

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad DAHLAB Blida 1
Institut des Sciences et Techniques Appliquées

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

En Sciences Alimentaires

Spécialité : **Technologie Alimentaire**

Présenté par :

M^{lle}.BENAROUS Nihad

**Formulation et caractérisation d'un dessert
glacé fonctionnel**

Devant le Jury composé de :

Dr. BOUKHARI Nabil	MCB, ISTA, USDB 1	Président
Dr. ATTAL Fella Sara	MCB, ISTA, USDB 1	Examinatrice
Dr. HAMOUDA ALI I.	MCA, ISTA, USDB 1	Promotrice

Année universitaire 2025/2024

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad DAHLAB Blida 1
Institut des Sciences et Techniques Appliquées

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

En Sciences Alimentaires

Spécialité : **Technologie Alimentaire**

Présenté par :

M^{lle}.BENAROUS Nihad

**Formulation et caractérisation d'un dessert
glacé fonctionnel**

Devant le Jury composé de :

Dr. BOUKHARI Nabil	MCB, ISTA, USDB 1	Président
Dr. ATTAL Fella Sara	MCB, ISTA, USDB 1	Examinatrice
Dr. HAMOUDA ALI I.	MCA, ISTA, USDB 1	Promotrice

Année universitaire 2025/2024

RESUME

Dans un contexte mondial de transition vers une alimentation plus durable et fonctionnelle, les produits végétaux à haute valeur nutritionnelle représentent une alternative prometteuse aux produits laitiers traditionnels. *Lupinus luteus* (lupin jaune), riche en protéines, en fibres et en composés bioactifs, c'est une légumineuse peu exploitée dans les formulations des desserts glacés.

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'un nouveau dessert glacé fonctionnel, 100 % végétal, à base de lait de lupin jaune (*Lupinus luteus*), sans aucuns ingrédients d'origine animale.

Les graines de *Lupinus luteus* ont été désamérisées par trempage (72 h), puis utilisées pour extraire le lait végétal. Le résidu solide a été transformé en farine de lupin. Huit formules de desserts glacés ont fait l'objet de cette étude afin de déterminer la meilleure formule sur le plan nutritionnel et sensoriel.

Le trempage a permis une élimination totale des alcaloïdes, avec une préservation de la valeur nutritionnelle.

Le lait de lupin obtenu présentait une faible densité énergétique (13,37 kcal/100 mL), une richesse en polyphénols (15,08 mg GAE/g MS) et en flavonoïdes (0,62 mg EQ/g MS), ainsi qu'un comportement pseudoplastique favorable à la transformation.

La stabilité microbiologique a été assurée pendant 18 jours à 4 °C. La formulation F1 s'est distinguée par son bon équilibre nutritionnel (36,54 % d'extrait sec total, 20,69 % de protéines, 13,13 % de lipides) et par sa forte acceptabilité sensorielle.

Les résultats confirment la faisabilité technologique de l'utilisation du *Lupinus luteus* dans un dessert glacé fonctionnel, sans aucuns ingrédients d'origine animale, alliant qualité nutritionnelle, hygiénique et sensorielle. Cette étude ouvre des perspectives pour l'exploitation de cette légumineuse dans des produits innovants, durables et adaptés aux régimes végétariens, tout en encourageant la substitution des ingrédients raffinés ou d'origine animale.

Mots-clés : dessert glacé, aliment fonctionnel, lait de lupin, formulation, propriétés nutritionnelles, qualité sensorielle.

ABSTRACT

In a global context of transition toward more sustainable and functional diets, plant-based products with high nutritional value represent a promising alternative to traditional dairy products. *Lupinus luteus* (yellow lupin), rich in proteins, fibers, and bioactive compounds, is an underutilized legume in frozen dessert formulations.

The objective of this study is to develop a new functional plant-based ice dessert using yellow lupin (*Lupinus luteus*) milk, without any animal-origin ingredients. *Lupinus luteus* seeds were debittered through soaking (72 h) and then used to extract plant-based milk. The solid residue was processed into lupin flour. Eight frozen dessert formulations were studied to determine the best one in terms of nutritional and sensory qualities. Soaking resulted in complete removal of alkaloids while preserving the nutritional value. The resulting lupin-based milk exhibited low energy density (13.37 kcal/100 mL), high polyphenol content (15.08 mg GAE/g DM), and flavonoids (0.62 mg QE/g DM), as well as a pseudoplastic behavior favorable to processing.

Microbiological stability was maintained for 18 days at 4°C. Formulation F1 stood out for its good nutritional balance (36.54% total solids, 20.69% proteins, 13.13% lipids) and strong sensory acceptability.

The results confirm the technological feasibility of using *Lupinus luteus* in a functional frozen dessert without any animal-origin ingredients, combining nutritional, hygienic, and sensory quality. This study opens up perspectives for the exploitation of this legume in innovative, sustainable products adapted to vegetarian diets while promoting the substitution of refined or animal-based ingredients.

Keywords : frozen dessert, functional food, lupin milk, formulation, nutritional properties, sensory quality.

الملخص

في سياق عالمي يشهد تحولاً نحو نظام غذائي أكثر استدامة ووظائفية، تعد المنتجات النباتية ذات القيمة الغذائية العالية بديلاً واعداً للمنتجات اللبنية التقليدية.

يعد *Lupinus luteus* (الترمس الأصفر) من البقوليات الغنية بالبروتينات، والألياف، والمركبات الحيوية الفعالة، ومع ذلك فهو قليل الاستخدام في تركيبات التحلّيات المثلّجة.

يهدف هذا البحث إلى تطوير تحلية مثلجة وظيفية جديدة، 100% نباتية، تعتمد على حليب الترمس الأصفر (*Lupinus luteus*) دون أي مكونات من أصل حيواني.

تمت إزالة الطعم المر من بذور الترمس عن طريق النقع لمدة 72 ساعة، ثم استخدمت لاستخلاص الحليب النباتي، فيما تم تحويل البقايا الصلبة إلى دقيق الترمس.

تمت دراسة ثمانية تراكيب مختلفة من التحلية مثلجة لتحديد أفضلها من حيث القيمة الغذائية والقبول الحسي.

أدى النقع إلى إزالة كاملة للقلويدات مع الحفاظ على القيمة الغذائية.

أظهر الحليب النباتي الناتج كثافة طاقوية منخفضة (13.37 كيلو كالوري / 100 مل)، واحتوى على نسبة مرتفعة من البوليفينولات (15.08 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ المادة الجافة) والفلافونويدات (0.62 ملغ مكافئ كيرسيتين/غ المادة الجافة)، إضافة إلى سلوك شبه بلاستيكي يسهل عملية التحويل.

كما تم الحفاظ على الاستقرار الميكروبيولوجي لمدة 18 يوماً عند 4 درجات مئوية. تميزت التركيبة F1 بتوازنها الغذائي الجيد (36.54% مستخلص جاف كلي، 20.69% بروتينات، 13.13% دهون) وقبول حسي مرتفع.

تؤكد النتائج جدوى استخدام *Lupinus luteus* في تصنيع تحلية مثلجة وظيفية خالية تماماً من المكونات الحيوانية، تجمع بين الجودة الغذائية والميكروبيولوجية والحسية.

وتفتح هذه الدراسة آفاقاً لاستغلال هذا النوع من البقوليات في منتجات مبتكرة ومستدامة، تتناسب الأنظمة الغذائية النباتية، وتدعم استبدال المكونات المكررة أو الحيوانية.

الكلمات المفتاحية: تحلية مثلجة، غذاء وظيفي، حليب الترمس، التركيب، الخصائص الغذائية، الجودة الحسية.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à Dieu, Allah le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, le courage et la patience nécessaires tout au long de ce parcours.

J'adresse mes remerciements les plus profonds à **Dr. HAMOUDA ALI Imane**, Maître de conférences « A » à l'ISTA (Université de Blida 1), pour son encadrement bienveillant, sa confiance, ses efforts constants et sa grande disponibilité. Ses conseils avisés ont été d'un soutien précieux tout au long de la réalisation de ce travail.

Je remercie également **Dr. BOUKHARI Nabil**, Maître de conférences « B » à l'ISTA (Université de Blida 1), de m'avoir fait l'honneur de présider le jury d'évaluation.

Mes sincères remerciements vont également à **Dr. ATTAL Fella Sara**, Maître de conférences « B » à l'ISTA, pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Je tiens à adresser un remerciement particulier à **Mme HALOUANE Isma**, Directrice du laboratoire de la répression des fraudes (Wilaya de Blida), pour m'avoir chaleureusement accueillie au sein du laboratoire.

Je suis également reconnaissante envers **Mme MESSAD Yasmine**, chef de Département de microbiologie, et **Mme BENLALAM**, chef de Département de physico-chimie, pour leur encadrement et leur accompagnement tout au long de mon stage pratique. Mes remerciements vont aussi à **Mme Soumia** (laborantienne en laboratoire de physico-chimie), **Mme LAKHMI Nourelhouda** et **Mme MOKRANE Sarah** (laborantines en laboratoire de microbiologie) pour leur aide

précieuse et pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de cette étude.

Je tiens aussi à remercier l'entreprise **Kwality Food Orso Glaces – Boumerdès** pour m'avoir accueillie dans le cadre de mon deuxième stage, ainsi que **Madame SADEG Ferial**, maître de stage, pour son accompagnement, sa disponibilité et ses conseils durant cette période.

Je remercie chaleureusement toute l'équipe du laboratoire de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA – Université de Blida 1), en particulier **Mme BELARBI N.** et **Mr. SAHOUANE A.**, pour leur soutien technique.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à **Mr. MESBAIH Ishak**, **Melle BELABID Chahinez**, **Melle BELLATAF Maoua**, **Melle BENSGHIRNasiba** et **Melle MEDIG Bouchra** pour leur précieuse aide, leurs conseils scientifiques, leur bienveillance et leur disponibilité. Leur soutien, tant humain que technique, a grandement contribué à la réussite de ce projet.

Enfin, je remercie du fond du cœur mes chers parents pour leur soutien indéfectible tout au long de mes études, ainsi que toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

RESUME	3
REMERCIEMENTS	6
LISTE DES FIGURES	12
LISTE DES TABLEAUX.....	14
LISTE DES ABREVIATIONS.....	15
INTRODUCTION	16
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
CHAPITRE I: GRAINES DE LUPIN	3
I.1. Aperçu général sur le lupin.....	3
I.2. Historique d'utilisation du lupin.....	3
I.3. Caractérisation physico-chimique du lupin	4
I.3.1. Macronutriments	4
I.3.2. Alcaloïdes	4
I.3.3. Éléments antinutritionnels	5
I.4. Valeur nutritionnelle des grains de lupin.....	5
I.5. Culture du lupin	6
I.6. Types de lupin cultivé.....	6
I.6.1. Lupin à feuilles étroites (<i>Lupinus angustifolius</i>).....	6
I.6.2. Lupin blanc (<i>Lupinus albus</i>).....	6
I.6.3. Le lupin perlé (<i>Lupinus mutabilis</i>)	7
I.6.4. Lupin jaune (<i>Lupinus luteus</i>).....	7
I.6.4.1. Description botanique et position taxonomique.....	8
I.6.4.2. Intérêts agronomiques et environnementaux	9
I.6.4.3. Intérêt nutritionnel et fonctionnel	9
I.6.4.4. Composés bioactifs et facteurs antinutritionnels	11
I.6.4.5. Effets fonctionnels et bénéfices physiologiques du lupin jaune	12
CHAPITRE II : ALIMENT FONCTIONNEL	13
II.1. Définition des laits végétales	13
II.2. Différents types de boissons végétales	13
II.1.1. Le lait de lupin.....	14
II.1.1.1. Définition de lait de lupin	14

II.1.1.2.	Composition nutritionnelle de lait de lupin.....	14
II.1.1.3.	Préparation de lait de lupin	14
II.1.1.4.	Déférence entre lait de vache et lait de lupin	15
II.2.	Définition des glaces alimentaires	16
II.3.	Classification des glaces	16
II.3.1.	Crème glacée	16
II.3.1.1.	Structure	17
II.3.1.2.	Composition des crèmes glacées.....	17
II.3.1.3.	Procédé de fabrication de la crème glacée	20
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE.....		23
CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES		24
I.1.	Lieux de stage	27
I.1.1.	Présentation du laboratoire de contrôle de qualité et de répression des fraudes – Blida	27
I.1.2.	Présentation de l'entreprise Kwalit Food Orso Glaces – Boumerdès	28
I.2.	Matériel.....	28
I.2.1.	Matériel biologique	28
I.2.2.	Appareillages.....	29
I.2.3.	Produits chimiques et réactifs.....	29
I.3.	Méthodologie	30
I.3.1.	Préparation et traitement des graines de lupin.....	30
I.3.2.	Caractérisation physico-chimique des graines de lupin avant et après traitement	30
I.3.2.1.	Poids de 1000 graines (FAO/ICARDA. 2001)	30
I.3.2.2.	La détermination du Potentiel d'Hydrogène (pH) (CACHAU-HERREILLAT., 2009).	30
I.3.2.3.	Mesure de l'acidité (BHAT et AL., 2011)	30
I.3.2.4.	Teneur en humidité (AACC 44-01 2000)	31
I.3.2.5.	Teneur en cendres (AACC Method 08-01 2000).....	32
I.3.2.6.	Protéines brutes (AACC Method 46-12 2000)	32
I.3.2.7.	Matières grasses(AACC Method 30–25 2000).....	32
I.3.2.8.	Activité de l'eau (aw) (ISO 21807 :2004)	33
I.3.2.9.	Polyphénols totaux (TPC)(Shahidi, F., &Nacz, M. (2003))	33
I.3.2.10.	Détection qualitative des alcaloïdes (réaction de précipitation)	33

I.3.2.12.	Détermination de la teneur en sucres (Dubois et al. 1956)	34
I.3.3.	Préparation du lait de lupin	34
I.3.4.	Analyses physico-chimiques, microbiologie et sensorielle du lait de lupin.....	36
I.3.4.1.	Caractérisation physico-chimique.....	36
I.3.4.1.1.	Potentiel d'hydrogène (pH)	36
I.3.4.1.2.	Acidité titrable	36
I.3.4.1.3.	Rendement de lait du lupin	36
I.3.4.1.4.	La densité.....	36
I.3.4.1.5.	Matière grasse (méthode de gerber)	37
I.3.4.1.6.	Teneur en protéines.....	37
I.3.4.1.7.	Humidité	38
I.3.4.1.8.	Cendres	38
I.3.4.1.9.	Polyphénols totaux.....	38
I.3.4.1.10.	Dosage des sucres totaux	38
I.3.4.1.11.	Analyse de la viscosité.....	39
I.3.4.2.	Caractérisation microbiologique du lait de lupin	39
I.3.4.2.1.	Préparation de l'échantillon et des dilutions.....	39
I.3.4.2.2.	Méthodologie d'analyse.....	40
I.3.4.2.2.1.	Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	41
I.3.4.2.2.2.	Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale	41
I.3.4.2.2.3.	Dénombrement des staphylocoques à coagulase positive.....	41
I.3.4.2.2.4.	Recherche des Salmonelles	41
I.3.4.2.2.5.	Dénombrement des bactéries sulfite-réductrices (Clostridium spp.)	42
I.3.4.2.2.6.	Dénombrement des levures et moisissures	42
I.3.5.	Préparation du beurre de cacahuète.....	42
I.3.6.	Caractérisation physico-chimique et microbiologique du beurre de cacahuète	42
I.3.7.	Formulation du dessert glacé.....	43
I.3.8.	Analyses physico-chimiques des mixes	44
I.3.8.1.	Détermination de l'extrait sec total	45
I.3.8.2.	Mesure de la température.....	45
I.3.8.3.	Détermination de la masse volumique	45
I.3.8.4.	Mesure du pH.....	45
I.3.8.5.	Détermination de l'acidité titrable	46

I.3.8.6.	Teneur en matières grasses	46
I.3.8.7.	Extrait sec dégraissé (ESD).....	46
I.3.8.8.	Teneur en protéines	46
I.3.8.9.	Teneur en cendres	46
I.3.8.10.	Dosage des sucres totaux	46
I.3.8.11.	Détermination des glucides totaux et de l'amidon	46
I.3.8.12.	Calcul de la valeur énergétique	47
I.3.9.	Analyses physico-chimiques des desserts glacée	47
I.3.9.1.	Analyse de l'incorporation d'air (Overrun)	47
I.3.10.	Préparation du dessert glacé	47
I.3.11.	Étude sensorielle.....	49
I.3.12.	Étude statistique	49
CHAPITRE II :	RÉSULTATS ET DISCUSSION	50
II.1.	Caractéristiques physico-chimiques des graines de lupin	50
II.2.	Caractérisation du lait de lupin	55
II.2.1.	Caractéristiques physico-chimiques du lait de lupin	55
II.2.2.	Analyse du comportement rhéologique de lait de lupin.....	57
II.2.3.	Suivi du pH et d'acidité du lait de lupin.....	58
II.2.4.	Suivi microbiologique du lait de lupin	59
II.3.	Caractérisation du beurre d'arachide	61
II.3.1.	Caractéristiques physico-chimiques	61
II.3.2.	Qualité microbiologique du beurre d'arachide.....	62
II.4.	Caractérisation des formules (Mix)	63
II.4.1.	Caractérisation physico-chimique	63
II.4.2.	Incorporation d'air dans les différentes formules de crème glacée	69
II.4.3.	Caractérisation de la qualité organoleptique	70
II.4.4.	L'analyse en composantes principales (ACP) des analyses physicochimiques	76
CONCLUSION		83
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		77
BIBLIOGRAPHIE		3
ANNEXES		3

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lupin jaune (<i>Lupinus luteus</i> L.) (auJardin.info)	8
Figure 2: Structure d'une crème glacée(Olivier, 2013).....	17
Figure 3:Diagramme de fabrication du lait de lupin	35
Figure 4:Diagramme de fabrication du dessert glacé	48
Figure 5: Courbes d'écoulement montrant l'évolution de la viscosité de cisaillement pour le lait à base de lupin.	57
Figure 6: Suivi du pH de lait de lupin au cours de l'entreposage à 4°C.	58
Figure 7: Suivi de l'acidité de lait de lupin au cours de l'entreposage à 4°C	59
Figure 8 : pH des différentes formules de dessert glacé (F1 à F8) comparées au témoin.....	64
Figure 9 : masse volumique (g/mL) des différentes formules de dessert glacéet témoin	65
Figure 10: Teneurs en extrait sec total (EST %) des formules expérimentales et du témoin ..	66
Figure 11 : Teneurs en cendres (%) dans les huit formules végétales de dessert glacé et le témoin.....	66
Figure 12 : Teneurs en matières grasses (MG %) des formules à base de lait de lupin et du témoin.....	67
Figure 13: Teneurs en protéines (%) des formules à base de lait de lupin et du témoin	68
Figure 14:Teneurs en sucre (%) des formules à base de lait de lupin et du témoin	69
Figure 15: Degré d'acceptabilité d'aspect des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.	70
Figure 16 :Degré d'acceptabilité de la couleur des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.	71
Figure 17 :Degré d'acceptabilité de l'odeur des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.	72
Figure 18: Degré d'acceptabilité de la texture des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.	73
Figure 19: Degré d'acceptabilité de la consistance des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin	74
Figure 20: Degré d'acceptabilité de l'arôme des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin	74

Figure 21 : Degré d'acceptabilité du gout des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.	75
Figure 22: Scree plot des valeurs propres issues de l'analyse en composantes principales (ACP).....	76
Figure 23: Cercle des corrélations des variables physico-chimiques projetées sur le plan F1 × F2.....	78
Figure 24: Projection des formules sur le plan factoriel F1 × F2 issu de l'ACP	80
Figure 25: Classification hiérarchique ascendante (CHA) des formules basée sur leurs paramètres physico-chimiques	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Valeur nutritionnelle des grains de lupin pour 100 g de produit (Laurent, 2017)...	5
Tableau 2 : Composition nutritionnelle du lupin jaune (<i>Lupinus luteus</i>) comparée au tourteau de soja (g/kg de matière sèche) (Panasiewicz, 2022 ; Ibáñez et al., 2020)	10
Tableau 3 : Teneur moyenne en acides aminés essentiels du lupin jaune comparée au tourteau de soja (g/kg de protéines).....	11
Tableau 4 : L'effet du foisonnement sur la taille des cristaux de glaces et des bulles d'air ...	19
Tableau 5 Tests rhéologiques effectués en géométrie double Couette	39
Tableau 6 : Les analyses microbiologiques ont été réalisées conformément aux normes JORA N° 58/2017	40
Tableau 7: Microorganismes recherchés dans le beurre de cacahuète, milieux utilisés, modalités d'ensemencement et conditions d'incubation.....	43
Tableau 8: Composition des huit formules végétales (F1 à F8) en g / 100g	44
Tableau 9 : Composition de la formule témoin (T1).....	44
Tableau 10: résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des graines de lupin avant et après trempage (n=3).....	50
Tableau 11: résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques du lait de lupin.	56
Tableau 12: résultats du suivi de la qualité microbiologique du lait de lupin durant 27 jours de stockage à 4 °C.	60
Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques du beurre d'arachide	61
Tableau 14 : résultats microbiologiques du beurre d'arachide (J1) et comparaison aux normes	62
Tableau 15: Résultats des analyses physico-chimiques des huit formules de dessert glacé végétal et de la formule témoin	63
Tableau 16: les valeurs calculées du pourcentage d'overrun	69

LISTE DES ABREVIATIONS

AT : Acidité titrable

EAS : East African Standards

EST : Extrait sec total

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

HPMC : Hydroxypropyl Methylcellulose

J : Jour

JORA : Journal officiel de la République algérienne

KOH : Hydroxyde de potassium

MA : Matière azotée

pH : Potentiel hydrogène (indice d'acidité)

°C : degrés Celsius

UFC : Unité formant colonie

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'alimentation contemporaine connaît de profondes mutations, sous l'effet d'une prise de conscience accrue du lien entre nutrition, santé et environnement. Dans un contexte marqué par l'augmentation des maladies métaboliques, les intolérances alimentaires, les préoccupations environnementales et les enjeux de durabilité, les consommateurs recherchent de plus en plus des produits à la fois sains, naturels, fonctionnels et respectueux de l'environnement. Parmi ces produits, les aliments fonctionnels, qui apportent des bénéfices physiologiques démontrés en plus de leur valeur nutritionnelle, suscitent un intérêt croissant (**Onwulata C.I., 2013 ; Iahtisham-Ul-Haq M. et al., 2019**).

Dans ce cadre, la crème glacée, aliment très apprécié à travers le monde, constitue une matrice de choix pour l'innovation fonctionnelle. Sa consommation est universelle, avec des ventes mondiales estimées à 75 milliards de dollars américains d'ici 2024 (**Bedford E., 2022**). Toutefois, sa formulation classique, riche en sucres et en graisses saturées, pose problème d'un point de vue nutritionnel, notamment dans le contexte croissant de l'obésité et des troubles associés (**Gustavsen G.W. et al., 2008 ; Krystyjan M. et al., 2015**). La crème glacée n'est pas assez riche en antioxydants tels que les composés phénoliques, les fibres alimentaires, les minéraux ou les vitamines (**Hwang J.-Y. et al., 2009**).

Face à ces enjeux, l'élaboration de crèmes glacées fonctionnelles 100 % végétal, sans additifs synthétiques (tels que colorants, arômes, etc.), représente une solution prometteuse (**Bigliardi B. et al., 2013 ; Durmaz Y. et al., 2020 ; Reque P.M. et al., 2021**). Ces produits permettent de concilier plaisir gustatif et bénéfices pour la santé, tout en répondant à l'évolution des attentes des consommateurs vers des aliments naturels et technologiquement innovants.

Le développement de tels produits passe nécessairement par une exploitation des ressources végétales, telles que les légumineuses, en raison de leur richesse nutritionnelle et de leur potentiel fonctionnel. Parmi celles-ci, les plantes du genre *Lupinus*, appartenant à la famille des Fabaceae, attirent un intérêt croissant. Ce genre comprend plusieurs espèces, dont quatre sont cultivées à des fins alimentaires ou fourragères : *Lupinus albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus* et *L. mutabilis* (**Abraham E.M. et al., 2019**). Le lupin est reconnu pour sa forte teneur en protéines, en fibres alimentaires, en acides gras insaturés, ainsi qu'en composés bioactifs tels que les polyphénols et les peptides (**Rochfort S. et al., 2007 ; Duranti M. et al., 2008 ; Pastor-Cavada E. et al., 2009**). Ces qualités nutritionnelles, combinées à sa capacité à croître dans des sols pauvres et à fixer l'azote atmosphérique, font du lupin une culture à haute valeur agronomique

et environnementale (Huyghe C., 1997 ; Lucas M.M. *et al.*, 2015 ; Gresta F. *et al.*, 2017). En particulier, *Lupinus luteus* (lupin jaune) se distingue par sa teneur élevée en protéines et son bon profil en acides aminés essentiels, malgré une légère déficience en acides aminés soufrés (Chiofalo B. *et al.*, 2012 ; Ogura T. *et al.*, 2013 ; Omer M.A.M. *et al.*, 2016).

Cependant, la présence de facteurs antinutritionnels comme les alcaloïdes quinolizidines toxiques et amers, ayant une toxicité aiguë modérée, constitue une limite. La DL50 de la lupanine, qui est le plus abondant de ces alcaloïdes dans le lupin, est de 0,41 g/kg pour une ingestion orale chez les rats (Authority A.N.Z.F., 2001 ; Jimenez-Martinez C. *et al.*, 2001). Le lupin contient aussi des inhibiteurs de trypsine ou encore de l'acide phytique, ce qui peut limiter son utilisation alimentaire directe (Erbaş M. *et al.*, 2005 ; Musco N. *et al.*, 2017). Par ailleurs, les graines de lupin désamérisées peuvent être appelées « lupin doux » lorsque la teneur en alcaloïdes est réduite à moins de 0,2 g/kg, ce qui correspond à la concentration maximale autorisée pour une consommation sans danger (Authority A.N.Z.F., 2001).

Toutefois, certains procédés de transformation tels que le trempage, la cuisson ou la fermentation permettent de réduire significativement leur concentration, améliorant ainsi la digestibilité et la sécurité du produit final (Enneking D. *et al.*, 2000 ; Pieper R. *et al.*, 2016). Ces méthodes ouvrent la voie à une intégration du lupin dans des formulations alimentaires innovantes, notamment comme substitut végétal dans des produits traditionnellement d'origine animale.

Le lait végétal extrait du lupin a été étudié pour la fabrication de substituts au yaourt, de boissons enrichies ou de produits fermentés (Mohamed, S. A., *et al.*, 2019 ; Çebi, K., & Yanglar, F., 2025). Toutefois, son application dans les formulations glacées reste très peu documentée, en particulier en ce qui concerne *Lupinus luteus*. Cette lacune dans la littérature scientifique révèle l'intérêt d'explorer son potentiel technologique et fonctionnel dans l'élaboration de produit glacé innovant. De plus, la majorité des crèmes glacées commercialisées sont encore formulées à base de graisses animales et de sucres raffinés, ce qui soulève des préoccupations sur le plan de la santé publique.

Dans ce contexte, ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'exploitation du lupin jaune dans la formulation d'un dessert glacé 100 % végétal, sans aucuns ingrédients d'origine animale.

Il nous paraît de s'interroger : Comment peut-on préparer un dessert glacé, 100% Végétal, à la fois fonctionnel, nutritif et acceptable sur le plan sensoriel ? et comment éliminer les facteurs antinutritionnels ?

Le plan adopté suit une démarche progressive allant de la caractérisation des matières premières jusqu'à l'évaluation du produit fini, afin de structurer de manière cohérente l'étude de faisabilité et de valorisation de cette légumineuse dans un contexte innovant.

Ce mémoire est structuré en trois grandes parties :

- **Chapitre I** : revue bibliographique sur le lupin, les laits végétaux et les crèmes glacées.
- **Chapitre II** : méthodologie expérimentale, décrivant les matériaux, les procédés de fabrication et les analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles réalisées.
- **Chapitre III** : présentation et discussion critique des résultats obtenus.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHYQUE

CHAPITRE I: GRAINES DE LUPIN

I.1. Aperçu général sur le lupin

Le lupin, classé dans le genre *Lupinus*, est une plante dicotylédone appartenant à la famille des Fabaceae (ou légumineuses), plus précisément à la sous-famille des Faboideae. Originaire des zones tempérées de l'Ancien Monde (bassin méditerranéen, Afrique orientale) et du Nouveau Monde (Amérique du Nord et du Sud), ce genre comprend plus de 600 espèces reconnues. Il s'agit de plantes herbacées, annuelles ou vivaces, voire de petits arbustes. Elles sont particulièrement connues pour la richesse en protéines de leurs graines (pouvant atteindre 50 %), bien que certaines espèces soient toxiques en raison de leur teneur en alcaloïdes, notamment dans les graines (**Jacques A.A., 2010**).

