

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA- BOUMERDES



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Département : Génie des procédés

Option : Génie alimentaire

THEME

**Essai de formulation d'un lait végétale à base de pois
chiche pour les intolérances au lactose par
programmation linéaire (PL)**

Présenté par :

- **BOUYAHI Thiziri**

Jury:

Mr ZIDANI Sofiane	MCA	UMBB	President
Mme HADERBACHE Latifa	MCB	UMBB	Promotrice
Mr BOUKHIAR Aissa	MCA	UMBB	Examineur
Mme ANNOU Saada	MAA	UMBB	Examinatrice

Année 2023-2024

Résumé :

Actuellement, les laits végétaux ou boissons végétales, sont bien appréciés par les consommateurs et se font un nom dans la nutrition. Des laits particulièrement adaptés aux besoins nutritionnels et contribuant à protéger la santé. Les laits végétaux (lait d'amande, lait de soja, lait de noisette, lait de Riz, lait de chanvre etc.), peuvent remplacer le lait de vache, notamment en cas d'intolérance au lactose, et aux caséines par exemple.

Ce travail consiste à préparer une formulation d'un lait végétal à base de pois chiche par la méthode de la programmation linéaire et par la détermination des facteurs qui influencent la qualité du produit et leur impact sur ce dernier.

Afin de minimiser le nombre des expériences trois variables ont été choisi (quantité de pois chiche cuit et quantité de poudre de sésame plus l'eau), alors que les autres ingrédients (émulsifiant, sel, arôme vanille) sont utilisés comme additifs.

Parmi les deux propositions de la PL, la formule retenue était la suivante (3g de pois chiche, 10,4g de poudre de sésame et 85,6 ml d'eau). L'analyse sensorielle à l'aide d'un panel de 40 personnes sur les critères (odeur, couleur, texture, goût, arrière-goût) a pu évaluer les recettes par le test de Friedman, et la formulation végétale a très bien été accepté comme substitut de lait.

Mots clés : lait végétal, pois chiche, sésame, intolérance au lactose, programmation linéaire, analyse sensorielle.

ملخص:

في الوقت الحالي، يحظى الحليب النباتي أو المشروبات النباتية بتقدير جيد من قبل المستهلكين ويحظى بشعبية كبيرة في عالم التغذية. تتكيف هذه الألبان بشكل خاص مع المتطلبات الغذائية وتساعد على حماية الصحة. يمكن أن يحل الحليب النباتي (حليب اللوز وحليب الصويا وحليب البندق وحليب الأرز وحليب القنب وغيرها) محل حليب البقر، خاصة في حالات عدم تحمل اللاكتوز والكازين، على سبيل المثال. يتكون هذا العمل من إعداد تركيبة من الحليب النباتي القائم على الحمص باستخدام طريقة البرمجة الخطية وتحديد العوامل التي تؤثر على جودة المنتج وتأثيرها عليه.

ولتقليل عدد التجارب إلى أدنى حد ممكن، تم اختيار ثلاثة متغيرات (كمية الحمص المطبوخ وكمية مسحوق السمسم بالإضافة إلى الماء)، بينما استخدمت المكونات الأخرى (المستحلب والملح ونكهة الفانيليا) كإضافات .

من بين مقترحات البرمجة الخطية، كانت التركيبة التي تم اختيارها على النحو التالي (3 جم من الحمص و10,4 جم من مسحوق السمسم و85,6 مل من الماء). تم إجراء تحليل حسي باستخدام لجنة مكونة من 40 شخصًا على معايير (الرائحة واللون واللمس والطعم والمذاق) لتقييم الوصفات باستخدام اختبار فريدمان، وتم قبول التركيبة النباتية بشكل جيد جدًا كبديل للحليب.

الكلمات الدالة:

حليب نباتي، الحمص، السمسم، عدم تحمل اللاكتوز، البرمجة الخطية، التحليل الحسي.

