعية المحلية.

الكلمات المفتاحية: سوربيه، حليب نباتي، مكونات طبيعية، لبن الصنوبر الحلبي، تحليل ميكروبيولوجي.