Des espèces telles que *Lupinus mutabilis*, *L. angustifolius* (lupin bleu à feuilles étroites), *L. albus* (lupin blanc) et *L. luteus* (lupin jaune) sont cultivées depuis plus de 4 000 ans. Elles sont appréciées pour leurs graines utilisées en alimentation humaine et animale, mais aussi pour leur aptitude à enrichir les sols ou comme plantes ornementales. Au cours des dernières décennies, leur culture a été largement développée, notamment en Australie, grâce à la sélection de variétés dites « douces », pauvres en alcaloïdes. Dans les zones méditerranéenne et andine, plusieurs espèces sont traditionnellement consommées (**Jacques A., 2010**).

I.2. Historique d'utilisation du lupin

Le lupin a progressivement conquis de nouveaux territoires. Originaire du bassin méditerranéen, il était utilisé par les Égyptiens et les Grecs de l'Antiquité. Il s'est diffusé vers l'Allemagne à la fin du XVIIIe siècle, puis vers les pays de l'Est. Depuis 1800, il est cultivé en Australie, aujourd'hui premier pays producteur mondial.

En France, les premières variétés de lupin d'hiver étaient de grande taille, sensibles au froid et sujettes à la verse. À partir des années 1990, l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) a engagé un important programme de sélection. Le GIE Prolupin valorise actuellement ces travaux, avec des variétés à haut rendement, adaptées à une culture nationale, dans un contexte de déficit protéique en alimentation animale (**Agathe K., 2022**).

I.3. Caractérisation physico-chimique du lupin

I.3.1. Macronutriments

Les graines de lupin se composent d'une coque extérieure, appelée tégument, et d'une portion intérieure, les cotylédons. Chez les lupins, le tégument est assez épais et constitue 25 % du poids de la graine pour le *Lupinus angustifolius* et 15 % pour le *Lupinus albus*. **(Tomasz, 2007).**

Ces dernières renferment des macronutriments de valeur. Ces dernières sont riches en protéines, fibres (principalement dans la peau externe), glucides (mais généralement pas d'amidon), matières grasses et minéraux. Les graines issues du processus de décorticage commercial contiennent 35 % de protéines dans le cotylédon, et entre 7 et 10 % dans les enveloppes. Ces protéines sont pauvres en acides aminés soufrés comme la cystéine et la méthionine. Chez *L. albus* et *L. angustifolius*, les enveloppes contiennent 9,1 % et 5,8 % de matières grasses brutes respectivement, tandis que les cotylédons renferment 11,4 % et 6,6 % de ces mêmes matières. Chez *L. albus*, la composition en lipides est comparable à celle des huiles alimentaires telles que l'huile de colza et l'huile de moutarde. L'huile extraite du lupin blanc renferme entre 1,5 et 2,7% d'acide érucique **(Deosarker, S. S., 2011).**

L'enveloppe de la graine présente une forte concentration en fibres brutes (14,9 % pour *L. angustifolius* et 10,3 % pour *L. albus*). La composition des glucides varie entre l'enveloppe et les cotylédons. Dans l'enveloppe, on trouve des polysaccharides structuraux tels que la cellulose, les hémicelluloses et les pectines. En revanche, dans les dés cotylédons, les polysaccharides non structurés sont principalement constitués de galactose, d'arabinose et d'acide uronique. **(Deosarker, S. S., 2011).**

I.3.2. Alcaloïdes

Les graines de lupin contiennent des alcaloïdes de type quinolizidinique, comme la lupanine, la spartéine et leurs dérivés hydroxylés ou oxydés (ex. : 13-hydroxylupanine, 17-oxolupanine). Ces composés sont responsables de l'amertume et de la toxicité potentielle des graines, et leur teneur varie selon l'espèce, la variété et les conditions de culture **(Kirsten J., 2008)**

I.3.3. Éléments antinutritionnels

En plus des alcaloïdes, les graines de lupins renferment diverses molécules susceptibles d'exercer des effets antinutritionnels. On trouve entre autres l'acide érucique, des isoflavones, des phytates, des tannins, des saponines, des inhibiteurs de protéase, des lectines et des oligosaccharides appartenant à la famille de la raffinose. Néanmoins, la concentration de ces divers composés est assez faible et peu susceptible d'avoir un impact sur la santé humaine si ces graines sont consommées. Notamment, les lupins présentent un faible niveau en inhibiteurs de protéase et une quantité quasi nulle en lectines par rapport à d'autres graines de légumineuses. (Kirsten J., 2008)

I.4. Valeur nutritionnelle des grains de lupin

Les graines de lupin se caractérisent par leur riche contenu en protéines végétales, fibres, minéraux et vitamines, tout en présentant un indice glycémique bas. C'est donc un aliment très attrayant d'un point de vue nutritif, offrant de nombreux avantages potentiels pour la santé. (FAO, 2022).

Tableau 1: Valeur nutritionnelle des grains de lupin pour 100 g de produit (Laurent E., 2017).

Nutriment	Quantité pour 100 g
Énergie	356 kcal
Cuivre	1,02 mg
Fer	4,36 mg
Manganèse	2,38 mg
Zinc	4,75 mg
Phosphore	440 mg
Potassium	1010 mg
Vitamine B1 (Thiamine)	0,5 mg
Vitamine C	3 mg
Vitamine E	7,4 mg

I.5. Culture du lupin

Il existe plus de 200 espèces de *Lupinus* à travers le monde. Environ 90 % d'entre elles sont originaires d'Amérique du Nord et du Sud, dans une zone s'étendant de l'Alaska au nord jusqu'à l'Argentine et au Chili au sud. Le reste des espèces se trouve dans la région méditerranéenne et en Afrique du Nord. La plupart des espèces d'intérêt économique proviennent de la région méditerranéenne et possèdent de grosses graines.

Trois espèces du genre *Lupinus*, originaires de la région méditerranéenne, sont cultivées dans le monde entier. Il s'agit du lupin blanc ou *Lupinus albus*, du lupin à feuilles étroites (*L. angustifolius*) et du lupin jaune (*L. luteus*). Le lupin doux perlé (*L. mutabilis*) est originaire d'Amérique du Sud, où il est cultivé (Walker J. *et al.*, 2011)

I.6. Types de lupin cultivé

I.6.1. Lupin à feuilles étroites (*Lupinus angustifolius*)

Le lupin à feuilles étroites représente 80 % de la superficie totale ensemencée en lupin. La graine contient environ 35 % de protéines et est principalement utilisée comme aliment pour le bétail. La graine de lupin à feuilles étroites est ronde, tachetée et légèrement plus petite que celle du pois fourrager ou du soja. Le lupin à feuilles étroites est bien adapté aux sols légers, sablonneux et acides. Il peut pousser sur des limons argileux rouges, mais préfère les sols profonds, à texture grossière, bien drainés et sablonneux. Il pousse de manière optimale dans les zones à plus forte pluviométrie de la ceinture céréalière du centre et du sud de la Nouvelle-Galles du Sud (Walker J. *et al.*, 2011)

I.6.2. Lupin blanc (*Lupinus albus*)

Le lupin blanc ou *albusil* est traditionnellement cultivé dans la région méditerranéenne et le long de la vallée du Nil, où il est cultivé depuis plusieurs milliers d'années. Les populations sauvages de cette espèce produisent toutes des graines amères, avec une croissance de type indéterminé (Walker J. *et al.*, 2011)

Des variétés à graines douces ont été sélectionnées pour la consommation humaine ; la production excédentaire est utilisée dans l'industrie de l'alimentation animale. Le lupin *albus* présente une teneur plus élevée en protéines (environ 46 %) que le lupin à feuilles étroites (Walker J. *et al.*, 2011)

Le lupin *albus* produit une graine plate, de forme plutôt carrée, plus grande que celle du lupin à feuilles étroites (Walker J. *et al.*, 2011)

Le lupin *albus* préfère les sols plus fertiles, de texture plus lourde et moins acides que ceux du lupin à feuilles étroites. Il peut atteindre des rendements plus élevés, mais est plus sensible au gel et à l'excès d'eau que le lupin à feuilles étroites (Walker J. *et al.*, 2011)

Le lupin *albus* présente une habitude de croissance similaire à celle du lupin à feuilles étroites, mais avec une tige plus épaisse, des folioles plus larges et des fleurs plus grandes (Walker J. *et al.*, 2011)

I.6.3. Le lupin perlé (*Lupinus mutabilis*)

La teneur élevée en protéines et en matières grasses des graines de lupin perlé est similaire à celle du soja (45 % de protéines et jusqu'à 18 % de matières grasses). Le lupin perlé a tendance à fleurir tardivement et à se ramifier facilement, ce qui entraîne de faibles rendements en production commerciale (Walker J. *et al.*, 2011)

Le lupin perlé, tout comme le lupin blanc, nécessite un sol plus fertile que le lupin à feuilles étroites. Il est plus tolérant aux faibles pH du sol et à l'excès d'eau que le lupin blanc, mais il préfère néanmoins les sols bien drainés (Walker J. *et al.*, 2011)

I.6.4. Lupin jaune (*Lupinus luteus*)

Le lupin jaune (*Lupinus luteus* L.) est une plante dicotylédone herbacée appartenant à la famille des Fabaceae, plus précisément au genre *Lupinus*. Originaire du bassin méditerranéen et de la péninsule Ibérique, il est cultivé principalement en tant que légumineuse annuelle à forte valeur agronomique et nutritionnelle (Sujak A. *et al.*, 2006 ; Gulewicz P. *et al.*, 2008). Il est reconnu pour sa capacité d'adaptation aux sols pauvres et acides, ce qui en fait une culture stratégique dans des contextes agroécologiques contraignants. Son utilisation dans l'alimentation humaine est en croissance depuis les dernières décennies (Cortes S. *et al.*, 2005).



Figure 1 : Lupin jaune (*Lupinus luteus* L.) (auJardin.info)

I.6.4.1. Description botanique et position taxonomique

Lupinus luteus atteint environ 80 cm de hauteur. Il est caractérisé par une tige densément poilue, une racine pivotante bien développée et des feuilles composées palmées, comprenant 9 à 11 folioles linéaires à ovales et pointues. Les fleurs jaunes, typiques des légumineuses, sont regroupées en grappes florales denses et parfumées. Le fruit est une gousse plate et velue, mesurant de 4 à 5 cm de long, contenant généralement 4 à 6 graines réniformes, lisses, de couleur blanche ou tachetée. Le poids de 100 graines est compris entre 120 et 140 g. (El Bassam N., 2010 ; Terekhina N. V., 2008)

La position taxonomique de *Lupinus luteus* est la suivante (ITIS, 2019) :

- **Règne :** Plantae
- **Sous-règne :** Viridiplantae
- **Infra-règne :** Streptophyta
- **Division :** Tracheophyta
- **Sous-division :** Spermatophytina
- **Ordre :** Fabales
- **Famille :** Fabaceae
- **Genre :** *Lupinus*
- **Espèce :** *Lupinus luteus* L.

I.6.4.2. Intérêts agronomiques et environnementaux

Le lupin jaune est une légumineuse très appréciée pour ses propriétés agronomiques. Il fixe efficacement l'azote atmosphérique (jusqu'à 330 kg N/ha) via ses nodules racinaires symbiotiques, enrichissant ainsi les sols (**Wolko B. et al., 2010**). Il est également utilisé en ensilage pour l'alimentation animale, enremise en état des sols dégradés (**Pietrzykowski M. et al., 2017**), et comme plante mellifère attrayante pour les insectes pollinisateurs.

Sur le plan phytosanitaire, *L. luteus* présente une bonne tolérance à l'aluminium, une meilleure absorption du phosphore, et une résistance à certaines maladies telles que la tache brune des feuilles ou la mosaïque du concombre. En revanche, il est sensible au gel et à l'anthracnose (**Walker J. et al., 2011**)

I.6.4.3. Intérêt nutritionnel et fonctionnel

Les graines de lupin sont reconnues pour leur valeur nutritionnelle élevée, ce qui en fait une alternative prometteuse au soja dans les régimes alimentaires humains et animaux **Tableau 1**. Elles présentent une teneur en protéines particulièrement importante, souvent supérieure à celle du soja (**Parra-González L. B. et al., 2012**). Les protéines du lupin sont majoritairement des protéines de réserve, classées en α -, β -, γ - et δ -conglutinines (**Ogura T. et al., 2013**). Elles se répartissent selon leur solubilité en albumines, globulines, prolamines et glutélines (**Omer M. A. M. et al., 2016**), conférant aux graines un profil protéique complet et diversifié.

Les graines de lupin jaune (*Lupinus luteus*) présentent une teneur en protéines très élevée, atteignant jusqu'à 553 g/kg de matière sèche, avec une proportion significative d'acides aminés soufrés, notamment la méthionine et la cystéine, en proportions souvent supérieures à celles des autres espèces de lupin **Tableau 2** (**Elsamani M. O. et al., 2014**).

Du point de vue lipidique, les graines de *L. luteus* contiennent entre 5,5 et 8,2 % de matières grasses, dominées par des acides gras polyinsaturés tels que l'acide linoléique (oméga-3) et l'acide linoléique (oméga-6). Ce profil contribue à un rapport oméga-6/oméga-3 équilibré, favorable pour la santé cardiovasculaire (**Duranti M. et al., 2008 ; Chiofalo B. et al., 2012**).

Les fibres alimentaires sont abondantes dans le lupin jaune (jusqu'à 139 g/kg MS), participant à la régulation du transit intestinal. Les glucides présents sont majoritairement représentés par des oligosaccharides non digestibles (raffinose, stachyose), et la graine est

naturellement pauvre en amidon, ce qui confère au lupin jaune un indice glycémique bas (**White C. L. et al., 2007 ; Steinfeldt S. et al., 2003**).

Du point de vue des composés bioactifs, le lupin jaune contient également des peptides à activité antihypertensive, des polyphénols et des composés antioxydants, renforçant son potentiel nutraceutique. Concernant les antinutriments, les graines de *L. luteus* peuvent contenir des alcaloïdes quinolizidiniques (0,03 à 1,18 %), responsables de leur amertume. Cependant, leur teneur varie fortement selon les variétés, et peut être réduite efficacement par des procédés technologiques adaptés (**Glencross B.D. et al., 2002**). En revanche, le taux d'acide phytique est très faible (0,03 %), ce qui limite les effets chélateurs sur les minéraux, à la différence du soja où il peut atteindre 2 % (**Steenfeldt S. et al., 2013**).

Tableau 2: Composition nutritionnelle du lupin jaune (*Lupinus luteus*) comparée au tourteau de soja (g/kg de matière sèche) (**Panasiewicz K., 2022 ; Ibáñez M.A. et al., 2020**)

Paramètre	Lupin jaune (<i>L. luteus</i>)	Tourteau de soja
Matière sèche (MS)	892–937 (915)	891–917 (904)
Protéines	411–553 (487)	464–551 (492)
Lipides	55–82 (69)	48–52 (49)
Fibres brutes	55–139 (92)	34–71 (50)
Cendres	46–55 (50)	65–72 (69)
ENN*	285–410 (348)	334–456 (414)
Alcaloïdes (%)	0,03–1,18 (0,63)	—

ENN : Extrait non azoté (glucides assimilables par différence)

Tableau 3 : Teneur moyenne en acides aminés essentiels du lupin jaune comparée au tourteau de soja (g/kg de protéines) (Salini M. J. *et al.*, 2014 ; Carrera C.S. *et al.*, 2011)

Acide aminé essentiel	Lupin jaune (<i>L. luteus</i>)	Tourteau de soja
Valine (Val)	2,80	2,27
Isoleucine (Ile)	2,98	2,18
Leucine (Leu)	4,81	3,75
Thréonine (Thr)	2,30	1,91
Méthionine (Met)	0,57	0,70
Phénylalanine (Phe)	3,10	2,48
Lysine (Lys)	3,45	2,88
Histidine (His)	1,96	1,29

I.6.4.4. Composés bioactifs et facteurs antinutritionnels

Le lupin jaune est une légumineuse particulièrement riche en composés bioactifs, notamment des peptides à activité antihypertensive, des polyphénols, ainsi que des isoflavones aux propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et potentiellement anticancéreuses (**Wink M., 2006; von Baer D. et al., 2000**). Ces substances phytochimiques renforcent l'intérêt du lupin jaune dans une alimentation fonctionnelle et préventive.

Cependant, les graines contiennent également certains composés qualifiés d'antinutritionnels. Les plus notables sont les alcaloïdes de type quinolizidine, présents à des teneurs variables selon la variété (de 0,03 à 1,18 % de la matière sèche). Ces alcaloïdes, bien que dotés de propriétés antimicrobiennes et antifongiques, sont responsables de l'amertume des graines et peuvent être toxiques à haute dose pour les humains et les animaux (**Wink M., 2006**). Néanmoins, leur concentration peut être réduite efficacement par des traitements technologiques adaptés.

D'autres antinutriments sont présents en quantités moindres, tels que les inhibiteurs de trypsine et les saponines, pouvant altérer la digestibilité des protéines. L'acide phytique, bien connu pour sa capacité à chélater les minéraux (fer, calcium, zinc), est très peu présent dans le lupin jaune (environ 0,03 %), ce qui constitue un avantage considérable par rapport au soja, où il peut atteindre jusqu'à 2 % (**Saastamoinen M. et al., 2013**).

I.6.4.5. Effets fonctionnels et bénéfiques physiologiques du lupin jaune

Les graines de *Lupinus luteus* sont reconnues non seulement pour leur richesse nutritionnelle, mais aussi pour leurs effets physiologiques bénéfiques sur la santé humaine. Leur forte teneur en fibres alimentaires joue un rôle important dans la régulation du transit intestinal et la réduction du taux de cholestérol sanguin, notamment en limitant l'absorption des lipides au niveau intestinal (**Wait R., 2005**).

Le lupin jaune est également une source naturelle de tocophérols (vitamine E), connus pour leurs propriétés antioxydantes et leur effet protecteur contre l'hypertension et les maladies cardiovasculaires (**Brink M. et Belay, 2006**). De plus, sa richesse en acides gras essentiels oméga-3 et oméga-6 contribue à un bon équilibre lipidique et à la prévention des troubles cardiovasculaires.

Par ailleurs, le lupin contient de l'arginine, un acide aminé qui améliore la fonction endothéliale, en favorisant la vasodilatation et en réduisant les risques de maladies cardiovasculaires, notamment les accidents vasculaires cérébraux et l'hypertension artérielle (**Yeheyis L. et al., 2011**).

Grâce à son indice glycémique bas, le lupin jaune constitue un ingrédient de choix dans l'alimentation des personnes diabétiques. Il permet de réguler la glycémie en ralentissant l'absorption des glucides et en améliorant la sensibilité à l'insuline (**Habtie T. et al., 2009**).

Enfin, la présence de zinc dans les graines contribue au renforcement du système immunitaire, en stimulant la réponse immunitaire et la récupération lors d'infections (**Stampfer M.J., 1992**).

CHAPITRE II : ALIMENT FONCTIONNEL

II.1. Définition des laits végétales

Les laits végétaux se définissent comme une large gamme d'extraits aqueux issus de matières végétales décomposées ou dissoutes, à l'instar des pseudo-céréales, des graines oléagineuses, des tubercules, des céréales ou encore des légumineuses. Ils ont été catégorisés en légumineuses, céréales et pseudo-céréales, ainsi qu'en graines et noix, selon leurs sources végétales. On a décrit les laits végétaux comme des substituts proches du lait traditionnel en termes de caractéristiques physiques et organoleptiques (**Kehinde B. A., et al., 2020**)

Les boissons à base de lait végétal possèdent des attributs favorables pour la santé. Par exemple, les laits végétaux contiennent des phytostérols, tandis que le lait est riche en cholestérol. Ces derniers participent à l'augmentation de l'apport en fibres et sont fréquemment enrichis en vitamines et minéraux. Les laits végétaux sont préconisés pour ceux qui sont allergiques au lait (absence de lactose et de protéines laitières), et certains d'entre eux ne contiennent ni gluten ni noix (**Gobbi L. et al, 2019**).

On ne devrait plus utiliser le terme « lait » pour désigner ces boissons végétales, car légalement, il faut les appeler « boisson » ou « jus », malgré l'usage courant qui les nomme souvent « lait ». Selon le règlement CEE n° 1898/87 du 2 juillet 1987, c'est ce qui est stipulé. « Lait » désigne exclusivement le « produit de la sécrétion mammaire normale qui est un fluide de couleur blanche, opaque et au goût légèrement sucré, constituant une nourriture complète et équilibrée (**Houlbert A., 2020**)

II.2. Différents types de boissons végétales

Il existe plusieurs types de laits végétaux, qui varient en fonction de l'ingrédient végétal employé. On identifie initialement ceux qui sont fabriqués à partir de céréales, tels que le lait d'avoine, de riz, de maïs ou d'épeautre. On trouve ensuite des laits provenant de légumineuses, comme le lait de soja, d'arachide, de lupin ou encore de niébé. Les noix servent aussi de fondement, aboutissant à des boissons comme le lait d'amande, de coco, de noisette, de pistache ou encore de noix. D'autres types de laits végétaux sont fabriqués à partir de graines comme celles de sésame, de lin, de chanvre ou encore de tournesol. Finalement, on obtient certaines boissons à partir de pseudo-céréales, comme le lait de quinoa, de teff ou d'amarante. (**Swati S. et al., 2016**)

II.1.1. Le lait de lupin

II.1.1.1. Définition de lait de lupin

Le lait de lupin est une boisson végétale obtenue par extraction aqueuse des graines de lupin, généralement du lupin doux (*Lupinus albus* L., *L. luteus* ou *L. angustifolius*). Il appartient à la catégorie des substituts végétaux du lait, aux côtés des laits de soja, d'avoine ou d'amande. Ces boissons sont formulées à partir de matières végétales (légumineuses, céréales, noix) ou de sous-produits végétaux et sont de plus en plus utilisées comme alternatives au lait animal dans divers produits transformés tels que les yaourts, les fromages ou les crèmes glacées (**Iriondo-Dehond M. et al., 2018; Gemechu F.G., 2020**).

II.1.1.2. Composition nutritionnelle de lait de lupin

Le lait de lupin est une source précieuse de protéines végétales de haute qualité, avec une teneur en protéines comparable à celle du soja (environ 3,5 à 4 %), bien que légèrement déficiente en acides aminés soufrés tels que la méthionine (**Gemechu F.G., 2020**). Il se distingue également par sa richesse en fibres alimentaires, atteignant environ 28 % dans les graines, ce qui est supérieur à celle du soja (~19 %) (**Iriondo-Dehond M. et al., 2018**).

Les isolats de protéines de lupin présentent des propriétés fonctionnelles intéressantes, telles que l'émulsification, la rétention d'eau et la formation de gels, ce qui les rend adaptés à l'élaboration de produits innovants comme les substituts laitiers (**Iriondo-Dehond M. et al., 2018**). De plus, ses polysaccharides possèdent un potentiel nutraceutique, avec des applications thérapeutiques possibles.

II.1.1.3. Préparation de lait de lupin

La préparation du lait de lupin suit plusieurs étapes technologiques visant à maximiser la qualité nutritionnelle et sensorielle du produit final. Selon **Mohamed Ahmed et al. (2014)**, les graines de *Lupinus albus* L. doivent d'abord être nettoyées pour éliminer les impuretés, puis bouillies pendant 30 minutes afin de prévenir la germination pendant le trempage. Après ébullition, les téguments sont retirés manuellement, et les cotylédons sont trempés dans de l'eau distillée (1:3, m/v) pendant 3 jours à température ambiante (25 °C), avec des changements fréquents d'eau pour éliminer les alcaloïdes amers.

Après trempage, les graines sont broyées avec de l'eau tiède (40–50 °C) jusqu'à obtention d'un extrait avec une teneur en solides solubles de 10 g/100 mL (rapport 0,5 kg/5 L).

Ce mélange est ensuite homogénéisé par ultrason, puis centrifugé (2600 g, 5 min). Le filtrat est ensuite tamisé (0,5 mm) pour obtenir le lait de lupin, qui est ensuite traité thermiquement à 100 °C pendant 20 minutes pour inactiver la lipoxygénase, puis refroidi à 4 °C pour stockage. Cette méthode permet de produire un lait végétal stable, sans composés amers, et présentant des caractéristiques physico-chimiques compatibles avec une utilisation en transformation alimentaire.

II.1.1.4. Défiance entre lait de vache et lait de lupin

Contrairement au lait de vache, qui est l'un des principaux allergènes alimentaires chez les nourrissons et contient du lactose, le lait de lupin est naturellement sans lactose et potentiellement hypoallergénique (American Academy of Allergy, Asthma & Immunology) (**El-Agamy, 2007**). Il constitue donc une alternative végétale intéressante pour les personnes souffrant d'intolérance au lactose ou d'allergies aux protéines du lait de vache.

De plus, le lait de vache est le deuxième allergène alimentaire le plus courant, notamment chez les enfants. Bien que son image reste globalement plus favorable que celle des laits végétaux dans certaines études (**Haas et al., 2019**), on observe une préférence croissante des consommateurs pour les alternatives végétales, motivée par plusieurs facteurs : intolérance au lactose, allergies, préoccupations environnementales, habitudes de consommation, et recherches de bienfaits nutritionnels (**Haas et al., 2019 ; Mäkinen et al., 2016**).

L'intolérance au lactose et les allergies liées au lait de vache sont devenues des problèmes mondiaux, en parallèle à l'augmentation du coût du lait et de ses produits dérivés. Cette évolution stimule le développement d'alternatives végétales plus accessibles et adaptées aux besoins nutritionnels spécifiques. Toutefois, l'utilisation de boissons végétales comme le lait de lupin dans des matrices alimentaires complexes, telles que les produits fermentés ou glacés, nécessite des ajustements technologiques afin de garantir des caractéristiques sensorielles et physico-chimiques comparables aux produits laitiers conventionnels.

II.2. Définition des glaces alimentaires

Les glaces alimentaires sont des produits fabriqués à partir d'ingrédients autorisés par la réglementation en vigueur. Elles ont une texture pâteuse ou solide, obtenue grâce à un procédé de congélation ou de surgélation. Ces produits sont ensuite conservés, transportés, distribués et consommés sous forme congelée (**DGCCRF, 2008**)

II.3. Classification des glaces

Les glaces alimentaires se déclinent en plusieurs catégories selon leur composition et les ingrédients utilisés. La glace à l'eau est une préparation à base d'eau ou de jus de fruits, à laquelle sont ajoutés des édulcorants, des arômes et des colorants. Elle ne contient ni produits laitiers ni œufs (**Marshall R. T. et al., 2003**). Le lait glacé, quant à lui, est élaboré à partir de lait, avec une teneur en matières grasses généralement comprise entre 2,5 % et 3 %, conformément aux normes établies dans de nombreux pays (**Robinson R. K., 2002**). Le terme générique de « glace » désigne les produits qui contiennent des matières grasses d'origine non laitière, comme les graisses végétales (graisse de coco, huile de palme, lait d'amande, etc.), ou ceux qui ne répondent pas précisément aux critères requis pour être classés comme crème glacée ou lait glacé (**Declercq C., 2007**). Enfin, le sorbet est obtenu par congélation d'un mélange d'eau, de sucre et de fruits ou de jus de fruits, auquel on peut incorporer un stabilisant tel que le blanc d'œuf, la pectine ou d'autres substances similaires. Il ne contient pas de matière grasse, et sa teneur en protéines laitières doit rester très faible, généralement inférieure à 1 % (**Goff H.D., 2013 ; DGCCRF, 2019**).

II.3.1. Crème glacée

La crème glacée est un produit fabriqué à partir de lait, dont le mélange pasteurisé est ensuite congelé. Elle contient divers ingrédients tels que les édulcorants, les stabilisants, les colorants, les arômes, ainsi que des ovo-produits (**Deosarkar S.S. et al., 2016**).

Grâce à la congélation, elle obtient une texture à la fois ferme et crémeuse, qui devient fondante en bouche en passant d'une consistance solide à une consistance plus fluide (**Hedh A., 2012**).

II.3.1.1. Structure

La structure physique de la crème glacée est un système physico-chimique complexe, car c'est une émulsion (huile dans eau) foisonnée. Des bulles d'air sont dispersées dans une phase continue liquide, incrustée de cristaux de glace. Cette phase liquide contient aussi des globules gras partiellement cristallisés, des protéines de lait, des stabilisants, des émulsifiants, ainsi que des sucres et des sels. Le produit final constitue donc un système polyphasique : air, liquide et solide (**Olivier, 2013**)

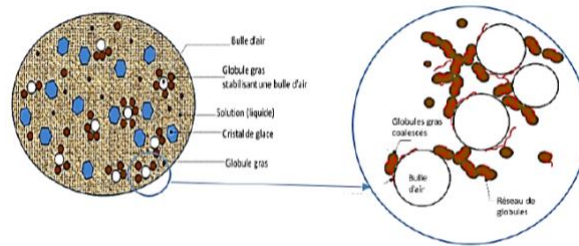


Figure 2: Structure d'une crème glacée(**Olivier, 2013**).