Summary:

Currently, vegetable milks or vegetable drinks are well appreciated by consumers and are making a name for themselves in nutrition. Milks particularly suited to nutritional needs and helping to protect health. Vegetable milks (almond milk, soymilk, hazelnut milk, rice milk, hemp milk, etc.) can replace cow's milk, especially in cases of lactose intolerance, and caseins for example.

The aim of this work is to prepare a chickpea-based vegetable milk formulation using the linear programming method, and to determine the factors influencing product quality and their impact on it.

To minimize the number of experiments, three variables were chosen (quantity of cooked chickpea and quantity of sesame powder plus water), while the other ingredients (emulsifier, salt, vanilla flavouring) were used as additives.

Of the two PL proposals, the formula selected was as follows (3g chickpeas, 10.4g sesame powder and 85.6 ml water). Sensory analysis using a panel of 40 people on the criteria (smell, color, texture, taste, aftertaste) was able to evaluate the recipes using the Friedman test, and the plant-based formulation was very well accepted as a milk substitute.

Key words: plant milk, chickpea, sesame, lactose intolerance, linear programming, sensory analysis.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promotrice de mémoire, Madame Latifa haderbache. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, Brahim et Djamila, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs Saïda et Sara, et mon frère Djaafar, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis Narimane, Samia, bouthaina, rosa, Ahlem, qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

DEDICASES

Je dédie ce Travail à :

*A mon très cher père **Brahim***

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension...

*Celle qui m'a toute donnée, sacrifiée à celle qui a tout attendue ce jour-là
ma chère Maman **Djamila***

*A mes sœurs **Saïda et Sara***

Qui je le sais ma réussite est très importante pour vous. Que Dieu vous paye Pour tous vos bienfaits

*A mon cher frère **Djaafar***

A tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apporté. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé.

Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

*À ma nièce **Ritadj***

Les mots ne peuvent pas exprimer à quel point tu as été une nièce merveilleuse. Je veux que tu saches que tu es la plus proche de mon cœur.

*A mon neveu **Mazighe***

Avoir un neveu est le plus beau cadeau qu'un frère puisse vous faire. Tes petites mains, ton envie de parcourir le monde, ton enthousiasme, tes sourires, tes yeux brillants sont incomparables. Tu as apporté beaucoup de bonheur à notre famille. Je t'aime

*A mes amies **Narimane, Samia, bouthaina, Rosa, Ahlem...** Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

Sommaire

Liste des Tableaux et des figures

Liste des abréviations

Introduction1

Chapitre I

I. Le lait

1) Définition du lait	3
2) Définition de la poudre de lait	3
3) Laites végétaux	3
4) Les bienfaits du lait végétal	4
5) Les différentes sources du lait végétal.....	4
6) Quelques laites végétaux	4
6.1. Le lait de soja	4
6.2. Le lait d'amande	5
6.3. Le lait de noisette	5
6.4. Le lait d'avoine	6
6.5. Le lait de châtaigne	6
6.6. Le lait d'arachide	6
6.7. Le lait de riz	6
7) Le lactose	7
7.1. Structure du lactose	7
7.2. L'intolérance au lactose	7
7.3. Classification de l'intolérance au lactose	8
7.4. Les symptômes	8
8) La différence entre Malabsorption et intolérance au lactose	9
9) L'intolérance au lactose n'est pas une allergie	9
10) Différentes méthodes pour le diagnostic de l'intolérance au lactose	10