II.3.1.2. Composition des crèmes glacées

Les ingrédients des glaces peuvent différer d'un pays à l'autre en fonction des us et coutumes locaux et des demandes du marché. Il n'est pas toujours simple pour le producteur de définir la formulation parfaite, étant donné qu'il doit tenir compte de divers facteurs : les normes légales, le niveau de qualité souhaité, la disponibilité des matières premières, les capacités techniques de l'usine, ainsi que les besoins du marché, la compétition et les coûts de production. Plusieurs éléments déterminent la préférence pour une recette plus élaborée ou simplifiée, en particulier en termes de composition laitière et d'ingrédients majeurs (**Goff et Hartel, 2013**).

On peut répartir les composants des glaces en trois catégories majeures : Les composants essentiels pour la fabrication du produit incluent le lait, le sucre, les matières grasses et les protéines. Les composants de moindre importance, présents en quantités extrêmement réduites (moins de 1%), comme les émulsifiants, colorants ou arômes. Selon Clarke (2004), l'ajout d'éléments supplémentaires tels que le chocolat, les morceaux de biscuits ou les gaufrettes améliore la texture et le goût(**Clarke, 2004**).

II.3.1.2.1. Extrait sec dégraissé lactique (ESDL)

L'ESDL regroupe principalement les protéines, le lactose et les minéraux issus du lait. Ces composants influencent directement la texture, la saveur et la stabilité du mélange. Par exemple :

- Les protéines laitières assurent la stabilisation de l'émulsion et forment un film protecteur autour des globules gras (**Chandan R. C., 2007**).
- Le lactose abaisse le point de congélation, limitant la formation de gros cristaux de glace (**Quellen F., 2007**).
- Les minéraux comme le calcium influencent la stabilité des protéines et l'agglomération des matières grasses (**Tharp Y., 2012**).

II.3.1.2.2. Matière grasse

a) Matière grasse laitière

Traditionnellement, les matières grasses proviennent de la crème, du beurre ou du lait entier. Elles jouent un rôle essentiel dans la texture crémeuse, la libération des arômes et la sensation en bouche. La coalescence partielle des globules gras lors du foisonnement contribue à la structure aérienne de la glace (**Bot et al., 2003**).

b) Matière grasse d'origine végétale

Les graisses végétales (huile de coprah, de palmiste, etc.) sont utilisées dans certains pays où leur usage est autorisé. Elles doivent avoir un profil de fusion adapté et une bonne capacité de cristallisation. L'étiquetage doit préciser leur présence (**Bintsis, 2005 ; Goff H. D., 2006**).

II.3.1.2.3. Sucres

Les sucres sont des composants essentiels des crèmes glacées, non seulement pour leur pouvoir sucrant, mais aussi pour leur rôle dans la texture, la stabilité et la sensation en bouche. La teneur en sucres varie généralement entre 12 % et 20 %, avec une moyenne idéale autour de 14–16 %. Le saccharose est l'édulcorant principal, mais d'autres sucres comme le glucose, le fructose, le lactose ou les sirops de maïs peuvent être utilisés pour ajuster les propriétés fonctionnelles du mélange. Les sucres abaissent également le point de congélation, ce qui permet d'obtenir une texture plus lisse et un produit plus facile à servir (**Clarke C., 2004 ; Syed et al., 2018**).

II.3.1.2.4. Deux éléments essentiels pour la fabrication de glaces

a) Air

L'air est incorporé au mélange pour donner une structure légère. Le taux de foisonnement influence la texture, la perception en bouche et la densité énergétique du produit. Un taux optimal (entre 80 et 120 %) permet de limiter la formation de gros cristaux (**Boutonnier J. L., 2001**).

Tableau 4 : L'effet du foisonnement sur la taille des cristaux de glaces et des bulles d'air (**Tirard-collet, 1996**).

Foisonnement (%)	Tailles des cristaux de glace (µm)	Taille des bulles d'air (µm)
85	63×51	165
100	54×47	142
115	50×44	109

b) Eau

L'eau joue un rôle fondamental en tant que solvant et dispersant. Elle intervient aussi dans la formation de cristaux de glace. Une eau de bonne qualité microbiologique est indispensable. Un excès d'eau libre peut entraîner une texture granuleuse et une fonte rapide (**Boutonnier J. L., 2001**).

II.3.1.2.5. Additifs

a) Émulsifiants

Les émulsifiants stabilisent les émulsions en facilitant la coalescence partielle des matières grasses et la rétention d'air. Exemples : mono- et diglycérides, lécithine, phospholipides (**Goff, 2016 ; Barfod et Sparso, 2007**).

b) Stabilisant hydrocolloïdes

Ils améliorent la texture, limitent la fonte, ralentissent la cristallisation. Ce sont des polymères (gomme guar, HPMC, etc.) qui retiennent l'eau et renforcent la structure (**Yannick, 2012 ; Kilara & Chandan, 2008**).

c) Acidifiants

Permettent de corriger le pH. Les plus utilisés sont : acide citrique (E330), citrates de sodium/potassium/calcium (**Boutonnier J. L., 2001**).

d) Colorants

Ils rehaussent l'aspect visuel. Une large gamme est autorisée : du jaune au bleu en passant par le vert et le rouge (**Boutonnier J. L., 2001**).

e) Arômes

Utilisés pour rehausser le goût : vanille, chocolat, fraise, fruits, nougat, pistache, etc. Ils peuvent être naturels ou artificiels (**Boutonnier J. L., 2001**).

II.3.1.3. Procédé de fabrication de la crème glacée

Les glaces figurent parmi les denrées alimentaires les plus complexes qui soient, du fait qu'elles se composent principalement de trois phases : liquide (eau et graisse), cristalline (eau, graisse et sucre) et gazeuse (air et vapeur d'eau), indispensables à leur production (**Mohan M. S. 3 et al., 2014**).

La production de glaces se divise en deux phases principales :

- L'élaboration du mélange (mix) à partir des divers composants (matières premières et additifs).
- La conversion du mélange en crème glacée par foisonnement et congélation (**Jean-Luc, 2001**).

II.3.1.3.1. Préparation du mix

II.3.1.3.1.1. Mélange des ingrédients et agitation

Les ingrédients sont combinés selon une séquence définie à l'avance. On débute toujours par l'association des ingrédients liquides. Il faut maintenir en permanence l'agitation et la température doit être élevée jusqu'à +50 °C. Les ingrédients secs sont préalablement combinés pour faciliter leur incorporation dans les composants liquides. Il faut agiter vigoureusement et pour cela, on utilise un mélangeur. On conclut par l'ajout de la matière grasse à une température d'au moins +60 °C. On incorpore la matière grasse en remuant fortement pour assurer une bonne dispersion. Le terme « mix » est utilisé pour faire référence à la préparation obtenue (**Dudez P. et al., 2017**).

II.3.1.3.1.2. Pasteurisation

La pasteurisation est une méthode qui vise à éliminer les microorganismes présents dans le mélange. C'est indispensable pour assurer la sécurité des aliments pour le consommateur. Si le mélange pasteurisé n'est pas employé dans l'heure qui suit, il doit être gardé à une température de +4°C. Il est impératif que la congélation se fasse dans les 24 heures. La pasteurisation facilite également la dispersion et la dissolution des ingrédients secs. Elle se déroule dans de petits récipients de pasteurisation à une température supérieure à 85°C pendant une durée de 15 secondes (**Dudez P. et al., 2017**).

II.3.1.3.1.3. Maturation

La maturation implique de garder le mélange à une température basse (+4 °C) tout en le remuant délicatement pendant une durée de 4 à 20 heures. Cette opération est généralement effectuée durant la nuit. Elle favorise l'amélioration de la consistance et de la robustesse de la crème glacée tout en facilitant le foisonnement et le glaçage. Il faut que le refroidissement se fasse aussi vite que possible afin de prévenir les altérations de saveur et la multiplication des micro-organismes. Durant cette phase, on incorpore les ingrédients qui ne requièrent pas de pasteurisation : arômes et colorants naturels, purées ou morceaux de fruits, pépites, graines, yaourt... entre autres (**Dudez P. et al., 2017**).

II.3.1.3.1.4. Foisonnement et glaçage

Ces deux actions sont effectuées simultanément au sein d'un même dispositif. On peut recourir à une turbine, ce qui nécessite entre 20 et 30 minutes, ou à un congélateur qui ne demande qu'une minute (**Dudez P. et al., 2017**). Le foisonnement est une technique qui permet d'incorporer de l'air dans le mélange, lui offrant ainsi, juste avant la congélation, une texture semblable à celle d'une mousse. On distingue deux méthodes : L'une consiste à intégrer de l'air au-dessus du mélange et à utiliser un racleur rotatif de manière modérée, ce qui est le cas avec une turbine discontinue ou sorbetière ; L'autre repose sur l'injection continue d'air à l'aide d'une pompe et l'utilisation intensive d'un batteur rotatif, ce qui est réalisé par un freezer continu (**Dudez P. et al., 2017**).

L'objectif du glaçage est de disperser les cristaux de glace et de consolider la mousse. On observe un passage de la température de +4 à -6 °C. Le succès de l'intervention est lié à la vitesse du refroidissement, particulièrement entre -2 et -5 °C, qui représente une zone sensible pour la cristallisation. Les morceaux ajoutés (brisures, fruits entiers) sont intégrés directement

dans la turbine, ou à la sortie du congélateur dans la crème glacée. Il faut les intégrer à une température basse (+4 °C) afin de ne pas dévoiler la température du mélange (**Gret, 2002**).

II.3.1.3.1.5. Conditionnement

Quand la crème glacée est encore souple (-4 à -5 °C), elle est mise en emballages plastiques. Dans le cas de productions fermières, cette procédure est effectuée manuellement. Il est essentiel de suivre scrupuleusement la quantité indiquée en litres sur l'étiquette (**Gret, 2002**).

II.3.1.3.1.6. Surgélation finale

Quand la crème glacée est extraite de la turbine et emballée, seulement 50% de son contenu aqueux se transforme en glace. Dans cette condition, le produit final est tendre. On considère que la crème glacée est assez ferme lorsque le taux d'eau gelée atteint 90%. La surgélation abaisse la température à -20/-30 °C. L'intervalle de temps entre le moment où la turbine est retirée et le commencement de la congélation doit être réduit au minimum. Il est fortement recommandé d'utiliser une cellule de surgélation.

Un congélateur ordinaire ne garantit pas un refroidissement assez rapide. Si le surgélateur n'est pas disponible, l'usage de deux congélateurs est possible. Le second, fixé à -20 °C pour le stockage (**Gret, 2002**), est celui qui garantit une congélation aussi rapide que possible en le réglant à -30 °C.

II.3.1.3.1.7. Stockage

Les glaces doivent être conservées à une température de -20 °C jusqu'à leur mise à la vente aux clients. Il faut accorder une attention spéciale aux conditions de transport (utilisation d'un véhicule réfrigéré coûteux) et le recours à une caisse isotherme garantit une conservation de très courte durée (**Gret, 2002**).

PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

Préambule

Notre étude porte sur l'essai de formulation et la caractérisation physicochimique et sensorielle d'un dessert glacé fonctionnel 100 % végétal, élaboré à base de lait de lupin en remplacement du lait de vache.

Ce travail a été réalisé dans trois structures différentes, chacune ayant apporté une contribution spécifique au développement du produit :

- Au laboratoire de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA), Université de Blida 1, les essais de formulation, les tests de fabrication ainsi que certaines analyses physicochimiques ont été effectués.
- Au Laboratoire de contrôle de qualité et de répression des fraudes (wilaya de Blida), des analyses ont été réalisées sur les matières premières utilisées ainsi que sur des produits finis, afin d'évaluer leur conformité et leur qualité.
- Enfin, une visite technique a été effectuée au sein de l'unité de production industrielle KwalitOrso (Boumerdès), spécialisée dans la fabrication de crèmes glacées, ce qui a permis d'observer les étapes industrielles du processus de production.

I.1. Lieux de stage

I.1.1. Présentation du laboratoire de contrôle de qualité et de répression des fraudes – Blida

Le premier stage a été effectué au Laboratoire de contrôle de qualité et de répression des fraudes de la wilaya de Blida, situé à Diar El Bahri, Beni Mered – Blida. Ce laboratoire officiel a été créé en novembre 2018 et est placé sous la tutelle du Ministère du Commerce (CACQE).

Il est chargé principalement de la répression des fraudes et du contrôle analytique de la conformité des produits alimentaires et autres, conformément à l'article 35 de la loi n° 09-03 du 25 février 2009 relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes.

Le laboratoire est composé de deux principales sections :

- La section de microbiologie : accréditée depuis juin 2021 par l'organisme ALGERACw
- La section physico-chimique : chargée de vérifier la conformité des paramètres physico-chimiques selon les normes en vigueur.

I.1.2. Présentation de l'entreprise Kquality Food Orso Glaces – Boumerdès

L'entreprise Kquality Food, connue commercialement sous la marque Orso Glaces, est une unité de production agroalimentaire spécialisée dans la fabrication industrielle de crèmes glacées et d'autres produits glacés. Elle est située dans la commune de Ouled Moussa, dans la wilaya de Boumerdès, une région bénéficiant d'un environnement industriel favorable à l'implantation et au développement des activités agroalimentaires.

L'entreprise dispose d'unités de production semi-automatisées, permettant une standardisation efficace des produits tout en garantissant une qualité constante. Grâce à une organisation rigoureuse et des équipements modernes

I.2. Matériel

I.2.1. Matériel biologique

- ✓ **Graines de lupin amer (*Lupinus albus* L.):** les graines de lupin de l'espèce *Lupinus luteus*. Ayant été utilisées dans cette étude sont petites, de couleur jaune, de forme circulaire et aplatie (**Figures I.1** citée en **Annexen°1**). Ces graines ont été achetées à partir du marché de la région de Blida, puis emballées dans un sac et stockées dans un endroit frais et sec, à l'abri de la lumière directe du soleil.

Après un trempage destiné à réduire la teneur en alcaloïdes, les graines ont été utilisées pour la préparation du lait végétal de lupin.

- ✓ **Graines de cacahuète :** elles ont été utilisées pour la préparation du beurre de cacahuète, source de lipides végétaux, de protéines et de saveur naturelle. Les graines ont été achetées à partir du marché de la région de Blida
- ✓ **Poudre de datte :** il s'agit d'un co-produit de la transformation de la datte et qui a été utilisé en tant que substituant du sucre raffiné. La poudre de datte utilisée dans cette étude est un produit de la marque ElBassika, fabriquée en Algérie. (**Figures I.2** citée en **Annexen°1**)

Elle a été fabriquée le **01/2025**, sous le lot **n°1**, avec une date de péremption fixée au **01/2026**. La poudre a été achetée sur le marché local de Blida, dans un emballage scellé, et conservée à température ambiante à l'abri de l'humidité et de la lumière jusqu'à son utilisation

- ✓ **Eau distillée :** elle a été utilisée pour préparer du lait de lupin.

- ✓ **HPMC (Hydroxypropylméthylcellulose)** : stabilisant alimentaire d'origine végétale utilisé pour améliorer la texture et limiter la recristallisation dans la formulation du dessert glacé. Ce polymère est couramment employé dans les produits végétaliens pour sa capacité à former des gels thermoréversibles et à améliorer la stabilité des mousses ou émulsions (**Sharma et al., 2020**).
- ✓ **Lécithine** : agent émulsifiant naturel utilisé pour faciliter la dispersion des matières grasses dans la phase aqueuse, stabiliser les émulsions et améliorer la texture finale du produit.
- ✓ **Poudre de lait écrémé 0%** : Stockée à 4 °C dans un bocal hermétique, à l'abri de l'humidité.
- ✓ **Crème fraîche 20%** : Utilisée pour ajuster la teneur en matière grasse dans certaines formulations. Elle est de marque Fondelice, fabriquée en Algérie, sous le lot **n°30B**, avec une date limite de consommation DLU fixée au **29/07/2025**. Elle a été conservée à 4 °C jusqu'à son utilisation.
- ✓ **Lait entier UHT (Tétrapack)** : Lait entier stérilisé de la marque Condia, fabriqué en Algérie.
- ✓ **Sucrose (sucre blanc)** : Sucre raffiné de la marque CEVITAL, fabriqué en Algérie, sous le lot **n°250601E**. Il présente une date de péremption fixée au **31/05/2027**.

I.2.2. Appareillages

La réalisation de cette étude a nécessité le matériel et les équipements cités en **Annexe n°2**

I.2.3. Produits chimiques et réactifs

Les réactifs doivent être de qualité analytique. L'eau utilisée doit être de l'eau distillée ou de l'eau de pureté au moins équivalente.

Les produits chimiques et les réactifs qui ont été utilisés pour la réalisation du travail sont résumés dans **Annexe n°2**.

I.3. Méthodologie

I.3.1. Préparation et traitement des graines de lupin

Tout d'abord, les graines de lupin ont été nettoyées manuellement pour éliminer les graines cassées et infectées, puis méticuleusement pesées, et nettoyées à l'eau potable pour se débarrasser de toutes les impuretés en surface (poussières, sables, débris...).

Ensuite, l'enveloppe de la graine a été enlevée à la main et les cotylédons ont été trempés pendant 72 h à une température ambiante dans de l'eau distillée dans un rapport de 1 :3 avec des changements de tous les 12 h de l'eau de trempage pour éliminer les alcaloïdes afin de diminuer le goût amer du produit final et d'obtenir de bonnes caractéristiques sensorielles. À chaque remplacement, les graines ont été égouttées, rincées rapidement, puis ré-immersées dans de l'eau propre.

I.3.2. Caractérisation physico-chimique des graines de lupin avant et après traitement

Les graines de lupin ont été broyées mécaniquement à l'aide d'un moulin électrique, afin d'obtenir une farine fine et homogène. Cette matière a ensuite fait l'objet de plusieurs analyses physico-chimiques pour déterminer ses caractéristiques de base.

I.3.2.1. Poids de 1000 graines (FAO/ICARDA. 2001)

Le poids de 1000 graines est une mesure de référence utilisée pour estimer la taille et la densité des graines. Il permet d'évaluer la régularité et la qualité des lots, et donne une indication sur la teneur en matière sèche par graine. On le mesure en pesant un nombre exact de 1000 graines sèches.

I.3.2.2. La détermination du Potentiel d'Hydrogène (pH) (CACHAU-HERREILLAT., 2009).

Le pH est une mesure quantitative de l'acidité ou de basicité d'une solution, c'est un paramètre qui permet de mesurer la concentration en ions H^+ dans une solution. Il s'agit d'une grandeur sans unité, introduite par Søren Peder Lauritz Sørensen en 1909. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

I.3.2.3. Mesure de l'acidité (BHAT et AL., 2011)

L'opération de mesure de l'acidité, consiste en un titrage acido-basique une quantité de l'échantillon est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0.1 N en présence d'un indicateur coloré « le phénol phtaléine » à 0.1%.

Le point d'équivalence est déterminé lors du virage de la couleur de l'échantillon en rose persistante. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

⇒ **Expression des résultats**

Les résultats sont calculés selon la formule

$$AT (g/100g) = \frac{C_{NaOH} * V_{NaOH} * 0,49}{P}$$

Avec :

C_{NaOH} : Concentration de la solution de soude (0,1mol/l).

V_{NaOH} : Volume (ml) de soude consommée.

P : Poids de l'échantillon utilisé pour le test.

0,49 : Facteur conventionnel établi pour l'acide sulfurique.

I.3.2.4. Teneur en humidité (AACC 44-01 2000)

La teneur en humidité est déterminée par séchage de l'échantillon à 105 °C jusqu'à masse constante. Cette méthode permet d'évaluer la quantité d'eau contenue dans le produit. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

⇒ **Expression des résultats**

$$H\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

Avec :

H :taux d'humidité.

m_0 : la masse la creuse vide.

m_1 : la masse la creuse contenant la prise d'essai.

m_2 : la masse la creuse après 4h

I.3.2.5. Teneur en cendres (AACC Method 08-01 2000)

L'échantillon est incinéré à 925 °C jusqu'à obtention d'un poids constant. Le résidu minéral obtenu constitue les cendres totales, indicateur de la teneur en minéraux. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

⇒ **Expression des résultats**

$$\text{Taux de cendres \%} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

I.3.2.6. Protéines brutes (AACC Method 46-12 2000)

La teneur en protéines est estimée par la méthode de Kjeldahl, basée sur la détermination de l'azote total, puis convertie en protéines par un facteur (6,25 pour les légumineuses). Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

⇒ **Expression des résultats**

$$\text{Protéines \%} = \frac{(V - V_0) * 0,14 * 6,25}{m}$$

Avec :

V : Volume Hcl versée.

V₀ : Volume Hcl pour l'essai blanc.

6.25 : Facteur de conversion(Dr.Jürgen, 2017)

m: la masse de l'échantillon en gramme.

I.3.2.7. Matières grasses(AACC Method 30–25 2000)

Les matières grasses sont extraites par la méthode Soxhlet à l'aide d'un solvant organique (hexane ou éther de pétrole), puis quantifiées gravimétriquement après évaporation du solvant. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

⇒ **Expression des résultats**

$$MG (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_e} * 100$$

MG (%) : Taux de matière grasse.

$m_0(g)$: Poids du ballon contenant la prise d'essai

$m_1(g)$: Poids du ballon contenant les matières grasses.

$m_e(g)$: La masse de prise d'essai.

100 : Pour le pourcentage.

I.3.2.8. Activité de l'eau (a_w) (ISO 21807 :2004)

L'activité de l'eau est mesurée directement à l'aide d'un appareil spécifique basé sur l'équilibre de pression de vapeur entre l'échantillon et un capteur électronique. Elle reflète la disponibilité de l'eau pour les réactions chimiques et la croissance microbienne. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

I.3.2.9. Polyphénols totaux (TPC)(Shahidi, F., &Naczk, M. (2003))

Les polyphénols totaux sont extraits par solvant (méthanol à 80 %) ou hexane/méthanol, puis réagissent avec le réactif de Folin–Ciocalteu en milieu alcalin. L'intensité de la coloration bleue est proportionnelle à la teneur en polyphénols, et mesurée par spectrophotométrie à 725 nm. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

I.3.2.10. Détection qualitative des alcaloïdes (réaction de précipitation)

La mise en évidence des alcaloïdes a été réalisée selon la méthode colorimétrique de précipitation en tube, en utilisant deux réactifs classiques : le réactif de Mayer et le réactif de Dragendorff (**Harborne, 1998**). Les alcaloïdes réagissent avec les réactifs précipitants pour former des complexes ioniques insolubles.

Le réactif de Mayer (iodure mercurique en solution iodée) forme un précipité blanc-jaunâtre en présence d'alcaloïdes. Le réactif de Dragendorff (iodo-bismuthate de potassium) donne un précipité orangé. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

I.3.2.11. Dosages des flavonoïdes totaux (FT)

Les flavonoïdes totaux des extraits méthanoïques ont été déterminés par la méthode de Oboh et al. (**Oboh, Raddatz and Henle, 2009**) adaptée de la méthode de Dowd (**Dowd, 1959**). Des dilutions appropriées d'extrait (0,5 mL) ont été mélangées avec 0,5 mL de méthanol, 50 μ L d' $AlCl_3$ (10%), 50 μ L d'acétate de potassium (1 M), et 1,4 mL d'eau distillée et incubées pendant 30 min à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 415 nm. La gamme étalon de

quercétine a été préparée à des concentrations de 0 à 100 mg/L. Les teneurs en flavonoïdes totaux sont exprimées en milligramme équivalent quercétine (EQ) par g de produit.

I.3.2.12. Détermination de la teneur en sucres (Dubois et al. 1956)

Les sucres totaux présents dans l'échantillon sont d'abord extraits à l'aide d'eau distillée. En présence de phénol et d'acide sulfurique concentré, ils subissent une réaction qui forme un complexe coloré jaune à rouge. L'intensité de cette coloration, mesurée par spectrophotométrie, est proportionnelle à la concentration des sucres présents dans l'échantillon. Le protocole opératoire détaillé est présenté en **Annexe n° 03**.

I.3.3. Préparation du lait de lupin

Lait de lupin a été préparé selon le protocole décrit par **Ikya et al. (2013)** avec quelques modifications du protocole décrit par **Çebi, K., & Yanglar, F. (2025)**. Les différentes étapes sont présentées dans la **figure 03**

Les cotylédons hydratés ont été broyés à l'aide d'un mixeur (Moulinex Faciclic LM300141, puissance 400 W, France) pendant 3 à 5 minutes à grande vitesse pour obtenir la pâte de lupin. De l'eau tiède (40-50 °C) a été ajoutée progressivement pendant le broyage jusqu'à ce que les solides solubles totaux de l'extrait atteignent 10 g/100 mL pour que la matière sèche du lupin soit de 10 %. Le mélange a été porté à cuisson pendant 15 à 30 minutes, avec agitation périodique, afin de limiter l'amertume résiduelle. Après refroidissement, le mélange a été centrifugé à 4000 g pendant 10 minutes dans une centrifugeuse réfrigérée (HETTICH, France). Puis, le filtrat a été pasteurisé à 85 °C pendant 2 min au bain-marie ensuite il a été conditionné dans une bouteille en verre propre et stérilisée. Après refroidissement, le lait a été conservé à 4 °C en vue d'une utilisation ultérieure.

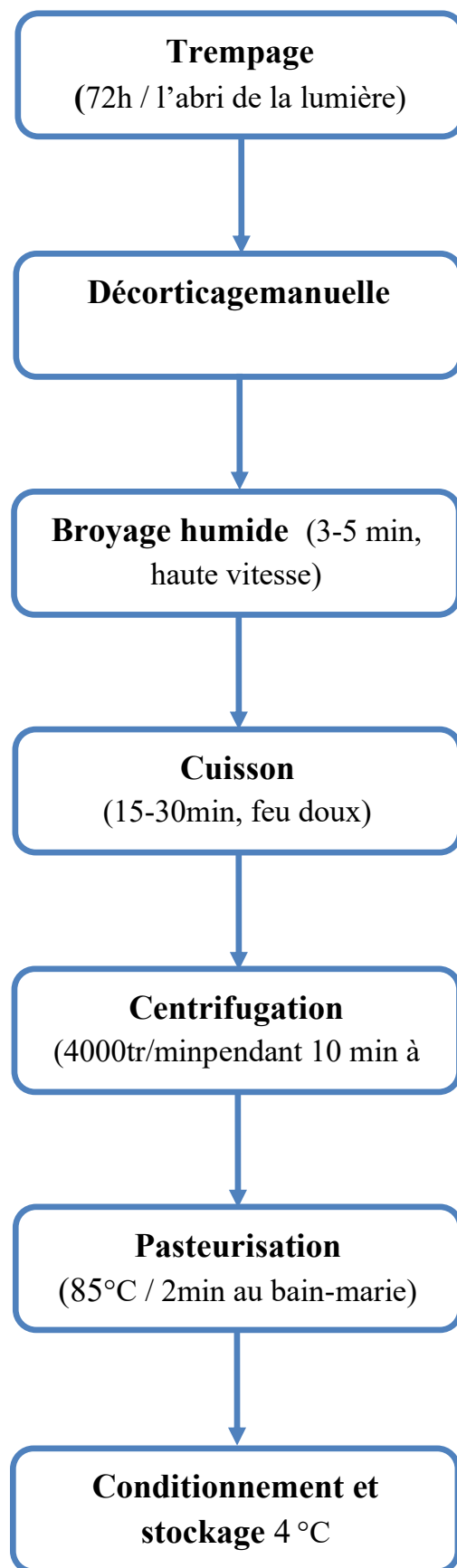


Figure 3:Diagramme de fabrication du lait de lupin

I.3.4. Analyses physico-chimiques, microbiologie et sensorielle du lait de lupin

I.3.4.1. Caractérisation physico-chimique

I.3.4.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

30 mL d'échantillon sont introduits dans un bécher. La mesure est réalisée à l'aide d'un pH-mètre numérique préalablement étalonné. L'électrode est immergée directement dans l'échantillon. La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil. La moyenne de trois lectures est retenue (**Cachau-Herreillat., 2009**).

I.3.4.1.2. Acidité titrable

10 mL de lait sont versés dans un bécher, puis on ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine. Le mélange est titré avec une solution de NaOH 0,1N jusqu'au virage rose persistant. Le volume de soude consommé est noté. Trois dosages sont réalisés.

⇒ L'acidité est calculée selon la formule

$$AT(g\ H_2SO_4 / 10mL) = \frac{C \cdot V \cdot 0,49}{V}$$

Où :

C : concentration de NaOH (mol/L)

V : volume de NaOH (mL)

P : volume de l'échantillon (mL)

0,049 : masse équivalente en g/mol de H₂SO₄

I.3.4.1.3. Rendement de lait du lupin

Le rendement en lait végétal est exprimé en pourcentage (%) et correspond au rapport entre la masse de lait extrait (en g) et la masse de graines sèches utilisées (en g), selon la formule suivante (**Libouga, D. G., et al 2006**).

$$RF\ \% = \frac{\text{la masse de lait extrait}}{\text{la masse de graines}} * 100$$

I.3.4.1.4. La densité

La densité est une grandeur sans dimension et sa valeur s'exprime sans unité de mesure, quelle variété pour un mélange en fonction de la teneur en matière sèche, matière grasse et de la température (**LAGIERE, 1996**).

- Sur une balance de précision, peser fiole vide et sec, tarer son poids (m₀).
- Remplir fiole de liquide, remettre le bouchon et laisser sortir l'excès d'échantillon.
- Peser fiole remplie. Puis mentionner son poids (m₁).

L'expression de la densité du liquide est

$$\text{Densité} = \frac{m_1 - m_0}{V}$$

I.3.4.1.5. Matière grasse (méthode de gerber)

Les constituants de la boisson autres que la matière grasse sont dissous par l'acide sulfurique, et grâce à la force centrifuge et l'ajout d'une petite quantité d'alcool isoamylique ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$) qui dissout la matière grasse, cette dernière se sépare et monte au sommet du butyromètre.

⇒ Mode opératoire

- Travailler sous une hotte. Dans un butyromètre, introduire à l'aide d'une pipette graduée, en mettant le point de pipette inclinée au contact avec la base du col du butyromètre 10ml d'acide sulfurique (91%), pour dissoudre les constituants de l'échantillon autres que la matière grasse.
- Ajouter 11ml de l'échantillon de la boisson végétale en l'écoulant à travers les parois, et 1ml d'alcool isoamylique ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$), pour dissoudre la matière grasse de l'échantillon, cette dernière se sépare et monte au sommet du butyromètre.
- Nettoyer le col du butyromètre et boucher soigneusement.
- Agiter soigneusement jusqu'à la dissolution des protéines par action d'acide sulfurique (disparition totale des grumeaux), puis tourner le butyromètre du haut en bas (la température augmente : réaction exothermique).
- Mettre à centrifuger pendant (5 min)
- Chauffager en bain marie puis, lire la valeur de la matière grasse sur le butyromètre.

I.3.4.1.6. Teneur en protéines

5ml de l'échantillon est digéré avec de l'acide sulfurique en présence de catalyseur, distillé à la vapeur, puis titré par HCL. L'azote mesuré est converti en teneur en protéines selon un facteur de conversion spécifique (6.25).

I.3.4.1.7. Humidité

5 mL de lait sont pesés dans un creuset propre. L'échantillon est chauffé à 105 °C jusqu'à stabilisation du poids. Après refroidissement au dessiccateur, le creuset est pesé de nouveau.

$$H\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

Avec :

H : taux d'humidité.

m_0 : la masse la creuse vide.

m_1 : la masse la creuse contenant la prise d'essai.

m_2 : la masse la creuse après 4h

I.3.4.1.8. Cendres

5 mL d'échantillon sont placés dans un creuset et chauffés dans un four à moufle à 650 °C pendant 4 heures. Le résidu est pesé après refroidissement.

$$\text{Taux de cendres \%} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

P_0 : la masse la creuse vide.

P_1 : la masse la creuse contenant la prise d'essai.

P_2 : la masse la creuse après incinération.

I.3.4.1.9. Polyphénols totaux

10 mL d'échantillon sont extraits avec 90 mL de méthanol 80 %. Après 4 heures d'agitation, le mélange est centrifugé à 4000 × g pendant 10 minutes. Le surnageant est filtré, puis mélangé à de l'eau distillée, du réactif de Folin–Ciocalteu et du Na_2CO_3 . L'absorbance est mesurée à 760 nm.

I.3.4.1.10. Dosage des sucres totaux

2 mL de l'extrait dilué sont mélangés à 50 µL de phénol (80 %) et 3 mL d'acide sulfurique concentré. Après agitation et incubation à température ambiante pendant 10 minutes, l'absorbance est lue à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une gamme étalon au glucose est utilisée pour la quantification.

I.3.4.1.11. Analyse de la viscosité

La rhéologie du lait a été caractérisée par un rhéomètre à vitesse de cisaillement imposée (Modular Compact Rheometer, MCR 302) à 4°C (**figure A3.1** citée en **Annexe 03**). La température a été contrôlée par un bain cryo-thermostaté circulant autour de la cuve. Les tests rhéologiques effectués sont détaillés dans le **Tableau 05**.

Tableau 5 Tests rhéologiques effectués en géométrie double Couette

Type de test	Régime	Paramètres typiques	Réponse enregistrée
Balayage en déformation	Oscillatoire	$0,001 \leq \gamma \leq 1$ $\omega = 10 \text{ rad/s}$	Domaine linéaire de viscoélasticité (G' , G'')
Balayage en fréquence	Oscillatoire	$0, 1 \leq \omega \leq 100$ $\gamma = 0,01$	Spectre mécanique G' , G'' , viscoélasticité
Balayage en vitesse de cisaillement	Permanent	$0,01 \leq \dot{\gamma} \leq 1000$	Indices de consistance et d'écoulement (k et n)

I.3.4.2. Caractérisation microbiologique du lait de lupin

Le contrôle de la conformité microbiologique du lait de lupin consiste en la recherche des germes suivants :

- Flore aérobie mésophile totale
- Coliformes totaux
- Coliformes fécaux
- Staphylocoques à coagulase positive
- Salmonella spp.
- Clostridium spp.
- Moisissures et levures

I.3.4.2.1. Préparation de l'échantillon et des dilutions

L'échantillon de lait de lupin a été utilisé directement comme solution mère pour les dilutions décimales. Les manipulations ont été réalisées dans des conditions aseptiques, selon le protocole suivant :

- ✓ L'échantillon a été homogénéisé soigneusement.
- ✓ 1 mL du lait a été prélevé avec une pipette stérile et introduit dans un tube contenant 9 mL de diluant stérile (TSE), obtenant ainsi la dilution 10^{-1} .

- ✓ À l'aide d'une nouvelle pipette stérile, 1 mL de cette dilution a été transféré dans un second tube contenant également 9 mL de TSE, pour obtenir la dilution 10^{-2} , et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10^{-3} .

Chaque étape de dilution a été réalisée avec du matériel stérile pour éviter toute contamination croisée.

I.3.4.2.2. Méthodologie d'analyse

Les analyses ont été menées selon les normes ISO et les recommandations de la JORA, en utilisant des milieux sélectifs appropriés, avec les conditions d'ensemencement et d'incubation adaptées à chaque type de micro-organisme.

Tableau 6: Les analyses microbiologiques ont été réalisées conformément aux normes JORA N° 58/2017

Micro-organisme recherché	Milieu utilisé	Ensemencement	Incubation	Norme / Référence
Flore totale aérobie mésophile	PCA	En masse (1 mL)	72 h à 30 °C	ISO 4833-1
Coliformes totaux	VRBL	En masse (1 mL)	24 h à 30 °C	ISO 7251 / JORA N° 58/2017
Coliformes fécaux	VRBL	En masse (1 mL)	24–48 h à 44 °C	ISO 7251
Staphylocoques à coagulase positive	Gélose Baird-Parker	En surface (0,1 mL)	48 h à 35–37 °C	ISO 6888-2 / JORA N° 68/2014
Salmonella spp.	Bouillons RVS	En surface	24 h à 37 °C	ISO 6579-1 / JORA N° 44/2017
Clostridium spp.	Viande de Foie (VF)	En profondeur	24–48 h à 37 °C	ISO 15213 / JORA N° 52/2015
Levures et moisissures	OGA	En surface	5 jours à 25 °C	ISO 21527-1 / JORA N° 58/2017

I.3.4.2.2.1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Les dilutions à préparer sont : SM, 10^{-1} , 10^{-2} .

Utiliser le milieu VRBL. Ensemencer 1 mL de chaque dilution en boîte de Pétri, couler le milieu, homogénéiser, laisser solidifier, puis ajouter une seconde couche fine.

- ✓ Colonies isolées, d'au moins 0,5 mm. de diamètre de couleur rose.

I.3.4.2.2.2. Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale

Préparer les dilutions : SM, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} .

Utiliser le milieu PCA. Ensemencer 1 mL dans chaque boîte et couler le milieu encore chaud. Homogénéiser, laisser solidifier.

I.3.4.2.2.3. Dénombrement des staphylocoques à coagulase positive

Préparer les dilutions : SM, 10^{-1} , 10^{-2} .

Préparer le milieu Baird Parker en ajoutant 5 mL de jaune d'œuf et 1 mL de tellurite. Ensemencer 0,1 mL de chaque dilution en surface.

- ✓ Les colonies sont noires ou gris, brillantes (diamètre 1 mm à 1,5 mm après 24 h d'incubation et 1,5 mm à 2,5 mm de diamètre après 48 h d'incubation) et sont entourées d'une auréole claire.

I.3.4.2.2.4. Recherche des Salmonelles

Pré-enrichir la suspension mère dans de l'eau peptonée à 37 °C pendant 18 h. Transférer 0,1 mL dans 10 mL de bouillon RVS → Incubation à 41,5 °C pendant 24 h. Ensemencer ensuite sur gélose XLD en surface.

- ✓ Les colonies typiques de Salmonella cultivées sur la gélose ont un centre noir et sont entourées d'un halo clair transparent rouge dû à un changement de l'indicateur du milieu.

I.3.4.2.2.5. Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices (Clostridium spp.)

Préparer les dilutions : SM, 10^{-1} , 10^{-2} .

Utiliser le milieu viande-foie (VF). Ensemencer en profondeur.

I.3.4.2.2.6. Dénombrement des levures et moisissures

Pour la recherche des Levures et Moisissures, les dilutions à préparer sont : SM, 10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3} , en utilisant le milieu de culture OGA et ensemencer le produit En profondeur

I.3.5. Préparation du beurre de cacahuète

Le beurre de cacahuète a été préparé artisanalement à partir de graines de cacahuète entières, dans le but d'obtenir une source naturelle de matières grasses végétales et de protéines pour la formulation du dessert glacé.

- ✓ Les graines de cacahuète ont d'abord été triées manuellement pour éliminer les impuretés visibles, puis légèrement grillées au four à température modérée (environ 150 °C pendant 10 à 15 minutes), afin de développer l'arôme, améliorer la texture et faciliter le broyage.
- ✓ Après refroidissement, les graines ont été broyées mécaniquement à l'aide d'un broyeur à l'aide d'un hachoir électrique de 300 W, fonctionnant à une vitesse élevée, jusqu'à obtention d'une pâte lisse et homogène.
- ✓ Le beurre obtenu a été conditionné dans un pot en verre hermétiquement fermé, puis stocké à 4 °C jusqu'à son incorporation dans la formulation finale.

Les étapes de la préparation sont illustrées en **Annexe n° 04**

I.3.6. Caractérisation physico-chimique et microbiologique du beurre de cacahuète

Des analyses ont été réalisées sur le beurre de cacahuète préparé artisanalement afin d'évaluer sa qualité nutritionnelle et son innocuité microbiologique. Les paramètres physico-chimiques déterminés comprennent l'humidité, les cendres, les protéines, les matières grasses et l'acidité titrable. En parallèle, une série d'analyses microbiologiques a été menée conformément à la réglementation algérienne.

Paramètres physico-chimiques analysés

- Humidité : Séchage à 105 °C jusqu'à masse constante.
- Cendres : Incinération à 550 °C pendant 4 heures.
- Protéines brutes : Dosage par la méthode de Kjeldahl.
- Matières grasses : Extraction selon la méthode de Soxhlet.
- pH et acidité titrable : Titrage par NaOH 0,1 N en présence de phénolphthaléine.

Les protocoles opératoires détaillés sont présentés dans l'Annexe n°5.

Analyses microbiologiques

Conformément à la réglementation algérienne (arrêté interministériel du 02 juillet 2017), des analyses microbiologiques ont été réalisées pour vérifier la conformité hygiénique du produit

Tableau 7: Microorganismes recherchés dans le beurre de cacahuète, milieux utilisés, modalités d'ensemencement et conditions d'incubation

Micro-organisme recherché	Milieu utilisé	Ensemencement	Incubation	Norme / Référence
Flore totale aérobie mésophile	PCA	En masse (1 mL)	72 h à 30 °C	ISO 4833-1
Escherichia coli	VRBL	En masse (1 mL)	24-48 h à 44 °C	ISO 7251
Staphylocoques à coagulase positive	Gélose Baird-Parker	En surface (0,1 mL)	48 h à 35-37 °C	ISO 6888-2 / JORA N° 68/2014
Salmonella spp.	Bouillons RVS	En surface	24 h à 37 °C	ISO 6579-1 / JORA N° 44/2017
Levures et moisissures	OGA	En surface	5 jours à 25 °C	ISO 21527-1 / JORA N° 58/2017

I.3.7. Formulation du dessert glacé

Dans le cadre de cette étude, neuf formules de dessert glacé ont été élaborées au laboratoire de microbiologie de l'ISTA (Université de Blida 1). Parmi elles, huit formules expérimentales (F1 à F8) ont été préparées à base de lait de lupin, de beurre de cacahuète, de résidu sec issu du lait de lupin et de poudre de datte, dans le but d'obtenir un dessert 100 % végétal.

Une formule témoin (T1) a également été formulée à base de lait entier, lait en poudre écrémé (0%), crème à 26 % de matière grasse et sucre cristallisé, afin de permettre une comparaison sensorielle et physico-chimique.

Toutes les manipulations ont été réalisées dans des conditions aseptiques, afin de limiter les risques de contamination microbienne.

La composition détaillée des différentes formules est présentée dans les tableaux **I.1** et **I.2** ci-dessous :

Tableau 8:Composition des huit formules végétales (F1 à F8)

Ingrédient(%)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Lait de lupin+ Résidu sec de lupin	69,4	75,4	80,4	79,4	81,9	86,9	74,4	84,4
Beurre de cacahuète	20	15	10	15	15	10	20	10
Poudre de datte	10	9	9	5	2,5	2,5	5	5
Stabilisant + émulsifiant+ Arome	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 9 : Composition de la formule témoin (T1)

Ingrédient (%)	Témoin T1
Lait écrémé	70
Poudre de lait 0 % MG	4,4
Crème (20 % MG)	11
Sucrose	14
Stabilisant + émulsifiant+ Arome	0,6
Total	100

I.3.8. Analyses physico-chimiques des mixes

Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé une série d'analyses physico-chimiques afin de caractériser les différentes formulations des mixes du dessert glacé, avant surgélation. Ces analyses ont porté sur les paramètres suivants : extrait sec total, température, masse

volumique, pH, acidité titrable, matières grasses, extrait sec dégraissé, protéines, cendres, sucres totaux, glucides totaux, amidon, ainsi que la valeur énergétique.

I.3.8.1. Détermination de l'extrait sec total

Nous avons pesé 5 g de mix dans un creuset préalablement taré, puis nous avons effectué un premier séchage à 103 ± 2 °C dans une étuve ventilée pendant trois heures. Après refroidissement, nous avons pesé de nouveau les échantillons, puis poursuivi le séchage par cycles jusqu'à l'obtention d'un poids constant. (Figures A6.1 citée en Annexe n °6)

I.3.8.2. Mesure de la température

Nous avons mesuré la température de chaque mix à l'aide d'un thermomètre standard immédiatement après leur homogénéisation. (Figures A6.2 citée en Annexe n °6)

I.3.8.3. Détermination de la masse volumique

Deux méthodes ont été appliquées :

- ✓ **Pour la formule témoin**, nous avons utilisé un lactodensimètre introduit dans une éprouvette de 250 mL contenant le mix à 20 °C. La lecture a été effectuée après stabilisation.
- ✓ **Pour les formules végétales**, nous avons utilisé un pycnomètre selon les étapes suivantes :
 - Pesée du pycnomètre vide (m_0)
 - Remplissage avec de l'eau distillée à 20 °C puis pesée (m_e),
 - Remplissage avec le mix à 20 °C puis pesée (m_m). (Figures A6.3 citée en Annexe n °6)

La masse volumique a été calculée selon la formule :

$$\text{Densité spécifique (SG)} = \frac{m_m - m_0}{m_e - m_0}$$

I.3.8.4. Mesure du pH

Nous avons mesuré le pH à l'aide d'un pH-mètre numérique (InoLab 7310), calibré avec des tampons de pH 4 et 7. Pour chaque mesure, nous avons dissous 10 g de mix dans 90 mL

d'eau distillée, puis immergé l'électrode dans le mélange après homogénéisation. La lecture a été prise après stabilisation. (Figures A6.4 citée en Annexe n °6)

I.3.8.5. Détermination de l'acidité titrable

Nous avons déterminé l'acidité titrable par titrage de 10 g de mix avec une solution de NaOH (1/9 N) en présence de phénolphthaléine. La fin du titrage a été indiquée par l'apparition d'une teinte rose pâle. (Figures A6.5 citée en Annexe n °6)

I.3.8.6. Teneur en matières grasses

Nous avons extrait les matières grasses par la méthode Soxhlet après hydrolyse alcaline, en utilisant de l'éther de pétrole comme solvant (AOAC, 2005) (Figures A6.6 citée en Annexe n °6)

I.3.8.7. Extrait sec dégraissé (ESD)

Nous avons calculé l'extrait sec dégraissé par différence, selon la formule :

$$\text{ESD (\%)} = \text{Extrait sec total (\%)} - \text{Matières grasses (\%)}$$

I.3.8.8. Teneur en protéines

Nous avons déterminé la teneur en protéines à partir du taux d'azote total obtenu par la méthode Kjeldahl, en appliquant le facteur de conversion 6,25 (Figures A6.7 citée en Annexe n °6)

I.3.8.9. Teneur en cendres

Nous avons incinéré environ 5 g d'échantillon dans un four à moufle à 550 °C jusqu'à combustion complète. Le résidu minéral correspond à la teneur en cendres. (Figures A6.8 citée en Annexe n °6)

I.3.8.10. Dosage des sucres totaux

Nous avons dosé les sucres totaux selon la méthode colorimétrique de Dubois et al. (1956), utilisant un mélange d'acide sulfurique et de phénol. Les absorbances ont été mesurées à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, et les concentrations ont été déduites à partir d'une courbe étalon de glucose. (Figures A6.9 citée en Annexe n °6)

I.3.8.11. Détermination des glucides totaux et de l'amidon

Nous avons calculé les glucides totaux par différence :

$$\text{Glucides totaux (\%)} = 100 - (\% \text{ humidité} + \% \text{ protéines} + \% \text{ lipides} + \% \text{ cendres})$$

Le taux d'amidon a ensuite été estimé selon la formule :

$$\text{Amidon (\%)} = 0,9 \times (\text{Glucides totaux} - \text{Sucres totaux})$$

I.3.8.12. Calcul de la valeur énergétique

Enfin, nous avons déterminé la valeur énergétique en appliquant les coefficients d'Atwater et Rosa (1899), selon la formule de Coleman (1970) :

$$\text{Énergie (kcal/100 g)} = (\text{Lipides} \times 9) + (\text{Protéines} \times 4) + (\text{Glucides totaux} \times 4)$$

I.3.9. Analyses physico-chimiques des desserts glacée

I.3.9.1. Analyse de l'incorporation d'air (Overrun)

L'incorporation d'air dans la crème glacée, également appelée overrun, représente le pourcentage d'air introduit dans le mélange lors du foisonnement. Elle joue un rôle essentiel dans la texture, la légèreté et la perception en bouche du produit fini (**Clarke, C,2007**)

L'analyse consiste à comparer la masse du mélange avant congélation (non foisonné) à celle de la crème glacée obtenue après foisonnement et congélation, pour un même volume. L'air incorporé réduit la densité du produit, d'où une diminution de son poids par unité de volume (**Clarke, C,2007**)

La méthode décrite par **Clarke (2007)** a été utilisée. Deux gobelets en plastique de 100 ml sont remplis respectivement du mélange liquide avant congélation (poids WA), et de la crème glacée foisonnée (poids WB).

Les deux pesées sont réalisées à l'aide d'une balance de précision.

⇒ **Expression des résultats**

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{WA - WB}{WB} * 100$$

I.3.10. Préparation du dessert glacé

La préparation du dessert glacé a été réalisée selon un schéma technologique détaillé dans la **figure04** Les étapes opératoires complètes, incluant les paramètres de température, de temps, et les équipements utilisés, sont décrites dans **l'annexe n°7**.

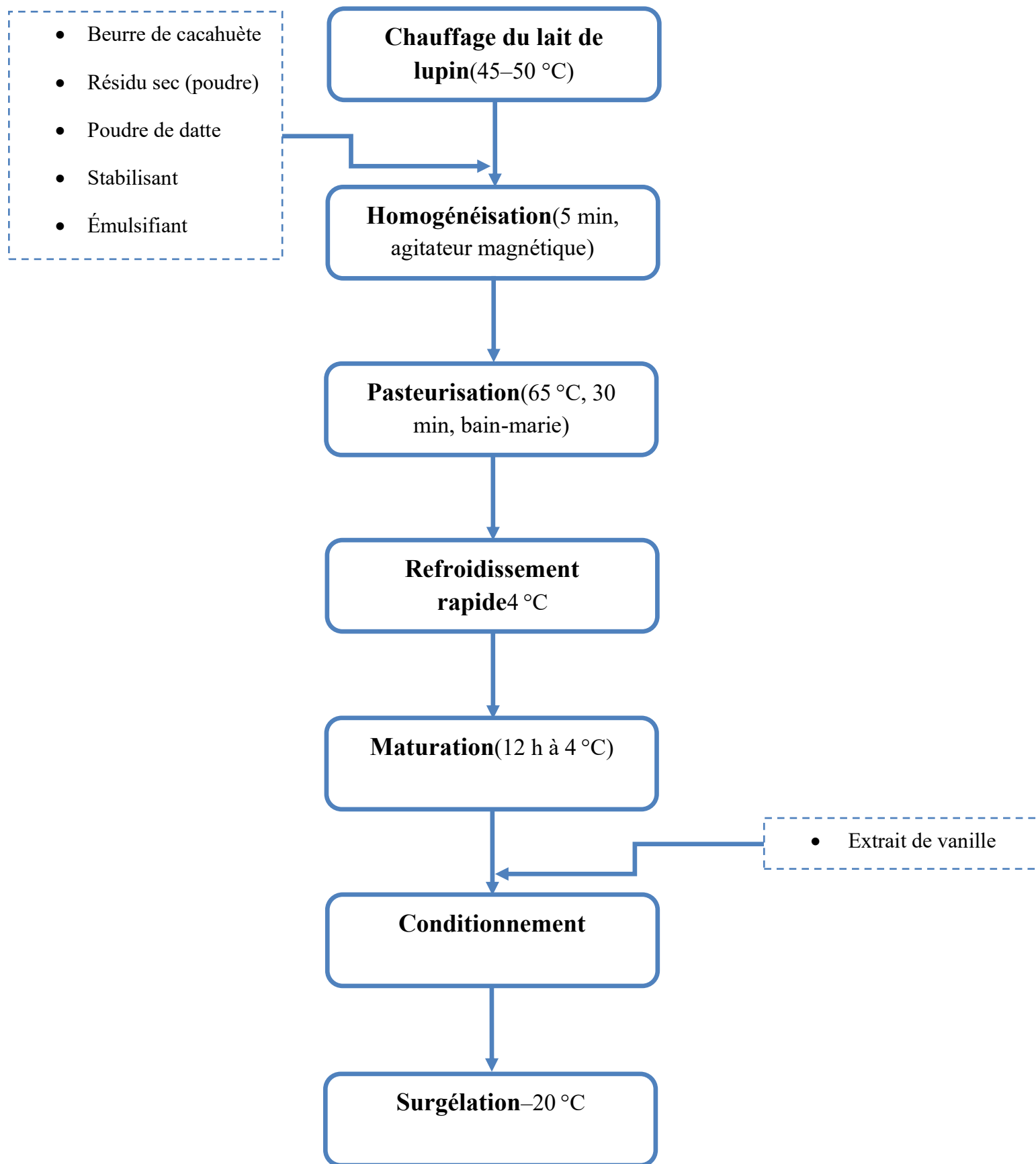


Figure 4:Diagramme de fabrication du dessert glacé

I.3.11. Étude sensorielle

L'analyse sensorielle a été réalisée selon le test hédonique pour évaluer d'une façon générale le degré d'appréciation du produit élaboré en réalisant des profils sensoriels par l'observation visuelle, olfactive et gustative.

Le jury de dégustation était composé de 16 personnes (étudiants, enseignants et ingénieurs de laboratoire), des deux sexes et d'âges variés (de 19 à 50 ans). Les panélistes ne sont pas entraînés mais ils ont l'habitude de participer dans les évaluations sensorielles. Ils étaient sélectionnés selon leurs disponibilités et volontés à participer à cette analyse.

La séance d'analyse a eu lieu entre 13 h et 15 h sur des échantillon de 72 h conservés à -20°C dans des pots en PET.

Nous avons demandé aux dégustateurs d'évaluer chaque échantillon codé selon une échelle allant de 1 (extrêmement inappréciable) à 9 (extrêmement appréciable) et de remplir le bulletin d'analyse (**Annexe n°8**) comportant les critères suivants : aspect visuel, couleur, odeur, arôme, texture en bouche, consistance et goût.

Les résultats ont été exprimés sous forme de moyennes. Une analyse descriptive a été réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Excel (version 2019), afin d'identifier les préférences globales des dégustateurs et de comparer les différentes formules entre elles.

I.3.12. Étude statistique

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2019. Les données sont exprimées sous forme de moyennes $\pm$ écart-type (ET), calculées à partir de trois répétitions indépendantes ($n = 3$) pour chaque paramètre analysé. Cette approche permet de refléter la variabilité expérimentale et de garantir la reproductibilité des mesures.

CHAPITRE II : RÉSULTATS ET DISCUSSION

II.1. Caractéristiques physico-chimiques des graines de lupin

Dans cette partie, nous présentons et analysons les résultats obtenus à partir des différentes analyses physico-chimiques réalisées sur les graines de lupin (avant trempage) et **après** trempage (pendant 72 h avec renouvellement de l'eau toutes les 12 h). L'objectif principal est de mettre en évidence l'impact de ce traitement sur la qualité nutritionnelle et la composition chimique des graines et d'évaluer les paramètres clés essentiels à l'exploration de leur potentiel en tant que ressources nutritionnelles.

Les résultats de la caractérisation physico-chimique de la farine des graines de lupin avant et après traitement sont donnés dans le **tableau 09**

Tableau 10: résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des graines de lupin avant et après trempage(n=3)

Paramètre	FL1	FL2
Poids de 1000 graines (g)	307,39 ± 2,93	—
pH	5,69 ± 0,04	5,43 ± 0,05
Acidité (g H ₂ SO ₄ / 100 g)	0,81 ± 0,06	1,11 ± 0,15
Humidité (%)	7,61 ± 0,25	3,88 ± 0,05
Matière sèche (%)	92,39 ± 0,25	96,12 ± 0,05
Cendres (%)	3,02 ± 0,08	1,04 ± 0,03
Protéines (% MS)	37,97 ± 0,12	52,40 ± 0,27
Lipides (% MS)	11,86	15,13
Sucres totaux (%)	11,03	3,36
Glucides totaux (%)	39,54	27,54
Taux d'amidon (%)	25,67	19,83
Activité de l'eau (Aw) à 25 °C	0,4825 ± 0,0007	0,326
Valeur énergétique (calorie)	416,78	455,94
Polyphénols totaux (mg GAE/g MS)	34,19	32,73
Flavonoïdes (mg EQ/g)	1,99	1,83
Alcaloïdes	Présence	Absence

FL1 : farine de lupin avant trempage ; FL2 : farine de lupin après trempage (72 h).

Le poids de 1000 graines est un indicateur de la grosseur et de la densité des graines. Dans la présente étude, cette mesure a été évalué pour l'échantillon FL1, avec une valeur moyenne de 307,39 ± 2,93 g (**tableau09**).

Ce paramètre est fortement influencé par le génotype, les conditions de culture et le stade de maturité. D'après Duranti M. (2006), le poids moyen des graines de *Lupinus albus* varie généralement entre 280 et 320 g pour 1000 graines.

Les résultats obtenus sont en accord avec la littérature et confirment que les graines utilisées sont bien développées, de taille homogène, et potentiellement aptes à une valorisation technologique dans le cadre de la formulation de produits alimentaires à visée fonctionnelle.

L'analyse du pH a révélé une différence significative ($p < 0,05$) entre les deux échantillons. L'échantillon FL1 présente un pH moyen de $5,69 \pm 0,04$, tandis que FL2 affiche une valeur plus faible, $5,43 \pm 0,05$. Cette diminution du pH chez FL2 indique une acidité plus marquée par rapport à FL1.