Chapitre II

II. Généralités sur le pois chiche 11

1) Généralités sur la plante	11
2) Origine	11

3) Le pois chiche en Algérie	11
4) Types de cultivars	12
5) Taxonomie et classification botanique du pois chiche	12
6) Intérêt nutritionnel du pois chiches	13
III. Généralités sur le sésame	14
1) Généralités sur la plante	14
2) Origine	14
3) Composition biochimique	14
IV. Généralités sur le beurre	15
1) Définition	15
2) Composition du beurre.....	15
Chapitre III	
V. Programmation linéaire	16
1) Définition	16
2) Les formes d'un programme linéaire	16
3) Notions relatives à la programmation linéaire	17
4) La résolution graphique	19
Partie pratique	
VI. Matériel et méthodes	20
1) Ingrédients de la formulation	20
2) Valeurs nutritionnelles des ingrédients	21
3) La programmation linéaire	21
4) Optimisation et modélisation par la programmation linéaire	21
5) Maximisation de la fonction « objectif »	22
6) Matériel biologique utilisé	23
7) Réalisation des Formulations	24
8) Préparation des échantillons	24
9) Contrôle de qualité du lait végétal.....	26
9.1) Analyses physico-chimiques	27
1. Détermination du potentiel d'hydrogène (PH):.....	27

2. Détermination de la viscosité	28
10) Evaluation sensorielle.....	29
11) Test organoleptique (Test de Friedman)	29
12) Mode opératoire.....	30
VII. Résultats et discussions	32
1) Résultats des analyses	32
1.1. PH	32
1.2. La viscosité	33
2) Résultats du test organoleptique	33
a. Les calculs	33
i. Critère odeur	33
ii Critère couleur	34
iii. Critère texture	35
iv. Critère goût	35
v. Critère arrière-goût	35
3) Stabilité des formulations	36
4) Proposition d'amélioration de la formule	37
VIII. Conclusion et perspective.....	38
IX. Références bibliographiques	40
X. Annexes	47

Liste des figures

N° de figures	Intitulé	Page
1	Formation du lactose et structure cyclique	7
2	Types du pois chiche Kabuli et Desi	12
3	(a) : Fleur blanche du pois chiche type Kabuli et (b) fleur violette du pois chiche type Desi	12
4	Résolution graphique d'un programme linéaire	19
5	Recette optimisée par le solveur	23
6	sésame utilisé	24
7	pois chiche utilisé (type Kabuli)	24
8	Diagramme de préparation du lait de pois chiche	25
9	Schéma explicatif représentant la méthode de préparation du lait de pois chiche	26
10	Lait végétal réalisé issu de la formulation	27
11	Détermination du potentiel hydrogène des formulations	28
12	Détermination de La viscosité par Le viscosimètre	29
13	Déroulement du test de dégustation	31
14	Moyennes des pH de chaque boisson testée	32
15	Phénomène de flottabilité (A et C)	37
16	Gans de cuisine	51
17	Tissu en coton filtrant	51
18	Broyeur IK	52
19	broyeur mixeur	52

Liste des tableaux

N° du tableau	Intitulé	Page
1	Comparaison des valeurs nutritionnelles moyennes (pour 100 ml) du lait de soja par rapport au lait de vache	5
2	Valeurs nutritionnelles pour 100 g de poudre d'amande	5
3	Valeurs nutritionnelles moyennes comparées des laits de riz et de vache (demi-écrémée)	7
4	Composition biochimique et minérale moyenne de pois	13
5	Teneur en minéraux et en nutriment de la graine de sésame	15
6	Composition moyenne pour 100 g de beurre	15
7	Valeurs nutritionnelles moyennes des ingrédients choisis pour la formulation	21
8	Valeur nutritionnelle du produit objectif (lait de vache demi-écrémé)	22
9	Synthèse des scénarios de la formulation proposée par le solveur	23
10	Résultats des analyses physico-chimiques des deux boissons	32
11	Somme des rangs pour chaque critère et chaque produit	33
12	Paramètres statistiques pour le test de Friedman	34
13	Résultats de la comparaison des formulations pour le critère goût	35
14	Résultats de la comparaison des formulations pour le critère arrière-goût	36
15	Valeur nutritionnelle et la valeur énergétique de la formule retenue « C »	36
16	Comparaison de la valeur nutritionnelle entre la formule et le produit commerciale B « pour 100 ml»	37
17	tableau des scores	47
18	tableau de classement	48
19	Table de Khi X2	49
20	table de Gaussienne	50