Cette observation est confirmée par les résultats obtenus de l'acidité titrable, exprimée en g d' H_2SO_4 pour 100 g de produit. En effet, l'échantillon FL2 présente une acidité de $1,11 \pm 0,15$ g/100 g, nettement supérieure à celle de FL1, qui s'élève à $0,81 \pm 0,06$ g/100 g.

Ces résultats sont en accord avec les valeurs rapportées pour *Lupinus albus*, et indiquent une légère acidité naturelle des graines (Erbas M., 2010).

Ces résultats suggèrent que le trempage favorise l'augmentation de l'acidité, probablement en raison de réactions enzymatiques ou fermentaires activées par l'hydratation. Les enzymes hydrolases naturellement dans les graines, telles que les phytases et les oxydoréductases, qui peuvent libérer des acides organiques (notamment acide phytique partiellement hydrolysé, acide citrique ou malique). De plus, en conditions favorables, le trempage peut favoriser une légère activité microbienne ou fermentaire spontanée, conduisant à la production additionnelle d'acides faibles (Wang N. et al., 2010) ou du lessivage partiel des alcaloïdes (Muzquiz et al., 1994).

La teneur en humidité est un critère fondamental pour évaluer la stabilité des graines au stockage. Un taux d'humidité inférieur à 10 % est généralement requis pour limiter les risques de développement microbien et d'altération enzymatique (FAO, 1992).

Nous avons noté une teneur en humidité moyenne des graines de lupin était de $7,61\% \pm 0,25$ (tableau 09). Après trempage puis séchage, cette teneur a diminué à $3,88\% \pm 0,05$, ce qui reflète une déshydratation efficace lors de la phase de préparation post-traitement. Par conséquence, la matière sèche a donc augmenté de 92,39 % à 96,12 %.

Cette faible teneur en eau garantit une bonne stabilité de la matière première pour les étapes ultérieures de transformation (extraction du lait de lupin).

Les résultats ont montré une teneur moyenne en cendres de $3,02 \pm 0,08$ pour FL1 et $1,04 \pm 0,03$ pour le FL2. Cette diminution significative ($P < 0,05$) peut être attribuée s'explique par la solubilisation partielle des sels minéraux dans l'eau de trempage (Bhardwaj *et al.*, 2022). En effet, des éléments minéraux tels que le potassium, le magnésium ou certains phosphates sont hydrosolubles et peuvent migrer vers le milieu aqueux au cours du trempage, surtout si celui-ci est prolongé.

Nous avons observé une augmentation significative de la teneur en protéines, exprimée en pourcentage de matière sèche, suite au traitement de trempage suivi de séchage.

En effet, les échantillon (FL1) présentaient une teneur moyenne de $37,97 \pm 0,12$ %, tandis que les graines traitées (FL2) présentaient une valeur nettement plus élevée de $52,40 \pm 0,27$ % (tableau 09).

Plusieurs auteurs ont rapporté la richesse des légumineuses, et plus particulièrement du genre *Lupinus* en protéines (Erbaş M., 2010, Billy Lo. *et al.*, 2021, Szczepański A. *et al.*, 2022, Jiafei Tang *et al.*, 2025) en comparaison avec les autres légumineuses tel que le pois chiche qui contient 24,7 % de protéines (Sánchez-Vioque *et al.*, 1999).

Les teneurs en protéines obtenues sont proches de ce qui a été rapportées par Akremi, I. *et al.*, (2025) ($31,37\% \pm 0,00$) et Porres, J. M. *et al.*, (2007) (51,88%). Ces divergences pourraient résulter de variations génétiques, de conditions environnementales (y compris la température, la composition du sol et les niveaux d'humidité) ou de différences méthodologiques (Akremi, I. *et al.*, 2025).

Les résultats d'analyse des lipides, exprimés en pourcentage de matière sèche, ont révélé une augmentation notable après trempage. En effet, l'échantillon FL1 présentait une teneur moyenne en matières grasses de 11,86, tandis que les graines traitées (FL2) présentaient une teneur plus élevée, atteignant 15,13 % (tableau 09).

Après trempage, une augmentation notable de la teneur en protéines et en lipides a été enregistrée. Cette hausse apparente peut être attribuée à la diffusion dans l'eau de trempage de composés hydrosolubles, tels que les glucides, les sels minéraux et les substances anti-nutritionnelles, ainsi qu'à la réduction de l'humidité après séchage. Donc, ce qui entraîne une concentration relative des protéines dans la matière sèche résiduelle.

Les résultats relatifs à la fraction glucidique des graines de lupin montrent une diminution significative après le traitement de trempage. En effet, la teneur en glucides totaux est passée de 39,54 % dans les graines brutes (FL1) à 27,54 % dans les graines trempées et

séchées (FL2). Cette réduction est également observée pour les sucres totaux (**11,03 %** à 3,36 %) ainsi que pour l'amidon, dont la teneur a chuté de 30,63 % à 19,83 %.

Cette diminution peut être attribuée à la diffusion des glucides solubles (comme les sucres simples et certaines fractions d'amidon hydrolysable) dans l'eau de trempage, ainsi qu'à une éventuelle activation enzymatique endogène (ex.: amylases) favorisant la dégradation partielle de l'amidon. Ce phénomène est fréquemment observé dans les légumineuses, notamment lorsque le trempage est prolongé à température ambiante, favorisant ainsi le début du métabolisme de germination.

Par conséquent, la baisse globale des glucides totaux reflète non seulement une perte de matière soluble, mais également une modification qualitative du profil glucidique, susceptible d'améliorer la digestibilité des graines et de réduire leur indice glycémique potentiel.

L'activité de l'eau (A_w), mesurée à 25 °C, a révélé une diminution significative ($P < 0,05$) entre les deux échantillons. L'échantillon (FL1) présentait une valeur moyenne de $0,4825 \pm 0,0007$, tandis que l'échantillon (FL2) présentait une A_w réduite à **0,326**. Des valeurs proches ($A_w \approx 0,57$) ont été rapportées pour des graines de lupin brutes (**Erbaş, 2010**).

Cette baisse substantielle de l'activité de l'eau témoigne d'une déshydratation efficace du produit après traitement, réduisant ainsi la quantité d'eau libre disponible pour les réactions biochimiques ou la croissance microbienne. Une $A_w < 0,6$ est généralement considérée comme limitant le développement de la majorité des bactéries, et une valeur inférieure à 0,4 empêche également la croissance de la plupart des moisissures et levures (**Barbosa-Cánovas et al., 2007, Jay J. M. et al., 2008**).

Ainsi, l'abaissement de l' A_w observé dans l'échantillon FL2 confère à la matière première une meilleure stabilité microbiologique, ce qui constitue un avantage technologique important en vue de son utilisation ultérieure dans la formulation du dessert glacé à longue durée de conservation.

L'analyse qualitative des alcaloïdes a révélé leur présence dans les graines de *Lupinus luteus* (FL1), tandis qu'aucune trace détectable n'a été observée dans les graines (FL2). Nos résultats sont similaires à ceux qui ont été décrits par d'autres auteurs (**Jimenez-Martinez et al. 2001 ; Torres et al. 2005**).

Cette élimination apparente des alcaloïdes peut être attribuée à leur nature hydrosoluble, facilitant leur diffusion dans l'eau de trempage. Ce phénomène est bien documenté dans la littérature, notamment pour les espèces de lupin à forte teneur initiale en alcaloïdes amers, dont la désamérisation repose essentiellement sur des traitements hydriques (**Hondelmann, 1984**).

La disparition des alcaloïdes dans l'échantillon FL2 est particulièrement intéressante d'un point de vue nutritionnel et technologique, car ces composés qui sont bien que naturellement présents dans de nombreuses espèces de lupin et sont considérés comme toxiques à forte dose, en raison de leurs effets neurotoxiques, tératogènes et antinutritionnels (**Hama, J.R. & Strobel, B.W.,2020**). Leur élimination améliore ainsi la sécurité d'utilisation des graines dans les applications alimentaires humaines, notamment pour la production de lait végétal, de farines ou d'aliments fonctionnels.

Ces résultats confirment l'efficacité du trempage prolongé comme méthode simple et économique de réduction des alcaloïdes totaux, conformément aux observations qui a été faites par **Clapham, W. M. (2000)**, qui a souligné l'importance de ces procédés dans la transformation des variétés amères vers des formes douces plus adaptées à la consommation humaine.

La teneur en polyphénols totaux, exprimée en mg GAE/g MS, a été évaluée à **34,19** dans l'échantillon (FL1), et à **32,73** pour l'échantillon (FL2). De même, la teneur en flavonoïdes totaux, exprimée en mg EQ/g MS a passé de **1,99** à **1,83** après traitement. Ces légères diminutions peuvent être s'expliquer par la diffusion partielle des composés hydrosolubles dans l'eau de trempage. Toutefois, la perte reste modérée, suggérant que les conditions de traitement appliquées (durée, température ambiante) ont permis de préserver l'essentiel de la fraction antioxydante.

Les polyphénols constituent le plus grand groupe de métabolites secondaires des plantes dont les flavonoïdes sont le sous-groupe le plus répandu et le plus diversifié (**Ullah et al., 2020**). La capacité antioxydante des polyphénols est attribuée à leur capacité à piéger les espèces réactives de l'oxygène (ROS) en raison de leurs propriétés de don d'électrons ou d'hydrogène, à se lier aux ions métalliques de transition sous forme de complexes inertes (**Dangles, 2012**).

Plusieurs études ont montré que les graines de lupin jaune (*Lupinus luteus*) présentaient les taux les plus élevés en polyphénols totaux comparativement à *Lupinus angustifolius* (lupin à feuilles étroites) et à *Lupinus albus* (lupin blanc) (**Siger, A. et al. 2012, Król, A. et al., 2018, Estivi, L. et al. 2023, Zielińska, D., 2025**).

La bonne rétention des polyphénols et flavonoïdes dans l'échantillon FL2 confirme l'intérêt technologique de cette espèce dans les formulations alimentaires fonctionnelles. Ces résultats sont cohérents avec les travaux antérieurs rapportant une relative stabilité des polyphénols dans les légumineuses soumises à un traitement hydrique non thermique prolongé (**Amarowicz R. et al., 2009**). Le maintien de taux élevés de composés phénoliques dans les

graines traitées est particulièrement intéressant, compte tenu de leur rôle fonctionnel en tant qu'antioxydants naturels, capables de protéger les lipides et les protéines contre l'oxydation dans les matrices alimentaires, telles que les laits végétaux et les desserts glacés.

Les résultats de la caractérisation physico-chimique des graines de *Lupinus luteus* traitées (FL2) ont mis en évidence des propriétés nutritionnelles particulièrement intéressantes, notamment une teneur élevée en protéines, une faible teneur en amidon, une absence d'alcaloïdes et une activité de l'eau réduite. Ces caractéristiques confirment la pertinence de cette matière première pour le développement de produits alimentaires à haute valeur ajoutée. Fort de ces résultats, la suite du travail a consisté à valoriser les graines traitées par l'extraction d'un lait végétal, servant de base à la formulation d'un dessert glacé fonctionnel. Cette étape s'inscrit dans une approche de transformation intégrée visant à produire un aliment innovant, végétal, nutritif et adapté aux besoins des consommateurs recherchant des alternatives aux produits laitiers conventionnels.

II.2. Caractérisation du lait de lupin

II.2.1. Caractéristiques physico-chimiques du lait de lupin

Les résultats d'analyse des paramètres physico-chimique du lait de lupin sont présentés dans le **tableau 10**

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que le lait extrait de *Lupinus luteus* se caractérise par une teneur élevée en eau ($97,71\% \pm 0,02$) et donc une faible matière sèche ($2,29\% \pm 0,02$), ce qui entraîne une dilution importante des nutriments majeurs. Ainsi, les teneurs en protéines ($0,84\% \text{ MS} \pm 0,04$) et en lipides ($0,93\% \text{ MS} \pm 0,06$) sont significativement plus faibles que celles rapportées dans les autres études antérieures, notamment par **Mohamed et al. (2019)** (14,96 % protéines, 7,54 % lipides), **Çebi, K., & Yanglar, F. (2025)** (5,66 % protéines, 0,92 % lipides), **Duarte, C. M. et al. (2022)** (4,05% protéines, 0,24 % lipides), et **Abdo N. H. et al. (2022)** (7,10 % protéines, 1,25 % lipides).

Ces écarts peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment l'espèce végétale utilisée (*L. luteus*) dans notre étude, et (*L. albus*) dans les études antérieures (**Abdo N. H. et al. 2022, Çebi, K., & Yanglar, F. 2025**). Ainsi que, les procédés d'extraction, notamment le prétraitement des graines (la durée de trempage, le décorticage, le blanchiment, la fermentation), l'utilisation ou non d'étapes de concentration.

Tableau 11: résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques du lait de lupin.

Paramètre	Lait de lupin
Rendement	20%
pH	5,94 ± 0,006
Acidité titrable (g H ₂ SO ₄ / 100 g)	0,34 ± 0,000
Humidité (%)	97,71 ± 0,02
Densité	1,0024 ± 0,0027
Matière sèche (%)	02,29 ± 0,02
Cendres (%)	0,11 ± 0,02
Protéines (% MS)	0,84 ± 0,04
Lipides (% MS)	0,93 ± 0,06
Sucres totaux (%)	0,06
Glucides totaux (%)	0,40
Taux d'amidon (%)	0,33
Valeur énergétique (kcal/100 mL)	13,37
Polyphénols totaux (mg GAE/g MS)	15,08
Flavonoïdes (mg EQ/g)	0,62

Le pH mesuré du lait de lupin est de $5,94 \pm 0,006$, une valeur légèrement inférieure à celle rapportée par Elsamani **M.O. et al.** (2014) ($6,30 \pm 0,10$) et Çebi, K., & Yangilar, F. (2025) ($6,03 \pm 0,04$). Cette acidité plus marquée peut s'expliquer par une légère hydrolyse enzymatique de composés glucidiques ou par le déclenchement d'un début de fermentation spontanée, favorisé par la richesse du milieu en composés nutritifs et une température ambiante prolongée lors de la manipulation.

L'acidité titrable, exprimée en équivalent (g H₂SO₄ / 100 g), a été évaluée à 0,343 %, en comparaison avec celle rapportée par Çebi, K., & Yangilar, F. (2025) (0,28 g acide lactique/ 100 g ± 0,02).

Le pH et l'acidité de notre échantillon se situaient dans la fourchette normale des laits analogues à base de légumineuses.

Le taux de cendres mesuré est de $0,113 \pm 0,02$ %, indiquant une faible teneur en minéraux par rapport à celle des graines de lupin entières. Cette diminution peut s'expliquer par l'élimination des téguments et des fractions riches en éléments minéraux lors de la fabrication.

La densité du lait de lupin après centrifugation a révélé une teneur de $1,0024 \pm 0,0027$, soit une valeur légèrement inférieure à celle du lait de vache (1,028 à 1,035 g/mL ; Walstra et al., 2006). Cette faible densité reflète la basse concentration en matières sèches et la prédominance de composés solubles, ce qui est en accord avec les résultats obtenus pour les autres paramètres physico-chimiques.

Sur le plan nutritionnel, malgré une densité calorique plus faible (13,37 kcal/100g), notre lait de lupin présente une bonne teneur en polyphénols (**15,08 mg GAE/g MS**) et en **flavonoïdes (0,62 mg EQ/g)**. Ce qui constitue un atout fonctionnel important, notamment dans le cadre de la formulation d'un dessert glacé.

En comparaison avec les travaux précédents, notre lait de *Lupinus luteus* se distingue par une composition plus diluée en raison de son taux d'humidité élevé. Dans cette optique, la valorisation complète de la matière première, la farine résiduelle issue de l'extraction du lait de *Lupinus luteus* a été considérée comme un ingrédient fonctionnel potentiel dans la formulation du dessert glacé. Ce coproduit, riche en protéines, fibres alimentaires et composés bioactifs, présente un double intérêt : améliorer les propriétés texturales du produit final (stabilité, viscosité) et enrichir sa valeur nutritionnelle. Son incorporation permet également de réduire les pertes de transformation.

II.2.2. Analyse du comportement rhéologique de lait de lupin

Les propriétés d'écoulement par cisaillement du lait de lupin sont représentées dans la **Figure 05**

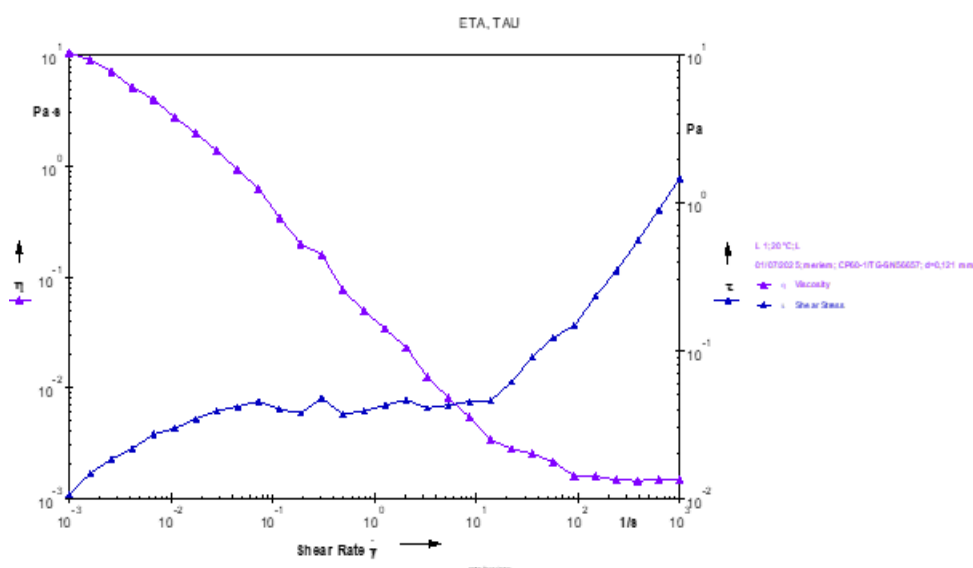


Figure 5: Courbes d'écoulement montrant l'évolution de la viscosité de cisaillement pour le lait à base de lupin.

Les courbes présentées dans la **figure 5** mettent en évidence un comportement rhéofluidifiant du lait de lupin, caractérisé par une diminution progressive de la viscosité apparente (η) avec l'augmentation du taux de cisaillement ($\dot{\gamma}$). Ce comportement pseudoplastique est typique des fluides non newtoniens, souvent observé dans les matrices alimentaires riches en particules en suspension ou en macromolécules (comme les protéines végétales ou les fibres solubles).

Cette diminution de la viscosité s'explique par la désorganisation progressive des structures internes du fluide sous l'effet du cisaillement, favorisant ainsi l'écoulement. Parallèlement, la contrainte de cisaillement (τ) augmente de manière non linéaire avec le taux de cisaillement, ce qui traduit une résistance croissante à la déformation, tout en restant compatible avec une bonne aptitude à l'écoulement.

Ce profil rhéologique est particulièrement avantageux pour les applications industrielles, notamment dans le domaine des produits glacés, où une bonne fluidité sous cisaillement facilite les étapes de pompage, de mélange et d'extrusion, tout en permettant d'atteindre une texture finale plus onctueuse et homogène.

II.2.3. Suivi du pH et d'acidité du lait de lupin

Les résultats de variation de pH et de l'acidité du lait de lupin sont représentés dans la **figure 06** et **figure 07**

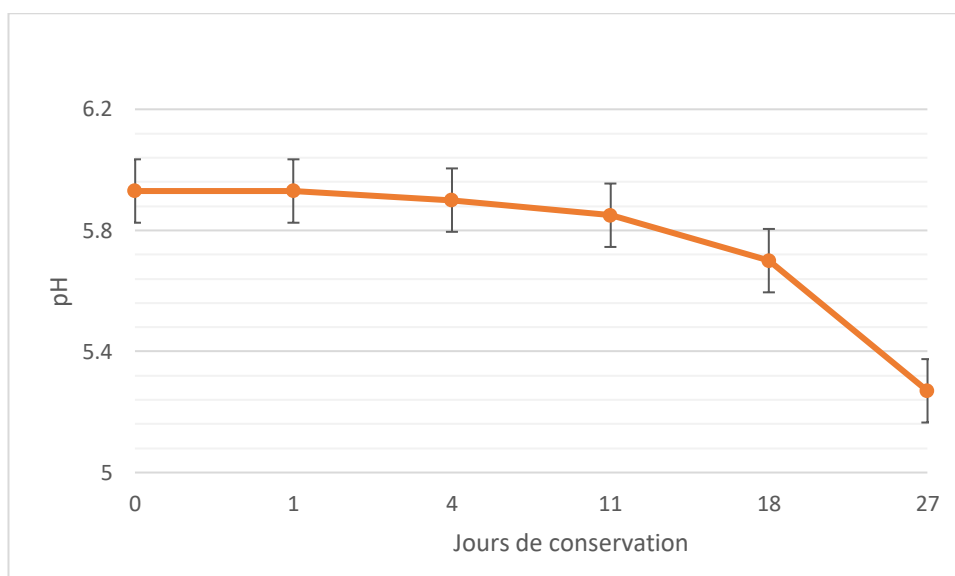


Figure 6: Suivi du pH de lait de lupin au cours de l'entreposage à 4°C.

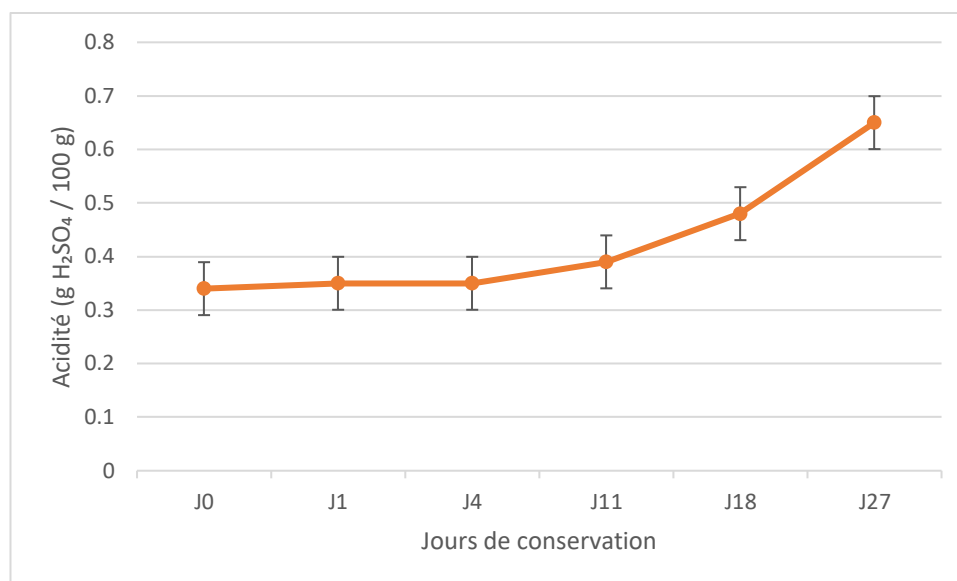


Figure 7: Suivi de l'acidité de lait de lupin au cours de l'entreposage à 4°C

Le pH initial du lait de lupin est de **5,93** à J0. Il reste stable jusqu'à J4, puis diminue progressivement pour atteindre **5,27** à J27. Cette baisse du pH indique une acidification progressive du milieu, probablement liée au développement de micro-organismes acidifiants.

Cette diminution du pH est typique des laits végétaux conservés à basse température, en l'absence de traitement thermique ou de conservateur, et reflète l'activité fermentaire au cours du stockage.

Parallèlement à la diminution du pH, l'acidité titrable augmente progressivement, passant de **0,34 g/100 ml** à J0 à **0,65 g/100 ml** à J27. Cette augmentation est également le signe d'une production accrue d'acides organiques résultant du métabolisme des sucres par la flore microbienne.

L'acidité reste stable entre J0 et J4 (0,34–0,35), ce qui suggère une phase de latence microbienne. À partir de J11, une hausse marquée est observée, traduisant une intensification de l'activité fermentaire. Cette évolution concorde avec la baisse observée du pH, confirmant une dégradation biochimique progressive du lait.

II.2.4. Suivi microbiologique du lait de lupin

L'étude de la qualité microbiologique du lait de lupin a été réalisée afin d'évaluer la stabilité hygiénique du produit au cours de sa conservation. Des analyses ont été effectuées à intervalles réguliers (J0, J4, J11, J18 et J27) durant une période de 27 jours de stockage à 4 °C. Les germes recherchés comprenaient la flore totale aérobie mésophile, les coliformes totaux et

fécaux, les staphylocoques à coagulase positive, les levures et moisissures, ainsi que les pathogènes *Clostridium* spp. et *Salmonella*. Les résultats sont exprimés en unités formant colonies par millilitre (UFC/mL) et présentés dans le **tableau 11**

Tableau 12: résultats du suivi de la qualité microbiologique du lait de lupin durant 27 jours de stockage à 4 °C.

Germes recherchés	Résultat obtenu (UFC/mL)				
	J0	J4	J11	J18	J27
Germes aérobies à 30°C	0	0	0	$2,91 \times 10^2$	$4,4 \times 10^2$
Coliformes totaux	0	0	0	0	$2,81 \times 10^2$
Coliformes fécaux	0	0	0	0	$2,27 \times 10^2$
Staphylocoques à coagulase (+)	0	0	0	0	$2,72 \times 10^1$
Levures et moisissures	0	0	0	$9,01 \times 10^1$	$5,18 \times 10^4$
<i>Clostridium</i> spp.	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.
<i>Salmonella</i>	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.	Abs.

L'évolution de la charge microbienne du lait de lupin a été suivie pendant 27 jours de stockage à 4 °C. Les résultats ont révélé une stabilité hygiénique remarquable au cours des 11 premiers jours, aucune contamination microbienne n'ayant été détectée.

L'absence de ces micro-organismes dans le lait de lupin peut être due à la méthode d'extraction utilisée pour la préparation du lait de lupin, dans laquelle de l'eau propre a été utilisée pour l'extraction, ainsi qu'à la pasteurisation efficace du lait.

À partir du 18 jours, une légère croissance microbienne a été observée, avec le développement de la flore mésophile totale en raison de $2,91 \times 10^2$ UFC/mL, et $9,01 \times 10^1$ UFC/mL de levures et moisissures.

Au J27, une augmentation plus marquée de la charge microbienne a été constatée. Les flores mésophiles ont atteint $4,40 \times 10^2$ UFC/mL, tandis que les coliformes totaux et fécaux ont été détectés respectivement à $2,81 \times 10^2$ et $2,27 \times 10^2$ UFC/mL. La présence de staphylocoques à coagulase positive a également été notée ($2,72 \times 10^1$ UFC/mL). Toutefois, les levures et moisissures ont atteint un niveau préoccupant, s'élevant à $1,5 \times 10^4$ UFC/mL. Ce qui indique un

début d'altération fongique. Des observations similaires ont été faites pour le même produit (Elsamani, M. O. et al., 2014, Al-Anbari, I. H. et al., 2021)

Aucun germe pathogène majeur, tel que *Clostridium* spp. ou *Salmonella*, n'a été détecté durant toute la période d'étude.

II.3. Caractérisation du beurre d'arachide

II.3.1. Caractéristiques physico-chimiques

Dans cette section, nous analysons les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur le lait de lupin obtenu à partir de graines de *Lupinus luteus* préalablement traitées par trempage. L'objectif est de caractériser les propriétés physico-chimiques de cette boisson végétale et d'évaluer son aptitude à être valorisée comme base dans la formulation d'un dessert glacé fonctionnel.

Les résultats sont présentés dans le tableau II.1 et comparés aux données issues de la littérature (Elsamani *et al.*, 2014).

Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques du beurre d'arachide

Paramètre	Résultat obtenu
pH	6,4
Acidité titrable(%)	0,5828 ± 0,013
Humidité (%)	1,59 ± 0,54
Matière sèche (%)	98,41 ± 0,54
Cendres (%)	2,5380 ± 0,03
Protéines g/100g	30,8 ± 0,1
Matières grasses(%)	49,5

Source : élaborée par nous-mêmes

Le pH moyen mesuré est de 6,40, indiquant un milieu légèrement acide à neutre, propice à la stabilité microbiologique et chimique du produit. L'acidité titrable, estimée à 0,583 %, reflète une faible acidité libre, traduisant une bonne fraîcheur et une faible oxydation lipidique. Cette valeur reste bien en deçà de la limite maximale autorisée pour les beurres végétaux, qui est de 1 % d'acides gras libres (Codex) ou ≤ 4 mg KOH/g de lipides (EAS 60:2006), ce qui atteste d'une absence de rancissement.

Le taux d'humidité, évalué à 1,59 %, est inférieur à la limite de 2 % fixée par la norme EAS, ce qui favorise la conservation du produit en limitant la croissance microbienne. La matière sèche, corrélativement élevée (98,41 %), indique une bonne concentration en éléments nutritifs.

La teneur en cendres s'élève à 2,538 %, traduisant une composition minérale normale pour un produit à base d'arachide, sans présence excessive de résidus inorganiques. Cette valeur reste bien inférieure à la limite de 5 % fixée par les standards internationaux.

La teneur en protéines, de 30,80 g/100 g, est particulièrement élevée. Elle dépasse la moyenne généralement observée dans les beurres d'arachide classiques (20 à 30 %, USDA, 2021), ce qui témoigne d'une richesse nutritionnelle notable.

Enfin, le taux de matières grasses, mesuré à 49,51 %, s'inscrit dans la fourchette attendue pour un beurre d'arachide pur (48 à 55 % selon EAS 60:2006). Cette teneur confère au produit une bonne onctuosité, un profil sensoriel équilibré et une valeur énergétique élevée, caractéristiques recherchées dans ce type de produit.

II.3.2. Qualité microbiologique du beurre d'arachide

L'analyse microbiologique du beurre d'arachide a été réalisée sur un échantillon prélevé à J1 afin d'évaluer la conformité hygiénique du produit immédiatement après fabrication. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous et comparés aux limites fixées par la **JORA n° 58/2017** (norme algérienne de sécurité microbiologique des aliments).

Tableau 14 : résultats microbiologiques du beurre d'arachide (J1) et comparaison aux normes

Germes recherchés	Résultat obtenu (J1) (UFC/g)	Limite microbiologique (UFC/g)	
		m	M
Flore totale aérobie mésophile	$9,09 \times 10^1$	10^2	10^3
Escherichia coli	0	4	40
Staphylocoques à coagulase ⁺	0	10	10^2
Levures et moisissures	0	10	10^2
Salmonella	Absents	Absence dans 25g	

D'après nos résultats, la qualité microbiologique du beurre d'arachide est satisfaisante, en conformité avec les exigences réglementaires fixées par la norme algérienne (**JORA n° 58/2017**).

II.4. Caractérisation des formules (Mix)

II.4.1. Caractérisation physico-chimique

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'analyse physico-chimique de huit mélanges expérimentaux formulés à base de lait de lupin, de beurre d'arachide, de sucre de dattes et de résidu sec de lupin, en tant qu'alternatives végétales à la formulation classique de desserts glacés. Ces mélanges ont été conçus selon différentes proportions d'ingrédients afin d'évaluer l'impact de chaque variation sur les propriétés technologiques et nutritionnelles du produit final. Les résultats d'analyse sont représentés dans le **tableau 14**

Tableau 15:Résultats des analyses physico-chimiques des huit formules de dessert glacé végétal et de la formule témoin

Formule	pH	Acidité (%AL)	Masse volumique (g/mL)	EST (%)	Cendres (%)	MG (%)	Protéines (%)	Sucre (%)
F1	6,24	0,10	1,06	36,54	0,94	13,13	20,69	6,2
F2	6,06	0,05	1,03	21,92	0,48	10,39	9,69	4,99
F3	5,85	0,13	1,06	26,15	0,55	9,70	19,84	7,12
F4	6,09	0,07	1,04	26,45	0,50	11,03	11,79	5,99
F5	6,03	0,10	1,04	22,91	0,39	10,99	11,49	2,47
F6	5,95	0,15	1,05	18,90	0,36	9,66	12,00	2,3
F7	6,10	0,05	1,01	27,47	0,53	12,37	9,85	4,85
F8	6,02	0,10	1,04	19,03	0,39	9,42	10,75	5,02
Témoin	6,35	0,54	1,10	32,40	0,84	3,06	6,20	7,97

II.4.1.1. pH et acidité titrable

Le pH des formules végétales se situe entre 5,85 (F3) et 6,24 (F1), avec une moyenne de $6,04 \pm 0,12$, traduisant une légère acidité du milieu, la formule témoin, à base de produits laitiers, présente un pH plus élevé (6,35). Cette acidité modérée pourrait être attribuée à certains composés issus des matières premières (notamment le sucre de dattes, ou des acides faibles naturellement présents dans le lait de lupin ou le résidu). L'acidité titrable reste globalement faible, comprise entre 0,05 % et 0,15 %, avec une valeur maximale enregistrée pour la formule F6, qui contient 20 % de résidu sec de lupin. Ces faibles taux d'acidité indiquent une bonne stabilité biochimique du mix, tout en évitant un excès d'acidité qui pourrait affecter le goût.

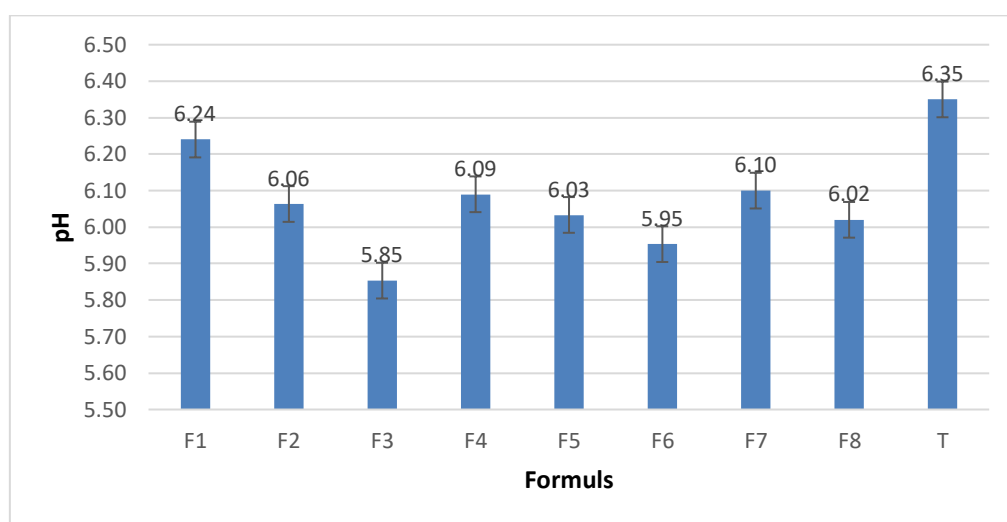


Figure 8 : pH des différentes formules de dessert glacé (F1 à F8) comparées au témoin

II.4.1.2. Masse volumique

La masse volumique des différentes formules se situe entre 1,01 g/mL (F7) et 1,06 g/mL (F1 et F3), avec des valeurs légèrement inférieures à celle du témoin laitier (1,10 g/mL). Ces variations reflètent les différences de composition en matières sèches, notamment la proportion de résidu sec de lupin, de poudre de datte et de matières grasses. Les formules F1, F3 et F4 présentent une densité relativement élevée ($>1,04$), suggérant une richesse en solides dissous, ce qui est favorable à une texture crémeuse et stable. Les formules F1 et F3, qui affichent les densités les plus élevées, sont également celles qui présentent les plus fortes teneurs en extrait sec total (respectivement 36,54 % et 31,66 %), suggérant une corrélation directe entre la masse volumique et la concentration en matières dissoutes et en solides.

La densité du mix est un paramètre important, car elle influence le foisonnement, la texture finale et la sensation en bouche du dessert glacé. Une densité plus élevée peut traduire une richesse en constituants nutritionnels, mais également une viscosité accrue du mix, ce qui peut impacter la capacité d'incorporation d'air pendant la congélation. À l'inverse, une masse volumique plus faible, comme observée pour F7 (1,01), pourrait indiquer une formulation plus légère ou une faible teneur en extraits secs.

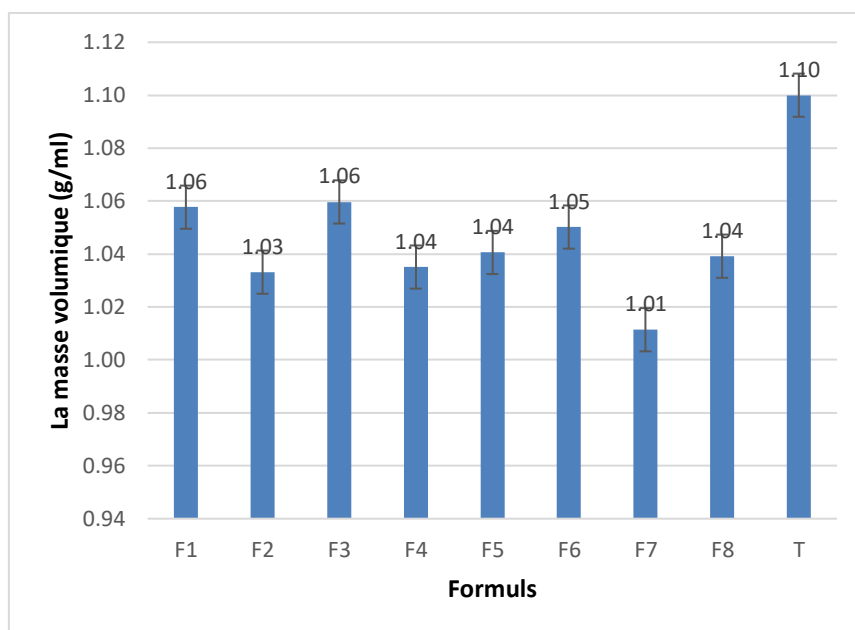


Figure 9 : masse volumique (g/mL) des différentes formules de dessert glacé et témoin

II.4.1.3. Extrait sec total (EST)

Les teneurs en extrait sec total (EST) varient fortement d'une formule à l'autre, allant de 18,90 % (F6) à 36,54 % (F1). Le témoin présente une valeur de 32,40 %, conforme aux formulations classiques de glaces lactées.

L'extrait sec total regroupe l'ensemble des (protéines, lipides, glucides, minéraux), jouant un rôle crucial dans la texture, la stabilité au foisonnement et la valeur nutritionnelle. Une valeur élevée, comme dans F1 ou F3 (>31 %), est généralement associée à une meilleure consistance en bouche, à une fonte plus lente et à une stabilité structurale accrue.

Les formules F6 et F8, avec des EST plus faibles (<20 %), sont plus susceptibles d'avoir une texture plus aqueuse et une stabilité réduite.

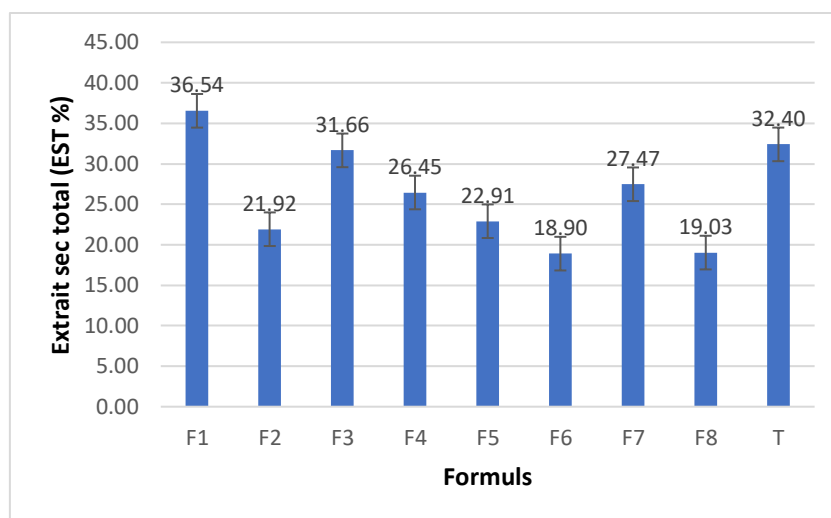


Figure 10: Teneurs en extrait sec total (EST %) des formules expérimentales et du témoin

II.4.1.4. Teneur en cendres

La teneur en cendres, reflet de la fraction minérale totale, est plus élevée dans les formules F1 (0,94 %) et F3 (0,55 %), et plus faible dans F5, F6 et F8 (<0,40 %). Le témoin présente une valeur de 0,84 %, typique des produits enrichis en minéraux d'origine laitière.

Des cendres élevées suggèrent une bonne rétention des éléments minéraux issus du lupin ou du beurre d'arachide (potassium, phosphore, magnésium). Les formules les plus riches en minéraux peuvent présenter un meilleur intérêt nutritionnel dans une optique de dessert fonctionnel.

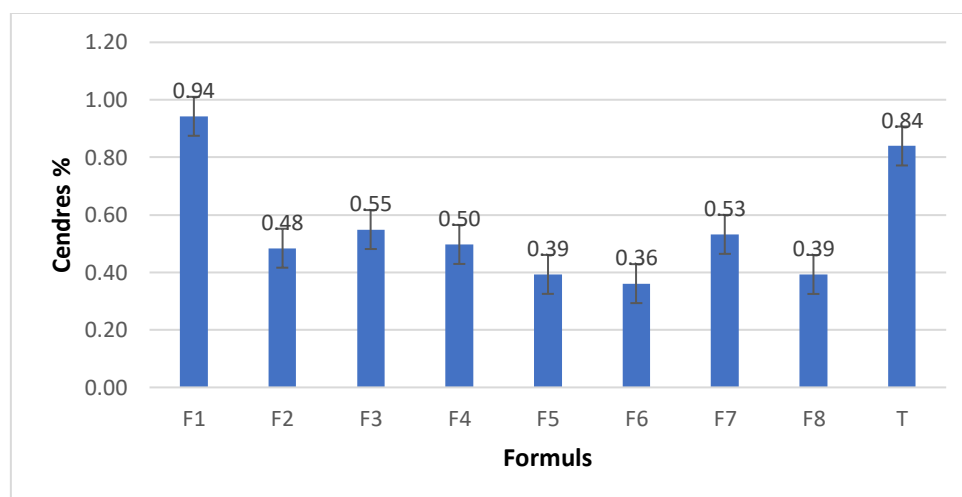


Figure 11 : Teneurs en cendres (%) dans les huit formules végétales de dessert glacé et le témoin

II.4.1.5. Matières grasses (MG)

Les teneurs en matières grasses varient de 9,42 % (F8) à 13,13 % (F1). Ces niveaux sont largement supérieurs à celui du témoin (3,06 %), soulignant la richesse lipidique des ingrédients végétaux utilisés (beurre d'arachide principalement).

Les lipides jouent un rôle central dans la texture, la sensation en bouche (onctuosité), et la valeur énergétique du dessert. F1, F4 et F7 se distinguent par des taux élevés (>11 %), ce qui peut favoriser une texture crémeuse, une bonne stabilité au foisonnement et une fonte lente.

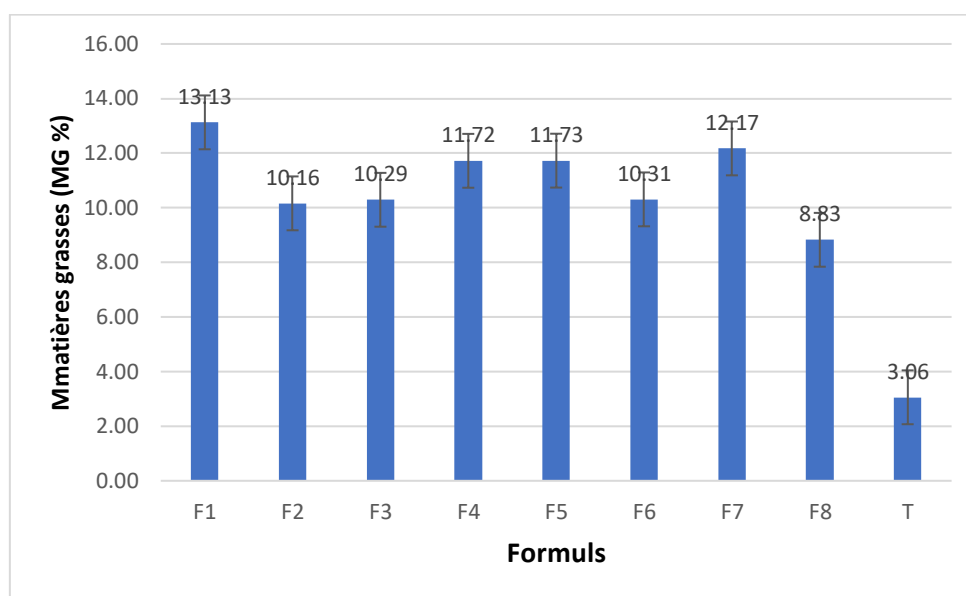


Figure 12 : Teneurs en matières grasses (MG %) des formules à base de lait de lupin et du témoin

II.4.1.6. Protéines

La teneur en protéines varie fortement : de 9,69 % (F2) à 20,69 % (F1). Cette richesse protéique est un point fort des formules végétales, particulièrement dans F1, F3, et F6 (>11 %), en lien avec la forte contribution du résidu sec de lupin et beurre de cacahuète qui reste une source secondaire de protéines. À l'inverse, F2 et F7, présentent des teneurs plus faibles en protéines du fait de la faible proportion de résidu sec (5 %).

La formule témoin, à base de produits laitiers, affiche une teneur nettement inférieure (6,20 %), ce qui confirme l'intérêt nutritionnel des matrices végétales utilisées.

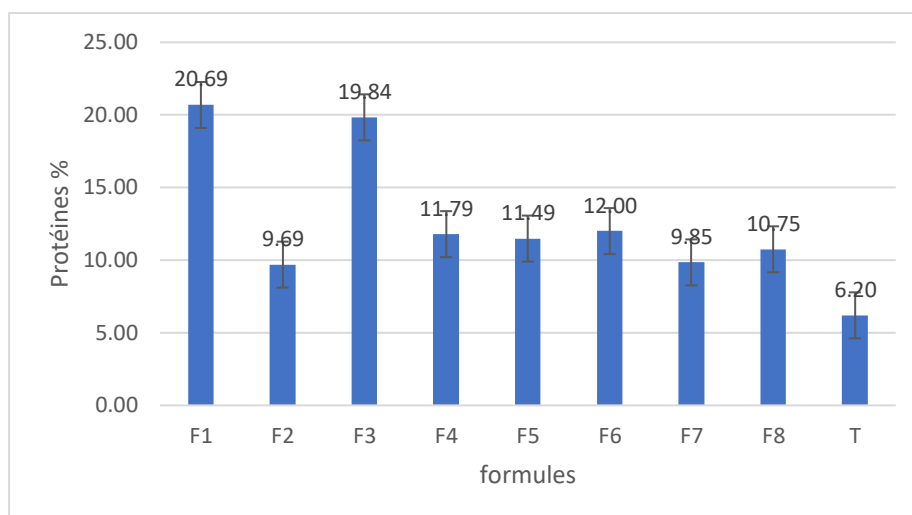


Figure 13: Teneurs en protéines (%) des formules à base de lait de lupin et du témoin

II.4.1.7. Carbohydrates

Les teneurs en sucres dans les formules végétales varient entre 2,30 % (F6) et 7,12 % (F3), tandis que la formule témoin présente une teneur bien plus élevée, atteignant 7,97 %. Cette différence significative s'explique par l'absence de sucre raffiné dans nos formulations végétales, remplacé par la poudre de datte, un ingrédient naturellement sucrant mais moins concentré en glucides simples.

Les formulations F3 et F1 affichent les niveaux les plus élevés de glucides (7,12 % et 6,20 % respectivement), ce qui peut être attribué à leur teneur plus importante en poudre de datte ainsi qu'à une quantité modérée de résidus de lupin, riches en fibres et en sucres complexes. À l'inverse, les formules F5 et F6 montrent des taux faibles, en raison de teneurs réduites en poudre de datte et de leur composition globale moins riche en ingrédients sucrés.

La comparaison avec le témoin révèle l'efficacité de la stratégie de formulation dans la réduction des glucides, contribuant ainsi à la création d'un dessert à plus faible charge glycémique, répondant aux attentes des consommateurs soucieux de leur santé métabolique ou du contrôle de leur apport en sucres.

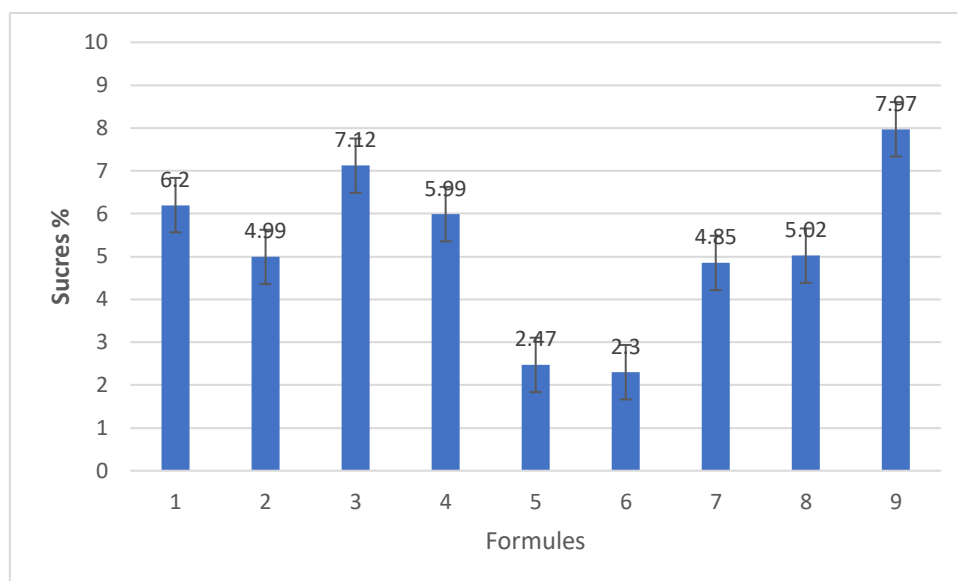


Figure 14: Teneurs en sucre (%) des formules à base de lait de lupin et du témoin

II.4.2. Incorporation d'air dans les différentes formules de crème glacée

Le tableau suivant présente les valeurs calculées du pourcentage d'overrun

Tableau 16: les valeurs calculées du pourcentage d'overrun

Formules	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	T
Overrun (%)	35,23	17,91	27,94	23,24	21,69	30,27	27,79	33,50	25,60

Les résultats montrent que toutes les formules présentent un taux d'incorporation d'air significatif, allant de **17,91 %** (FL2) à **35,23 %** (FL1). Ces valeurs sont conformes aux attentes pour des glaces artisanales ou semi-industrielles, où un overrun modéré est recherché pour garantir une texture agréable sans excès d'air.

Les formules F1, F6 et F8 se démarquent avec les meilleurs taux de foisonnement, traduisant une bonne aptitude à retenir l'air incorporé lors du battage.

F2 présente la valeur la plus faible, ce qui peut indiquer une viscosité plus élevée ou une mauvaise stabilisation, limitant l'incorporation d'air.

Un overrun trop faible peut donner une glace dense et collante, tandis qu'un overrun trop élevé produit une texture trop légère, peu satisfaisante en bouche. Les valeurs obtenues ici restent dans une plage acceptable (<40 %), suggérant un bon équilibre technologique.

II.4.3. Caractérisation de la qualité organoleptique

Les résultats de l'analyse sensorielle des desserts glacés élaborés, en comparaison avec le témoin, ont été évalués selon sept descripteurs : aspect, couleur, odeur, texture, consistance, arôme et goût, à l'aide d'une échelle hédonique à 9 points. Cette évaluation a permis d'apprécier les préférences des dégustateurs vis-à-vis des différentes formules et d'identifier celles présentant les meilleures caractéristiques organoleptiques.

II.4.3.1. Aspects

La figure 13 représente les résultats d'aspect des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

D'après les résultats de la figure 20, les échantillons a et i présentent un aspect homogène et crémeux, ce qui pourrait être dû à une bonne stabilité de l'émulsion et à une formulation équilibrée en matière grasse végétale. À l'inverse, les échantillons c, d, e, f et g sont perçus comme hétérogènes, à surface non uniforme et rugueuse, traduisant une moindre cohésion de la matrice. Cela pourrait s'expliquer par l'absence ou l'insuffisance d'agent texturant ou par une mauvaise répartition des phases. L'échantillon i (témoin) se distingue également par une surface lisse et uniforme, contrairement aux autres formules.

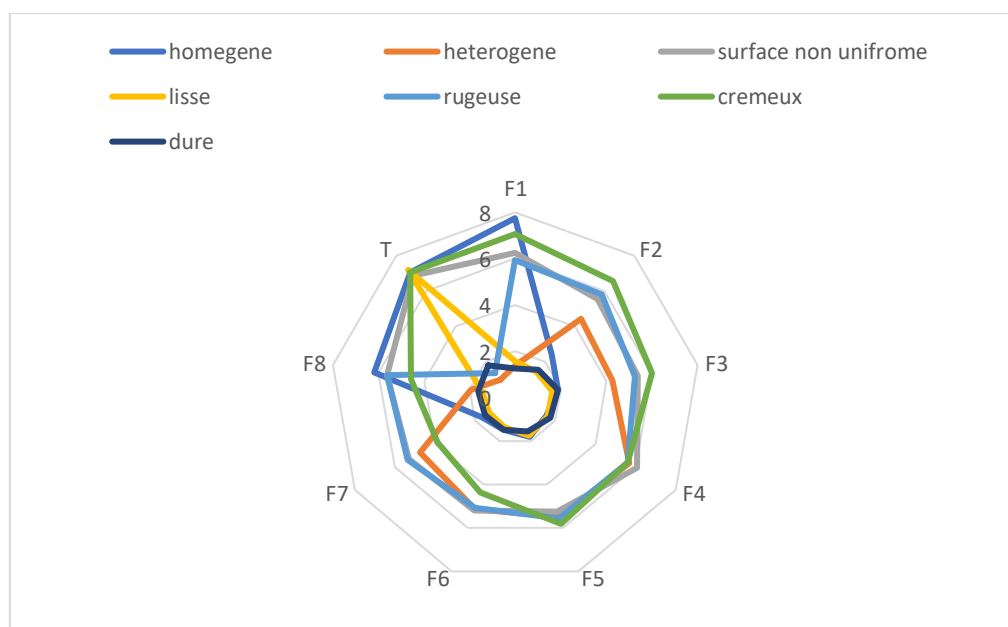


Figure 15: Degré d'acceptabilité d'aspect des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.

II.4.3.2. Couleur

La figure 14 représente les résultats de la couleur des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

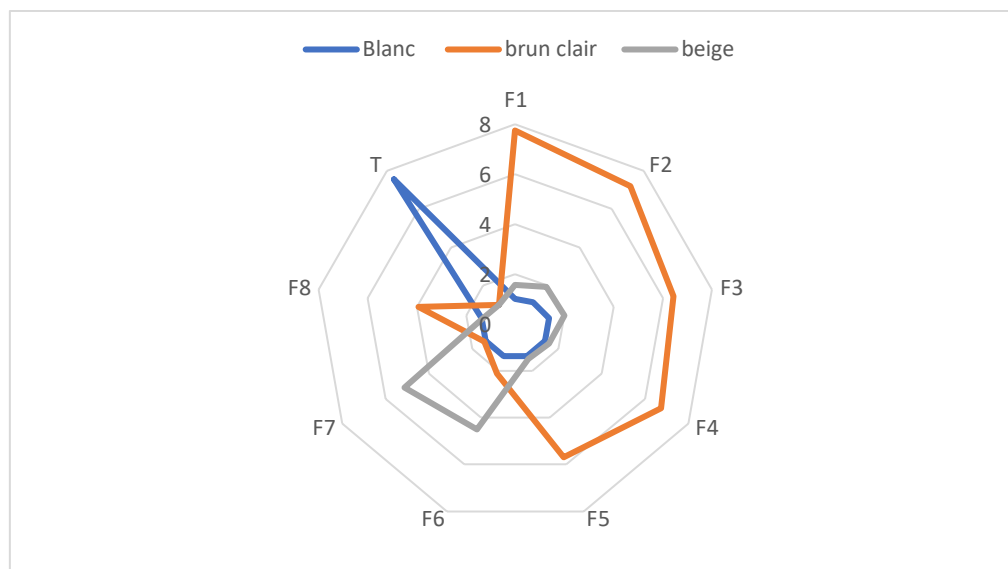


Figure 16 :Degré d'acceptabilité de la couleur des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.

Selon les résultats de la figure, les échantillons a, b, c, d et e présentent majoritairement une couleur brun clair, ce qui peut être lié à la nature des ingrédients utilisés. L'échantillon i (témoin) se distingue nettement avec une couleur blanche, indiquant probablement l'absence de colorants naturels ou de matières premières foncées. Les formules f et g, quant à elles, sont perçues comme beige, traduisant une teinte intermédiaire due à une possible association d'ingrédients végétaux colorés.