Liste des Abréviations

Abréviations	Signification
<i>PL</i>	Programmation linéaire
<i>Kcal</i>	Kilocalorie
<i>MG</i>	Matière Grasse
<i>AGCC</i>	Les acides gras à chaîne courte
<i>UHT</i>	Ultra haute température
<i>FAO</i>	Food and Agriculture Organization
<i>Ca</i>	Calcium
<i>DLC</i>	date limite de consommation
<i>pH</i>	Potentiel d'hydrogène
<i>ENASel</i>	l'Entreprise Nationale Algérienne du Sel
<i>Max</i>	Maximum
<i>Min</i>	Minimum
<i>MS</i>	Matière sèche
<i>F</i>	Friedman
<i>q/ha</i>	quintal par hectare

Introduction

Introduction

Introduction

Le lait donne la vie et devient parfois même une boisson sacrée. Rien d'étonnant, car c'est le premier et le seul aliment du nourrisson, il apporte le calcium nécessaire à la formation du squelette chez l'enfant et l'adolescent et à son renouvellement chez l'adulte. Par ailleurs, il est riche en protéines et indispensable à la vie des cellules de notre corps (Lévy-Dutel & virbel-alonso, 2013).

Malheureusement, le lait est parfois mal digéré, et c'est pourquoi certains pensent à le remplacer par un lait végétal (Nathalie Mayer, 2018).

Ces laits végétaux font aujourd'hui partie du plaisir gustatif et de la recherche d'aliments naturels dans nos sociétés, Ils sont de bonnes sources de fibres et d'oligoéléments et se révèlent vraiment précieux en cas d'allergies ou d'intolérance alimentaires (Lévy-Dutel & virbel-alonso, 2013).

Du point de vue nutritionnel, le lait constitue une bonne source de nombreux nutriments, néanmoins, l'utilisation de certaines espèces botaniques aux propriétés vitales nécessaires à la santé physique et mentale, donne une boisson saine qui pourra être une nouvelle alternative au lait animal. Parmi les sources naturelles qui peuvent apporter des propriétés riches, on cite le pois chiche (Amanzougarene, 2019), Le pois chiche est un aliment naturellement riche en protéines végétales (Alem, 2005), La teneur de celles-ci est de l'ordre de 20 à 25 % certaines lignées jusqu'à atteignent 28,9 %, il est également une source sûre d'excellents minéraux (cuivre, phosphore, fer, magnésium, potassium et sélénium) et de vitamines notamment la vitamine B9 (acide folique), B1, B2 et B6 (Amari, 2014).

Ceci dit, en dépit de la forte consommation du lait de vache à travers le monde, il reste qu'il n'est pas un bon choix pour ceux qui souffrent d'allergie au lactose, et qui cherchent une alimentation autre, ou certaines personnes qui adoptent un régime végétarien, car à notre époque, les alternatives végétales au lait, ont gagné en popularité et en intérêt parmi les consommateurs. Dernièrement, certains commencent à s'orienter vers le lait végétal. D'après leur point de vue, la cruauté envers les vaches, les dommages qu'il cause à l'environnement, ainsi qu'à la santé des individus, font que le lait à base de plantes, gagne en popularité avec un large assortiment de types et de saveurs (Geetanjali, 2021).

Introduction

Les laits végétaux, également appelés substituts du lait, sont généralement un extrait de légumineuses, céréales, noix et/ou graines, diluées dans de l'eau. Ils sont très similaires au lait animal en termes de texture, d'apparence et d'utilisation. Selon les matières premières et l'enrichissement, ils diffèrent en leur composition nutritionnelle et leur goût, mais aucun d'entre eux ne contient de lactose ou de cholestérol (The Plant Milk Report, 2020).

Notre étude portera sur la préparation d'un lait végétal et de fournir à partir d'une matière végétale un produit apte à se substituer au lait d'origine animal, et particulièrement au lait de vache, par un mélange de pois chiche et de sésame, où nous nous attendons à obtenir une boisson type « lait végétal » acceptable.