II.4.3.3. Odeur

La figure 15 représente les résultats de l'odeur des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

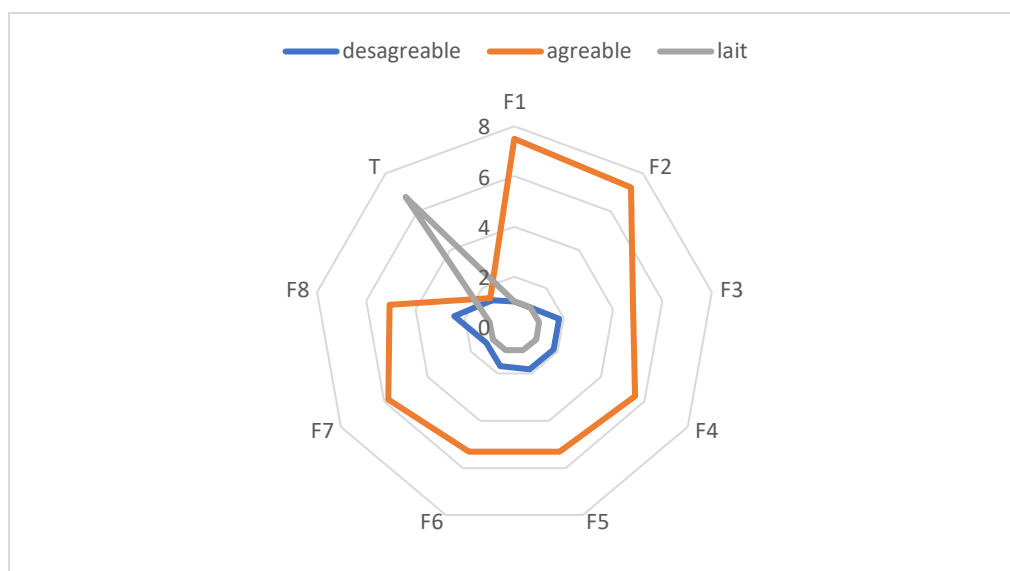


Figure 17 :Degré d'acceptabilité de l'odeur des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.

D'après les résultats de la figure, les échantillons a et b présentent une odeur agréable, tout en étant faiblement marqués par des odeurs désagréables, ce qui reflète une bonne acceptabilité sensorielle. En revanche, l'échantillon i (témoin) se distingue par une odeur caractéristique du lait et est jugé moins agréable, ce qui pourrait être lié à l'absence d'arômes ajoutés. Les échantillons c à h présentent des odeurs modérément agréables, mais avec une légère présence de notes désagréables, possiblement liées à certains ingrédients végétaux ou à des interactions entre composés volatils.

II.4.3.4. Texture

La figure 16 représente les résultats de la texture des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

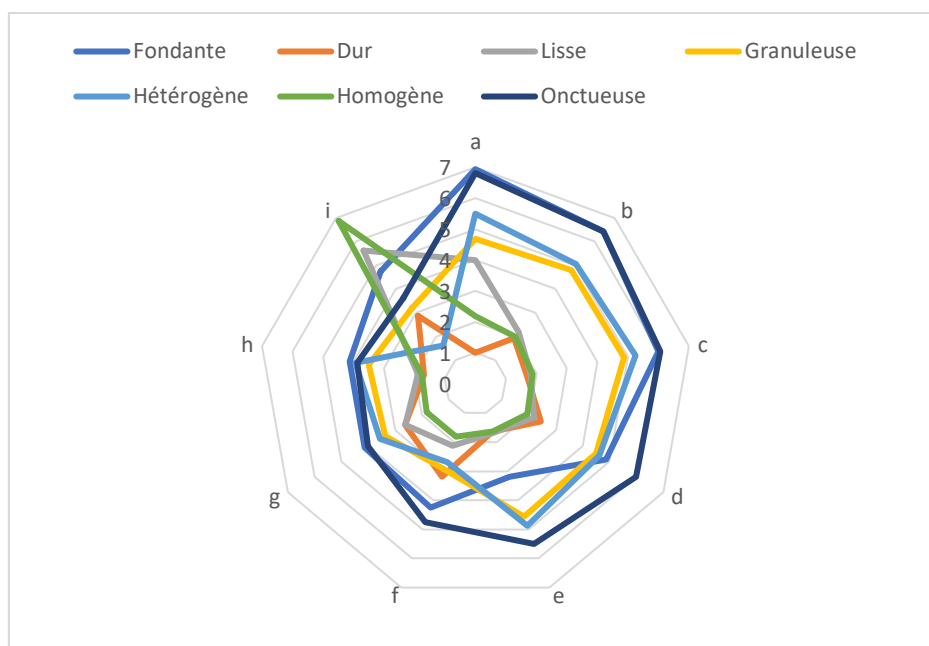


Figure 18: Degré d'acceptabilité de la texture des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.

D'après les résultats de la figure, les échantillons a, b et c se distinguent par une texture fondante et onctueuse, traduisant une bonne incorporation des matières grasses végétales et un bon équilibre formulationnel. À l'opposé, l'échantillon i (témoin) présente une texture plus homogène et lisse, mais moins fondante, ce qui peut être dû à l'absence d'ingrédients texturants végétaux. Les échantillons d à g présentent des textures granuleuses et hétérogènes, avec une faible onctuosité, ce qui peut refléter un défaut de dispersion des phases ou une cristallisation partielle des ingrédients.

II.4.3.5. Consistances

La figure 17 représente les résultats de la consistance des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

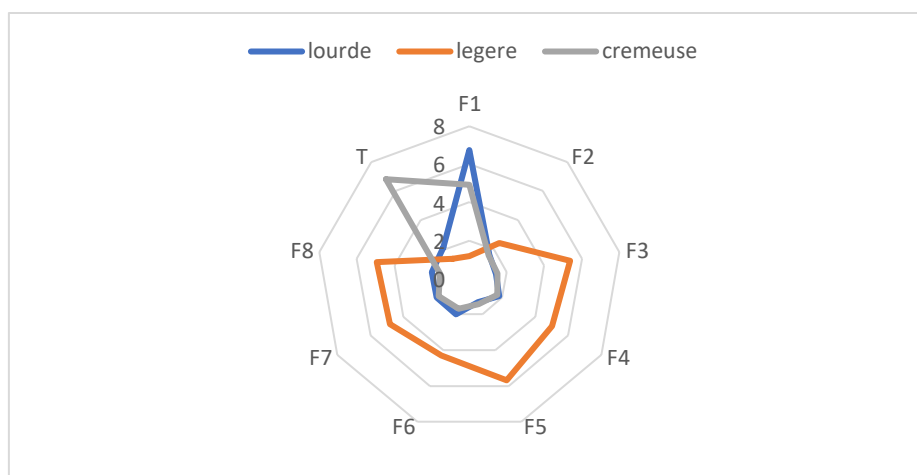


Figure 19: Degré d'acceptabilité de la consistance des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin

Selon les résultats obtenus, l'échantillon a se caractérise par une consistance lourde et crémeuse, ce qui peut s'expliquer par une forte densité en matières sèches ou en lipides végétaux. En revanche, les échantillons c à h présentent une consistance plutôt légère, suggérant une texture plus aérée, possiblement due à une incorporation d'air ou à une faible teneur en matières grasses. L'échantillon i (témoin) montre une consistance fortement crémeuse, traduisant une formulation plus riche en phase grasse ou en stabilisants.

II.4.3.6. Aromes

La figure 18 représente les résultats de l'arôme des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

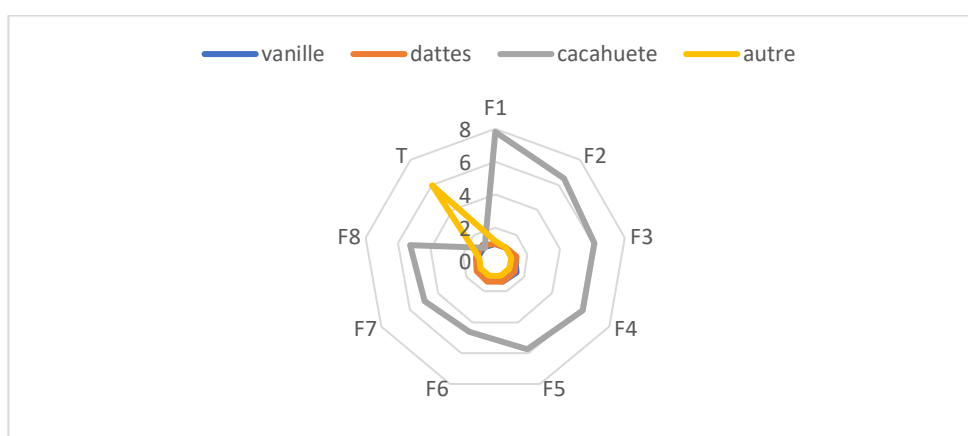


Figure 20: Degré d'acceptabilité de l'arôme des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin

Les résultats obtenus montrent que les échantillons a à h sont principalement marqués par un arôme de cacahuète, avec des intensités élevées, notamment pour l'échantillon a, ce qui reflète bien la dominance de cet ingrédient dans la formulation. En revanche, l'échantillon i (témoin) se distingue par un arôme différent (autre), probablement lié à l'absence de parfum spécifique ou à la présence d'un arôme lacté naturel. Les arômes de vanille et dattes sont faiblement perçus dans tous les échantillons, indiquant qu'ils ne sont pas dominants dans la perception sensorielle du produit.

II.4.3.7. Gout

La figure 19 représente les résultats du goût des desserts glacés élaborés (a, b, c, d, e, f, g, h et i) à -18°C.

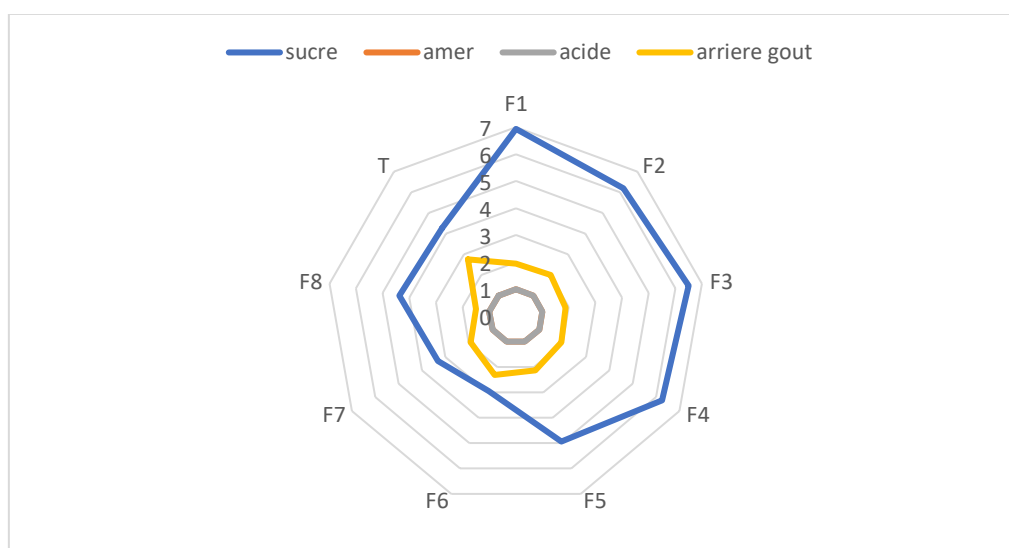


Figure 21 : Degré d'acceptabilité du goût des différents mix de desserts glacés élaborés en comparaison avec le témoin.

Selon les résultats de la figure, les échantillons a, b, c et d présentent un goût sucré bien perçu, ce qui reflète un bon équilibre sucrant apprécié par les dégustateurs. À l'inverse, les échantillons f, g et h sont jugés moins sucrés, ce qui pourrait affecter leur acceptabilité. Aucun échantillon ne présente de goût amer ni acide, ce qui est un bon indicateur de qualité. L'arrière-goût est globalement faible dans tous les échantillons, sauf pour le témoin i, où il est légèrement plus prononcé, probablement en raison de l'absence d'arômes ou d'ingrédients masquant.

II.4.4. L'analyse en composantes principales (ACP) des analyses physicochimiques

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour explorer la structure des relations entre différents échantillons (F1 à F8 et Témoin) en fonction de plusieurs variables analytiques : pH, acidité (% AL), sucre (g/L), densité volumique (g/mL), matières sèches totales (EST), cendres (%), protéines (%), matière grasse (MG).

II.4.4.1. Analyse des composantes principales

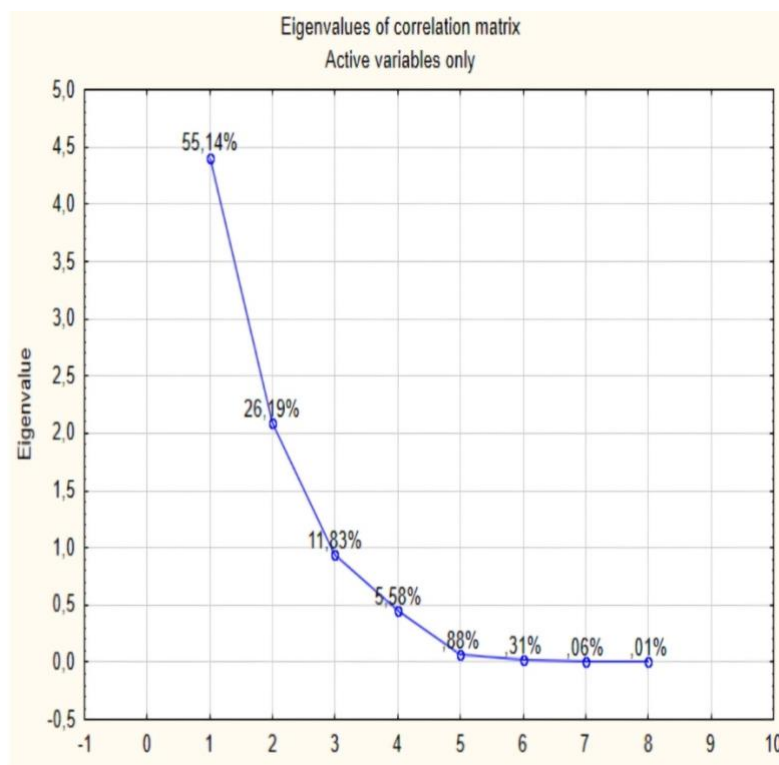


Figure 22: Scree plot des valeurs propres issues de l'analyse en composantes principales (ACP)

La figure représente un *scree plot* issu d'une analyse en composantes principales (ACP), illustrant la distribution des valeurs propres associées aux variables actives. Les résultats révèlent que :

- La première composante principale explique **55,14 %** de la variance totale,
- La deuxième composante principale en explique **26,19 %**,
- La troisième composante principale contribue à hauteur de **11,83 %**.

Ainsi, les trois premières composantes cumulent **93,16 %** de la variance totale, ce qui témoigne d'une forte capacité de réduction dimensionnelle sans perte significative d'information. Cela suggère que les variables analysées présentent des corrélations élevées, permettant une représentation fiable dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel.

Plus spécifiquement, les deux premiers axes expliquent ensemble **81,33 %** de la variance, ce qui garantit une représentativité suffisante pour une interprétation graphique claire et pertinente des données. Ce niveau de variance cumulée élevé facilite l'analyse factorielle, tout en maintenant l'essentiel de l'information contenue dans les variables initiales.

II.4.4.2. Cercle des corrélations

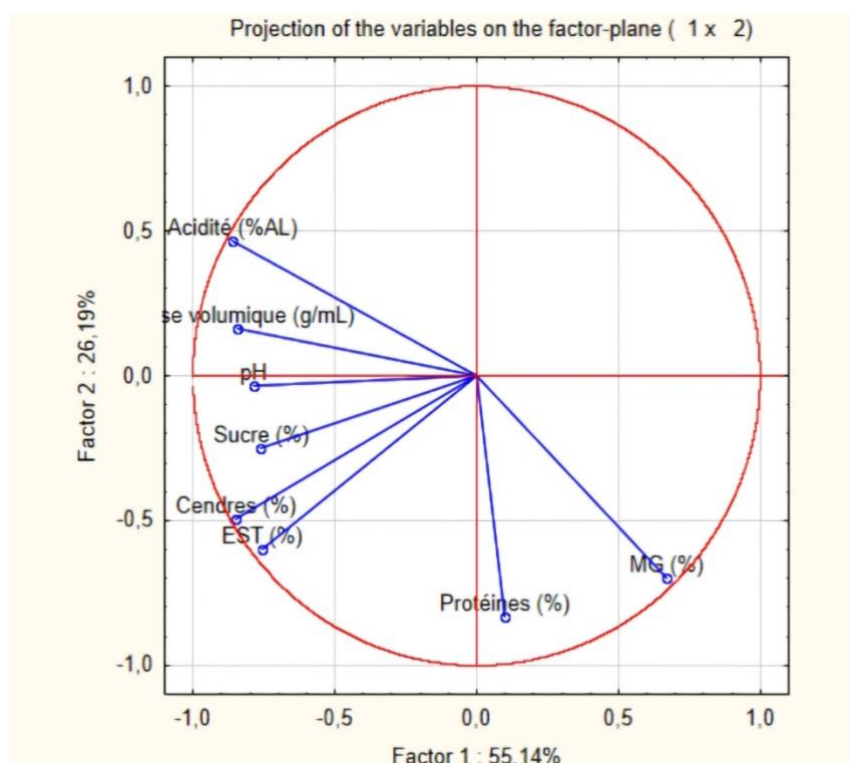


Figure 23: Cercle des corrélations des variables physico-chimiques projetées sur le plan F1 × F2

Le cercle des corrélations met en évidence la relation entre les variables physico-chimiques étudiées et leur contribution aux deux premières composantes principales issues de l'ACP.

- Le taux de matière grasse (MG) et les protéines (%) sont fortement corrélés positivement avec Factor 1, suggérant que cet axe représente un gradient nutritionnel en macronutriments structurants (lipides et protéines).
- Les variables extraits sec total (EST), sucres (%) et cendres (%) sont également fortement corrélées avec Factor 1, ce qui signifie qu'elles évoluent ensemble et contribuent fortement à cet axe. Cela confirme que Factor 1 exprime principalement la richesse nutritionnelle des formulations, notamment en macronutriments et en minéraux.
- L'acidité titrable (% AL), le pH, et la masse volumique (g/mL) sont faiblement corrélés avec F1 mais légèrement avec Factor 2. Ces trois variables sont bien représentées sur le plan factoriel, ce qui montre leur rôle discriminant dans l'analyse. Elles traduisent des propriétés liées à la fermentation, à la densité et à la stabilité physique des produits.

Les deux premières composantes (Factor 1 et Factor 2) expliquent ensemble 81,33 % de l'information totale, permettant ainsi une visualisation fiable de la majorité des variations observées entre les formules. La troisième composante (Factor 3), qui contribue à hauteur de 11,83 %, peut s'avérer utile dans une analyse secondaire ou pour expliquer des variations plus subtiles.

II.4.4.3. Projection des cas sur le plan factoriel

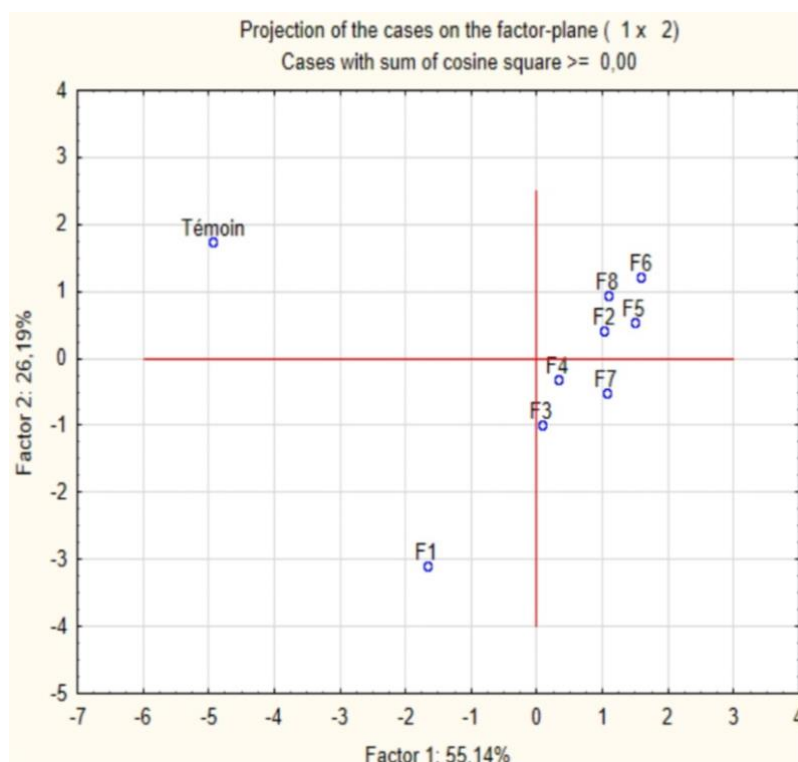


Figure 24: Projection des formules sur le plan factoriel F1 × F2 issu de l'ACP

Les résultats montrent que :

- Les formules F2, F5, F6 et F8 présentent des valeurs fortement positives sur Factor 1, traduisant des teneurs faibles en nutriments solides (protéines, matières grasses, extrait sec, cendres et sucres). Leur position sur Factor 2 suggère également une acidité plus élevée, correspondant à un profil peu nutritif mais acide.
- La formule F1 présente une valeur fortement négative sur Factor 1, ce qui traduit une formule particulièrement riche en solides (protéines, matières grasses, extrait sec, sucres et cendres) et faible en acidité. Elle se distingue nettement des autres formulations par son profil nutritionnel dominant.
- Les formules F3, F4 et F7 sont bien représentées sur Factor 1 avec des valeurs positives, suggérant qu'elles sont modérément riches en protéines et en matières grasses.
- Le témoin est proche de l'axe Factor 2, ce qui pourrait signifier qu'il se caractérise par une acidité plus élevée, un pH plus élevée et une masse volumique importante. Cela suggère une formulation modérément fermentée, différente des autres.

II.4.4.4. Analyse par classification hiérarchique (CHA)

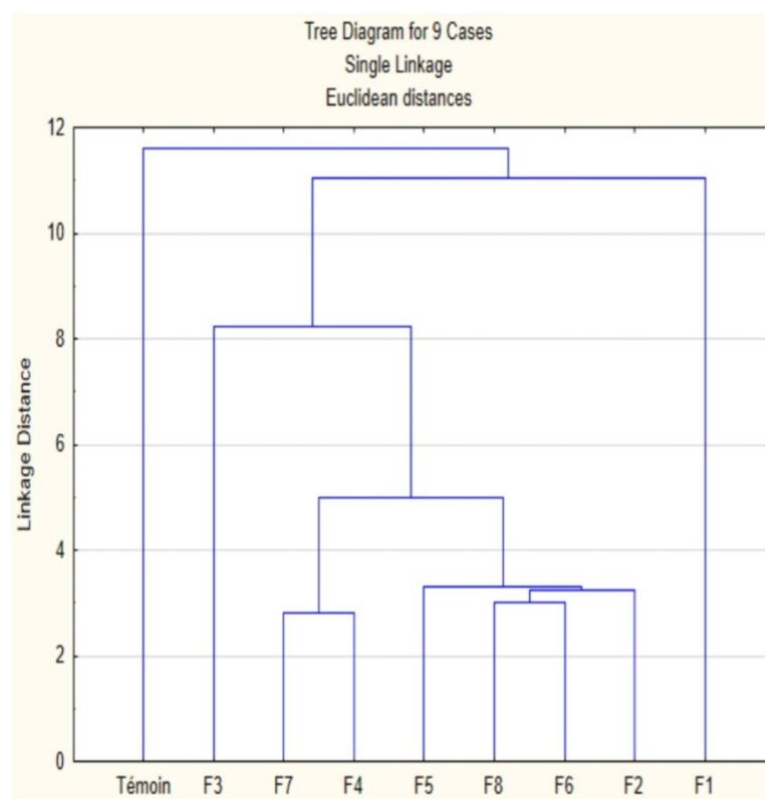


Figure 25: Classification hiérarchique ascendante (CHA) des formules basée sur leurs paramètres physico-chimiques

La figure ci-dessous représente un dendrogramme obtenu par classification hiérarchique ascendante (CHA), utilisant la méthode du lien simple (single linkage) et la distance euclidienne pour mesurer la similarité entre les neuf échantillons étudiés (Témoin + F1 à F8).

Les résultats montrent que :

Les échantillons F2, F6 et F8 forment un sous-groupe très homogène, fusionné à une distance très faible, indiquant des profils physico-chimiques très similaires, probablement caractérisés par une acidité élevée et une faible concentration en nutriments, comme l'a montré également l'ACP.

Ces derniers se regroupent ensuite avec F5, qui présente un profil proche, formant ainsi un groupe cohérent de formulations diluées et acides.

Un deuxième groupe est formé par F3, F4 et F7, à une distance intermédiaire. Ce regroupement suggère des formules modérées, ni trop concentrées ni trop diluées, avec des valeurs moyennes en nutriments et acidité.

Le Témoin est relié aux autres à une distance élevée, ce qui confirme son profil distinct, probablement modérément fermenté et équilibré.

Enfin, la formulation F1 apparaît très éloignée des autres groupes, fusionnant à une grande distance (supérieure à 10), ce qui témoigne d'un profil unique, riche en extraits secs, protéines, matières grasses et pauvre en acidité, comme l'a confirmé l'analyse factorielle.

CONCLUSION

CONCLUSION

Ce travail a porté sur l'exploitation du lupin jaune (*Lupinus luteus*) dans l'élaboration d'un dessert glacé 100 % végétal, à la fois fonctionnel, nutritionnellement équilibré et exempt d'ingrédients d'origine animale. L'objectif principal visait à démontrer la faisabilité technologique et la pertinence nutritionnelle de cette légumineuse peu exploitée dans des matrices glacées innovantes.

Les résultats expérimentaux ont montré que le trempage prolongé (72 h) des graines de lupin jaune permet une élimination totale des alcaloïdes responsables du goût amer du lupin, tout en maintenant sa qualité nutritionnelle, notamment leur teneur élevée en protéines ($52,40\%MS \pm 0,27$).

L'extraction du lait végétal à partir de ces graines a abouti à un liquide de composition stable, à faible densité énergétique (13,37 kcal/100 mL), pauvre en sucres (0,06%), mais riche en composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes) (15,08 mg GAE/g MS, 0,62 mg EQ/g, respectivement), et ce qui encourage l'utilisation du lupin comme ingrédient de choix dans l'alimentation fonctionnelle.

Sur le plan rhéologique, le lait de lupin a révélé un comportement pseudoplastique, ce qui constitue un atout pour la transformation industrielle, garantissant à la fois stabilité technologique et qualité sensorielle. Par ailleurs, le lait de lupin a une stabilité hygiénique satisfaisante jusqu'au 11^e jour de conservation à 4°C, avec une absence totale de tous les germes pathogènes recherchés (*Salmonella*, *Clostridium*) durant les 28 jours de suivi.

La mise au point de différentes formulations de dessert glacé a permis d'optimiser l'équilibre entre texture, stabilité, et propriétés nutritionnelles. Les mélanges élaborés présentent des caractéristiques nutritionnelles équilibrées, avec des teneurs intéressantes en protéines (jusqu'à 20,69 %) et en matières grasses (jusqu'à 13,13 %). La formule F1 s'est particulièrement distinguée par son profil nutritionnel élevé, associé à un extrait sec total important (36,54 %) et une bonne densité (1,06 g/mL).

Sur le plan physico-chimique, ce lait présente un pH de 5,94, une acidité titrable de 0,343 % et une densité relativement faible (1,0024 g/mL), en lien avec une faible teneur en matières sèches. Sa valeur énergétique modérée (13,37 kcal/100 g) est compensée par une teneur intéressante en composés bioactifs tels que les polyphénols (15,08 mg GAE/g MS) et les flavonoïdes (0,62 mg EQ/g), conférant au lait un potentiel fonctionnel notable.

Sur le plan sensoriel, l'analyse menée auprès de 16 dégustateurs a révélé une acceptabilité globale positive, avec une nette préférence pour la formule F1. Cette dernière a été jugée plus agréable en bouche, avec une texture fondante, un goût équilibré et un arôme plaisant.

Ce travail met en évidence le potentiel du lupin jaune dans la formulation de produits alimentaires innovants, répondant aux exigences actuelles en matière d'alimentation durable, sans allergènes majeurs ni ingrédients ultra-transformés. Toutefois, certaines limites peuvent être soulignées, notamment l'absence d'analyses approfondies sur la stabilité lipidique à long terme, ou la texture en conditions de congélation prolongée.

Ce mémoire ouvre la voie à de nouvelles pistes de recherche, notamment l'optimisation des formulations, l'intégration d'ingrédients fonctionnels complémentaires (antioxydants, fibres), ainsi qu'une étude approfondie de la conservation, de la stabilité sensorielle et microbiologique du produit final en conditions réelles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIES

BIBLIOGRAPHIE

Abraham, E. M., Ganopoulos, I., Madesis, P., Mavromatis, A., Mylona, P., Nianiou-Obeidat, I., Parissi, Z., Polidoros, A., Tani, E., & Vlachostergios, D. (2019). The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 851.

<https://doi.org/10.3390/ijms20040851>

auJardin.info. *Lupinus luteus, le lupin jaune ou lupin soufré.* Consulté le 5 juillet 2025, à l'adresse <https://www.aujardin.info/plantes/lupinus-luteus.php>

Bedford, E. (2022). *Global ice cream market size 2013–2024.* Statista.

<https://www.statista.com/statistics/326315/global-ice-cream-market-size/>

Bigliardi, B., & Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2), 118–129.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>

Boutonnier, J. L. (2001). Crèmes glacées, glaces et sorbets : formulation et fabrication. *Techniques de l'ingénieur*, F 6 370, 10 p.

Boutonnier, J. L. (2018). Crèmes glacées, glaces et sorbets : aspects physico-chimiques. *Techniques de l'ingénieur*.

Brink, M., & Belay, G. (Eds.). (2006). *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1 – Céréales et légumes secs.* PROTA / Backhuys Publishers / CTA.

Carrera, C. S., Reynoso, C. M., Funes, G. J., Martínez, M. J., Dardanelli, J., & Resnik, S. L. (2011). Amino acid composition of soybean seeds as affected by climatic variables. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(12), 1579–1587. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200001>

Chandan, R. C., Kilara, A., & Shah, N. P. (2008). *Dairy processing and quality assurance.* Blackwell Publishing.

Chiofalo, B., Lo Presti, V., Chiofalo, V., & Gresta, F. (2012). The productive traits, fatty acid profile and nutritional indices of three lupin (*Lupinus spp.*) species cultivated in a Mediterranean environment for the livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 171, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.005>

Chiofalo, B., Lo Presti, V., Chiofalo, V., & Gresta, F. (2012). The productive traits, fatty acid profile and nutritional indices of three lupin (*Lupinus spp.*) species cultivated in a Mediterranean environment for livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 171, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.005>

Clarke, C. (2004). *The Science of Ice Cream*. Royal Society of Chemistry. p. 208.

De Cortes Sánchez, M., Gómez, A. R., & Dávila-Ortiz, G. (2005). Alkaloid variation during germination in different lupin species. *Unpublished*, cité pour les données sur les alcaloïdes.

Declercq, C., & Vlegels, K. (2007). *Glaces : Délices et fraîcheur*. Lannoo Uitgeverij. 127 p.

Deosarker, S. S., Kalyankar, S. D., Pawshe, R. D., & Khedkar, C. D. (2016). Ice cream: composition and health effects. In: Caballero, B., Finglas, M. P., & Toldrá, F. (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (Vol. 3, pp. 385–390). Elsevier.

Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF). (2008). *Code des pratiques loyales des glaces alimentaires*. p. 3.

Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF). (2019). *Glaces, sorbets et crèmes glacées : comment les conserve-t-on ?* p. 3.

Dudez, P., François, M., & Raiffaud, C. (2017). *Transformer les produits laitiers frais à la ferme* (3e éd. mise à jour). Educagri Éditions. 126 p.

Duranti, M., Consonni, A., Magni, C., Sessa, F., & Scarafoni, A. (2008).

The major proteins of lupin seed: Characterisation and molecular properties for use as functional and nutraceutical ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.002>

Duranti, M., Consonni, A., Magni, C., Sessa, F., & Scarafoni, A. (2008).

The major proteins of lupin seed: Characterisation and molecular properties for use as functional and nutraceutical ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 19(11), 624–

Durmaz, Y., Kilicli, M., Toker, O. S., Konar, N., Palabiyik, I., & Tamtürk, F. (2020).

Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties. *Algal Research*, 47, Article 101811.

<https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101811>

El-Agamy, E. I. (2007).The challenge of cow milk protein allergy. *Small Ruminant Research*, 68(1–2), 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.016>

ElBassam, N. (2010). *Handbook of bioenergy crops: A complete reference to species, development and applications*. London, UK: Earthscan.

Elsamani, M. O., Habbani, S. S., Babiker, E. E., & Mohamed Ahmed, I. A. (2014).

Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk. *Unpublished manuscript*.

Elsamani, M. O., Habbani, S. S., Babiker, E. E., & Mohamed Ahmed, I. A. (2014).

Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk. *Unpublished manuscript*.

Enneking, D., & Wink, M. (2000).Towards the elimination of anti-nutritional factors in grain legumes. In *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century*. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*, 34.

https://doi.org/10.1007/978-94-011-4385-1_65

Erbaş, M., Certel, M., & Uslu, M. K. (2005).Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus L.*). *Food Chemistry*, 89, 341–345.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.040>

Gemechu, F. G. (2020).Embracing nutritional qualities, biological activities and

technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 235–261. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.005>

Glencross, B. D., Curnow, J., Hawkins, W., & Felsing, M. (2002). Evaluation of yellow lupin (*Lupinus luteus*) meal as an alternative protein resource in diets for sea-cage reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3), 287–296. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00505.x>

Gobbi, L., Ciano, S., Rapa, M., & Ruggier, R. (2019). Biogenic amines determination in “plant milks”. *Beverages*, 5(2), 40. <https://doi.org/10.3390/beverages5020040>

Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). *Ice Cream* (7e éd.). Springer. p. 477.

Gresta, F., Wink, M., Prins, U., Abberton, M. T., Capraro, J., Scarafoni, A., & Hill, G. (2017). Lupins in European cropping systems. In *Legumes in Cropping Systems*. Retrieved from <https://legumehub.eu>

Gret. (2002). *Transformer les produits laitiers frais à la ferme*. Educagri Éditions. 237 p.

Gulewicz, P., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Ciesiolka, D., Gulewicz, K., & Vidal-Valverde, C. (2008). Effect of germination on the protein fraction composition of different lupin seeds. *Food Chemistry*, 107(3), 830–844. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.072>

Gustavsen, G. W., Jolliffe, D., & Rickertsen, K. (2008). Censored quantile regression and purchases of ice cream. *Food Economics – Acta Agriculturae Scandinavica, Section C*, 5(3–4), 152–163. <https://doi.org/10.1080/16507540902898971>

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(18), 5046. <https://doi.org/10.3390/su11185046>

Habtie, T., Adrnassu, S., & Asres, K. (2009). Effects of processing methods on some phytochemicals present in lupin grown in Ethiopia.

Houlbert, A. (2020). *Les boissons végétales : des alternatives, mais pas seulement...* [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.biolineaires.com> (consulté le 20 mai 2021).

Houlbert, A. (2020). Les boissons végétales : des alternatives, mais pas seulement. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.biolineaires.com>

Huyghe, C. (1997). White lupin (*Lupinus albus* L.). *Field Crops Research*, 53, 147–160.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00028-2)

Iahtisham-Ul-Haq, Butt, M. S., Shamshad, A., & Suleria, H. A. R. (2019). Health benefits of anthocyanins in black carrot (*Daucus carota*). In M. R. Goyal & H. A. R. Suleria (Eds.), *Human health benefits of plant bioactive compounds: Potentials and prospects* (p. 69). CRC Press.

Ibáñez, M. A., de Blas, C., Cámara, L., & Mateos, G. G. (2020). Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114531. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114531>

Iriondo-Dehond, M., Miguel, E., & Del Castillo, M. D. (2018). Food byproducts as sustainable ingredients for innovative and healthy dairy foods. *Nutrients*, 10(10), 1358.
<https://doi.org/10.3390/nu10101358>

ITIS. (2019). *Integrated Taxonomic Information System*. Consulté le 30 juillet 2019, depuis : <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>

Jacques André. (2010). *Les noms des plantes dans la Rome antique*. Paris: Les Belles Lettres, 336 p., p. 148.

Kehinde, B. A., Panghal, A., Garg, M. K., Sharma, P., & Ghhikarad, N. (2020). Vegetable milk as probiotic and prebiotic foods. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 94, pp. 115–160). Elsevier.

Kehinde, B., Panghal, A., Garg, M., Sharma, C., & Ghhikara, N. (2020). Vegetable milk as probiotic and prebiotic foods. In *Advances in Food and Nutrition Research*, 94, 43–84. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.06.004>

Krystyjan, M., Gumul, D., Ziobro, R., & Sikora, M. (2015). The effect of inulin as a fat replacement on dough and biscuit properties. *Journal of Food Quality*, 38(5), 305–315. <https://doi.org/10.1111/jfq.12148>

Lucas, M. M., Stoddard, F. L., Annicchiarico, P., Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P. M., & Pueyo, J. J. (2015).

The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science*, 6, 705.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00705>

Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products.

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 56(3), 339–349.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>

Marshall, R. T., & Goff, H. D. (2003). *Ice Cream* (6e éd.). Kluwer Academic / Plenum Publishers. p. 371.

Mohan, M. S., Hopkinson, J., & Harte, F. (2014). Milk and ice cream processing. In S. Clark, S. Jung, & B. Lamsal (Eds.), *Food Processing: Principles and Applications* (2e éd., pp. 383–404). Wiley-Blackwell.

Musco, N., Cutrignelli, M. I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., Lo Presti, V., Gresta, F., & Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*Lupinus albus* L., *L. luteus* L., *L. angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101, 1227–1241.

<https://doi.org/10.1111/jpn.12643>

Ogura, T., Hernández, A., Aizawa, T., Ogihara, J., Sunairi, M., Alcaïno, J., Salvo-Garrido, H., Maureira-Butler, I. J., & Ferro, V. A. (2013). Identification of a low digestibility δ -conglutin in yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) seed meal for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) by coupling 2D-PAGE and mass spectrometry. *PLoS ONE*, 8, e80369.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080369>

Ogura, T., Hernández, A., Aizawa, T., Ogihara, J., Sunairi, M., Alcaïno, J., Salvo-Garrido, H., Maureira-Butler, I. J., & Ferro, V. A. (2013). Identification of a low digestibility d-conglutin in yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) seed meal for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) by coupling 2D-PAGE and mass spectrometry. *PLoS ONE*, 8(12), e80369.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080369>

Omer, M. A. M., Mohamed, E. A., Mohamed Ahmed, I. A., Yagoub, A. E. A., & Babiker, E. E. (2016). Effect of different processing methods on anti-nutrients content and protein quality of improved lupin (*Lupinus albus* L.) cultivar seeds. *Turkish Journal of*

Agriculture - Food Science and Technology, 4(1), 9–16.

<https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i1.9-16.404>

Onwulata, C. I. (2013). Microencapsulation and functional bioactive foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 510–532. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00680.x>

Panasiewicz, K. (2022). Chemical composition of lupin (*Lupinus spp.*) as influenced by variety and tillage system. *Agriculture*, 12(2), 263. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020263>

Parra-González, L. B., Aravena-Abarzúa, G. A., Navarro-Navarro, C. S., Udall, J., Maughan, J., Peterson, L. M., et al. (2012). Yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) transcriptome sequencing: Molecular marker development and comparative studies. *BMC Genomics*, 13, 425. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-425>

Pastor-Cavada, E., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., & Vioque, J. (2009). Analytical nutritional characteristics of seed proteins in six wild *Lupinus* species from Southern Spain. *Food Chemistry*, 117, 466–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.039>

Pieper, R., Taciak, M., Pieper, L., Święch, E., Tuśnio, A., Barszcz, M., Vahjen, W., Skomial, J., & Zentek, J. (2016). Comparison of the nutritional value of diets containing differentially processed blue sweet lupin seeds or soybean meal for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.026>

Pietrzykowski, M., Gruba, P., & Sproull, G. (2017). The effectiveness of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in sand mine cast reclamation. *Ecological Engineering*, 102, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.001>

Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.022>

Robinson, R. K. (2002). *Dairy Microbiology Handbook: The Microbiology of Milk and Milk Products* (3e éd.). Wiley Interscience. p. 780.

Rochfort, S., & Panozzo, J. (2007). Phytochemicals for health: The role of pulses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(20), 7981–7994. <https://doi.org/10.1021/jf071704w>

Saastamoinen, M., Eurola, M., & Hietaniemi, V. (2013). The chemical quality of some legumes, peas, fava beans, blue and white lupins and soybeans cultivated in Finland. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 3, 92.

Salini, M. J., & Adams, L. R. (2014). Growth performance, nutrient utilisation and digestibility by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed Tasmanian grown white (*Lupinus albus*) and narrow-leaved (*L. angustifolius*) lupins. *Aquaculture*, 426–427, 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.020>

Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives: An emerging segment of functional beverages – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>

Stampfer, M. J. (1992). A prospective study of nutritional factors and hypertension. *Annals of Epidemiology*, 2(3), 273–279.

Steenfeldt, S., González, E., & Bach Knudsen, K. E. (2003). Effects of inclusion with blue lupins (*Lupinus angustifolius*) in broiler diets and enzyme supplementation on production performance, digestibility and dietary AME content. *Animal Feed Science and Technology*, 110(1–4), 185–200. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00218-9)

Sujak, A., Kotlarz, A., & Strobel, W. (2006). Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry*, 98(4), 711–719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.036>

Swati, S., Neelam, Y., & Mishra, H. N. (2016). Plant-based milk alternatives: Emerging trends and prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 110–126. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>

Terekhina, N. V. (2008). *Lupinus luteus* L. In: Afonin, A. N.; Greene, S. L.; Dzyubenko, N. I.; Frolov, A. N. (Eds.), *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries: Economic Plants and Their Diseases, Pests and Weeds*. Western Ethiopia. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 66(7–8), 403–408.

von Baer, D., Saelzer, M., Vega, P., Ibieta, L., Molina, E., von Baer, E., Ibanez, R., & Hashaben, U. (2000). Isoflavones and anthracnose in *Lupinus albus* and *L. angustifolius*. In van Santen, E., Wink, M., Weissmann, S., & Römer, P. (Eds.), *Lupin, an ancient crop for the new millennium*. Proceedings of the 9th International Lupin Conference, 20–24 June 1999, Klink/Müriz, Germany.

Wait, R. (2005). Analysis of *Lupinus albus* storage proteins by two-dimensional electrophoresis and mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4599–4606. <https://doi.org/10.1021/jf050041o>

Walker, J., Herthel, K., Parker, P., & Edwards, J. (2011). *Lupin growth and development*. PROCROP. Industry & Investment NSW (I&I NSW).

White, C. L., Staines, V. E., & Staines, M. V. H. (2007). A review of the nutritional value of lupins for dairy cows. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(3), 185–202. <https://doi.org/10.1071/AR06109>

Wink, M. (2006). Health promoting activities of non-nutritional factors in lupins. In van Santen, E., & Hill, G. D. (Eds.), *Mexico, where Old and New World lupins meet: Proceedings of the 11th International Lupin Conference*, 4–9 May 2005, Guadalajara, Mexico. Canterbury, New Zealand, pp. 308–319

Wolko, B., Clements, J. C., Naganowska, B., Nelson, M. N., & Yang, H. (2010). *Lupinus*. In Kole, C. (Ed.), *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources* (pp. 153–206). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21201-7_9

Yeheyis, L., Kijora, C., Wink, M., & Peters, K. J. (2011). Effect of a traditional processing method on the chemical composition of local white lupin (*Lupinus albus* L.) seed in Northwestern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, 23(6).

ANNEXES

Annexe 1 : Illustrations des matières premières utilisées dans la formulation du dessert glacé



Figure I.1 : Graines de lupin jaune (*Lupinus luteus* L.) utilisées dans l'étude



Figure I.2 : Poudre de dattes utilisée comme substitut du sucre

Annexe 2 : Liste des appareils, des produits chimiques et réactifs utilisés dans cette étude

Liste des appareils

Appareil	
Balance analytique	Thermomètre
Étuve de séchage	Béchers
Muffle (Four à haute température)	Bain marie Pince
pH-mètre numérique	Étuves
Burette manuelle / support de titrage	Pipette jaugée de 01 mL, 10 mL
Minéralisateur et distillateur Kjeldahl	Dessiccateur
Système Soxhlet complet	Flacons en verre
Homogénéisateur magnétique	Bec bunsen
Centrifugeuse	Autoclave
Spectrophotomètre UV-Vis	Plaque chauffante
Appareil de mesure de l'activité de l'eau	
Rotavapor (évaporateur rotatif)	
Réfrigérateur et congélateur de laboratoire	

Liste des produits chimiques et réactifs

Produit chimique / réactif	Formule / Nom commercial
Acide sulfurique concentré	H_2SO_4
Soude (hydroxyde de sodium)	NaOH , 0,1 N
Phénol cristallisé	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
Méthanol	CH_3OH
Hexane (n-hexane)	C_6H_{14}
Éther de pétrole	Mélange d'hydrocarbures légers
Acide trichloroacétique (TCA)	CCl_3COOH
Dichlorométhane	CH_2Cl_2
Carbonate de sodium saturé	Na_2CO_3
Eau distillée	H_2O
Solution de phénolphtaléine	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$

Annexe 03 : Protocoles opératoires des analyses physico-chimiques

1. Poids de 1000 graines

- ✓ Compter manuellement 1000 graines de lupin.
- ✓ Les peser à l'aide d'une balance de précision ($\pm 0,01$ g).
- ✓ Effectuer la mesure en triple pour améliorer la fiabilité des résultats.
- ✓ Calcul :

$$\text{Poids moyen (g)} = (\text{somme des trois pesées}) / 3$$

2. Taux d'humidité (Méthode AACC 44-01)

- ✓ Peser le creuset vide : masse m_0 .
- ✓ Ajouter 5 g d'échantillon à analyser et peser : masse m_1 .
- ✓ Placer à l'étuve à 100 ± 5 °C jusqu'à stabilité du poids.
- ✓ Laisser refroidir au dessiccateur.
- ✓ Peser après déshydratation : masse m_2 .

3. Cendres (Méthode AACC 08-01)

- ✓ Peser le creuset vide : P_0 .
- ✓ Ajouter 5 g d'échantillon et incinérer au four à 925 °C jusqu'à poids constant.
- ✓ Refroidir au dessiccateur et peser : P_2 .

4. pH

- ✓ Étalonner le pH-mètre avec des solutions tampons pH 4 et 7.
- ✓ Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- ✓ Homogénéiser 5 g de farine avec 45 mL d'eau distillée.
- ✓ Placer l'électrode dans l'échantillon, lire la valeur stabilisée.
- ✓ Effectuer trois déterminations sur un échantillon.
- ✓ Laver la sonde à l'eau distillée et la sécher avec un papier absorbant, entre deux mesures

5. Acidité titrable

- ✓ Mélanger 5 g d'échantillon avec 45 mL d'eau.
- ✓ Ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine.
- ✓ Titrer avec NaOH 0,1 N jusqu'au pH 8,1.
- ✓ Lire le volume titré.
- ✓ Effectuer trois déterminations sur un échantillon.

6. Protéines brutes (Méthode Kjeldahl, AACC 46-12)

Minéralisation

- ✓ Ajouter 1 g d'échantillon + 20 mL H₂SO₄ + 2 g catalyseur (K₂SO₄/CuSO₄) dans un matras.
- ✓ Chauffer selon les étapes : 65 % (30 min), 70 % (30 min), 80 % (30 min), 85 % (1 h).
- ✓ Refroidir, ajouter 20 mL eau distillée prudemment.

Distillation

- ✓ Placer le matras dans le distillateur.
- ✓ Collecter les vapeurs d'ammoniac dans 20 mL acide borique + indicateurs.

Titration

- ✓ Titrer avec HCl N/10.

7. Teneur en matière grasse (Méthode Soxhlet)

- ✓ Peser 10 g d'échantillon dans une cartouche.
- ✓ Extraire avec hexane dans un Soxhlet à 65 °C (4–6 siphonnages).
- ✓ Évaporer le solvant, sécher à l'étuve, peser après dessiccation.

8. Activité de l'eau

Mesure directe à l'aide d'un appareil spécialisé, fondée sur l'équilibre de la pression de vapeur entre l'échantillon et un capteur hygroscopique.

9. Polyphénols totaux (TPC)

a) Extraits hydrophiles (H)

- ✓ Peser 10g d'échantillon.
- ✓ Extraire avec 100 mL de méthanol 80 % par Agitation pendant 4h.
- ✓ Centrifuger 10 min à 4000 g (4 °C).
- ✓ Collecter les surnageants dans une fiole.
- ✓ Répéter 3 fois.
- ✓ Stocker à -20 °C avant les analyses.

b) Extraits lipophiles (L)

- ✓ Utiliser le résidu de l'extraction de matière grasse par Soxhlet.
- ✓ Extraire avec 100 mL de méthanol 80 % par Agitation pendant 4h.
- ✓ Centrifuger 10 min (4000× g, 4 °C). → répéter 3 fois.

- ✓ Réunir les surnageants et conserver à -20°C .

c) Polyphénols totaux (TPC)

- ✓ Mélanger

0,25 mL d'extrait

0,25 mL de Folin–Ciocalteu dilué

0,5 mL de NaCO saturé

4mL d'eau

- ✓ Incuber 25 min à température ambiante.
- ✓ Centrifuger $2000\times g$ pendant 10 min, puis lire l'absorbance à 725 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.
- ✓ Résultats exprimés en mg GAE/g.

10. Alcaloïdes totaux

Dans deux tubes à essai, 1 mL de l'extrait végétal (préparé au préalable) a été introduit.

- Dans le premier tube, 5 gouttes de réactif de Mayer ont été ajoutées.
- Dans le second, 5 gouttes de réactif de Dragendorff.
- Un troisième tube témoin a été préparé contenant 1 mL d'une solution de caféine à 0,02 % et 5 gouttes de Dragendorff, servant de référence positive.

⇒ Interprétation

La présence d'un précipité blanc-jaunâtre (Mayer) ou orangé (Dragendorff) a été considérée comme un test positif à la présence d'alcaloïdes. Les résultats ont été exprimés sous forme qualitative selon l'intensité observée :

- (++) : réaction franchement positive)
- (+ : positive)
- (+/- : douteuse)
- (– : négative)

11. Détermination de la teneur en sucres

- ✓ Une gamme étalon à partir d'une solution de glucose à 0,005 % (5 mg dans 100 mL) est préparée.
- ✓ 10 g d'échantillon est mélangé avec 100 ml d'eau distillée
- ✓ Dans chaque tube, mettre 02 ml d'extrait
- ✓ Ajouter à la gamme étalon et les tubes à essais : 50 μ L d'une solution de phénol à 80 % et 03 ml d'acide sulfurique concentré
- ✓ Agiter lentement et légèrement
- ✓ Laisser la réaction se faire pendant 10 mm à une température de 25 à 30 °C (apparition de la couleur jaune-rouge) puis stopper la réaction par un courant d'eau froide
- ✓ Lecture de l'absorbance à la longueur d'onde 490 nm.



Figure A3.1 :rhéomètre à vitesse de cisaillement imposée (Modular Compact Rheometer, MCR 302)

Annexe 04 : Étapes de préparation du beurre de cacahuète

Figure	Description	Photo
A4.1	Tri manuel des graines de cacahuète pour éliminer les impuretés	
A4.2	Grillage des graines au four (150 °C pendant 10–15 min)	
A4.3	Broyage mécanique avec hachoir électrique (300 W)	
A4.4	Conditionnement du beurre dans un pot en verre hermétique	

Annexe 05 : Analyses physico-chimiques du beurre de cacahuète

1. Détermination du pH

- Étaler deux tampons standards (pH = 4,0 et pH = 7,0).
- Allumer l'appareil et vérifier son bon fonctionnement.
- Rincer l'électrode à l'eau distillée puis l'essuyer avec un papier absorbant.
- Prélever une quantité homogène de beurre (diluée), placer dans un bécher.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon.
- Lire et enregistrer la valeur du pH stabilisé.

2. Détermination de l'acidité titrable

- Prélever 10 mL d'échantillon homogénéisé dans un bécher.
- Ajouter 0,3 mL de phénolphtaléine à 1 % comme indicateur.
- Titrer à l'aide de soude NaOH 0.1N jusqu'à obtention d'une teinte rose persistante pendant 10 secondes.
- Noter le volume de NaOH consommé.
- Calculer l'acidité selon la formule :

$$AT = V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times 0,282 / m \text{ (g d'acide oléique / 100 g)}$$

3. Dosage des matières grasses (méthode de Soxhlet)

- Sécher l'échantillon si nécessaire.
- Peser 5 g de matière dans une cartouche à extraire et ajouter une quantité de sable de mer.
- Placer la cartouche dans un extracteur de Soxhlet.
- Remplir la fiole avec de l'hexane (solvant apolaire).
- Faire fonctionner le Soxhlet pendant 4 à 6 h à reflux.

- Évaporer le solvant.
- Sécher le résidu lipidique.
- Peser pour déterminer la teneur en matières grasses.

4. Détermination de l'extrait sec total (EST)

- Peser une capsule vide et sèche (masse m_0).
- Ajouter 5 g de beurre homogène.
- Placer dans l'étuve à 103 ± 2 °C pendant 4 h.
- Refroidir au dessiccateur pendant 30 minutes.
- Peser (masse m_1).
- Calculer l'EST selon :

$$EST(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_e \times 100} \times 100$$

5. Détermination des cendres (minéraux totaux)

- Peser un creuset propre et sec (masse P_0).
- Déposer 5 g d'échantillon
- Calciner au four à moufle à 550 °C pendant 4 h.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser le creuset avec les cendres (masse P_2).
- Calculer la teneur en cendres :

$$Cendres \% = \frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} .100$$

6. Dosage des protéines (méthode de Kjeldahl)

- Introduire un échantillon pesé (1 g) dans un tube Kjeldahl.
- Ajouter 12 mL d'acide sulfurique concentré et une pastille catalytique.

- Chauffer à digestion jusqu'à obtention d'un liquide clair (2 à 3 h).
- Refroidir, diluer, et distiller dans un distillateur Kjeldahl automatique.
- Récupérer l'ammoniac dans une solution d'acide borique.
- Titrer avec HCl à concentration connue.
- Calcul :

$$\text{Protéines \%} = \frac{(V - V_0) * 0,14 * 5,46}{m}$$

Annexe n°6 : Illustrations des analyses physico-chimiques des mixes



Figure A6.1 Détermination de l'extrait sec total



Figure A6.2 Mesure de la température



Figure A6.3 Détermination de la masse volumique (pycnomètre)



Figure A6.4 Mesure du pH



Figure A6.5 Détermination de l'acidité titrable



Figure A6.6 Teneur en matières grasses (extraction Soxhlet)



Figure A6.7 Dosage des protéines (méthode Kjeldahl)



Figure A6.8 Détermination de la teneur en cendres (four à moufle)

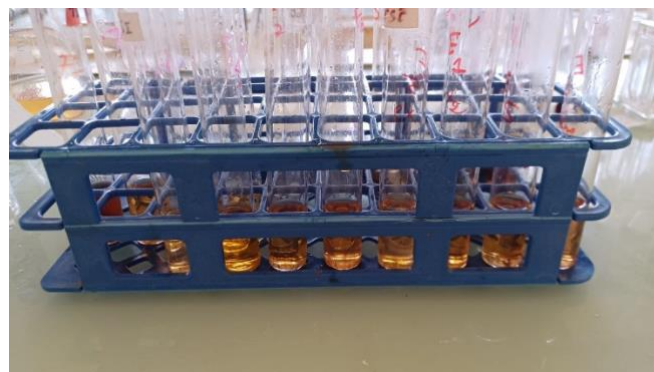


Figure A6.9 Dosage des sucres totaux (Dubois et al., 1956)

Annexe n°7 : Étapes détaillées de la fabrication du dessert glacé

Opération	Détail de la procédure	Photo
Chauffage du lait	Le lait de lupin est chauffé à une température comprise entre 45 et 50 °C .	
Ajout des ingrédients	Ajouter successivement : beurre de cacahuète, résidu sec de lupin (poudre), poudre de datte. Ajouter le stabilisant et émulsifiant	
Homogénéisation	Le mélange est homogénéisé pendant 5 minutes à haute vitesse à l'aide d'un agitateur magnétique , jusqu'à l'obtention d'une texture lisse et uniforme.	
Pasteurisation	Le mix est chauffé à 65 °C et maintenu à cette température pendant 30 minutes dans un bain-marie , afin d'assurer une pasteurisation douce, suffisante pour réduire la charge microbienne sans altérer les propriétés fonctionnelles des ingrédients.	

Refroidissement	Après pasteurisation, le mix est rapidement refroidi à 4 °C à l'aide d'un congélateur.	
Maturation	Le mix est conservé au froid à 4 °C pendant 12 heures , afin de permettre l'amélioration de la viscosité et de la texture.	
Ajout d'arôme	Après maturation, l'extrait de vanille est incorporé au mix.	
Conditionnement	Le mélange est transféré dans des contenants hermétiques adaptés à la congélation.	
Congélation	Le dessert glacé est surgelé à -20 °C .	