Pour minimiser les essais nous utilisons dans ce travail la programmation linéaire comme outil d'optimisation de la formulation du produit, qui sera par la suite amélioré et soumis à une dégustation contre un produit commercial connu en Algérie.

Notre mémoire comporte 3 parties ;

- une partie bibliographique qui comporte un aperçu général sur le pois chiche, les laits végétaux, l'intolérance au lactose et la programmation linéaire ;
- Une partie méthodologique qui décrit le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude.
- Et une dernière partie concernant les résultats et leur discussion ainsi que les conclusions tirées de cette étude expérimentale.

Synthèse bibliographique

Chapitre I

I. Le lait

1) Définition du lait

Le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires des mammifères femelles pour la nutrition des jeunes (Ghaoues, 2011).

Le lait était défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir du colostrum » (Pougheon et Goursaud, 2001).

2) Définition de la poudre de lait

Les laits en poudre sont des produits résultant de l'élimination totale de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible, de sorte que l'eau est perdu et le lait devienne poudre (Arie et al., 2012).

Le lait en poudre est le produit provenant de la dessiccation du lait entier, du lait écrémé ou du lait partiellement écrémé propre à la consommation humaine, lorsqu'ils sont additionnés du sucre (saccharose) dans une proportion conforme aux usages la mention «sucre» est portée sur l'étiquette ou le récipient ; toutefois l'expression « en poudre » peut être remplacée par le mot sec suivi ou non d'une mention indiquant le mode de présentation (poudre, granules, paillettes, etc.).

Il y a trois sortes de poudres selon la quantité de matière grasse (MG) : poudre de lait Entier à 35 % de MG ; Lait en poudre partiellement écrémé à 15 % de MG, Lait en poudre Ecrémé à 0 % de MG (FAO, 2018)

3) Laits végétaux

Le lait végétal est une boisson, fabriquée à partir de plantes, qui tente d'imiter certaines des propriétés du lait animal. Toutefois, en raison des variations, dans les compositions des plantes, le gout et la texture des laits végétaux peuvent être très différents, les uns des autres, et différer considérablement du lait animal (Amrouche, 2020).

Depuis quelques années, les laits végétaux - ou boissons végétales - se sont faits un nom dans la nutrition et dans les marchés internationaux. Ces boissons peuvent remplacer le traditionnel lait de vache, notamment dans le cas d'une intolérance au lactose ou d'une allergie

aux caséines. Il existe de nombreux types de lait végétaux, parmi lesquels on retrouve le lait d'avoine par exemple (Medadone, 2023).

4) Les bienfaits du lait végétal

Les laits végétaux servent généralement à remplacer le lait animal. Ils sont donc intéressants pour les personnes allergiques ou intolérantes au lait de vache. Les laits végétaux sont plus faciles à digérer pour les personnes intolérantes au lactose, ils ne contiennent pas de cholestérol non plus et sont souvent moins calorique qu'un lait entier (Ray, 2016).

5) Les différentes sources du lait végétal

Les laits végétaux sont fabriqués à partir de diverse plantes et familles de végétaux, notamment les céréales, les légumineuses, les mélanges de plantes, etc. parmi les exemples courants de laits végétaux, on trouve le lait d'amande, qui a une longue histoire remontant au moyen âge, ainsi que le lait de cacao, le lait de riz, le lait d'avoine et le lait de pistache (Amrouche, 2020)

6) Quelques laits végétaux

6.1. Le lait de soja

C'est une suspension blanche contenant des glucides et des protéines solubles, et la majeure partie de l'huile de soja (Berk, 1993). Le lait de soja ne contient pas de lactose d'où son intérêt pour les populations dépourvues de lactase. Il ne possède pas de cholestérol et ses lipides sont composés principalement d'acides gras polyinsaturés d'où son intérêt diététique (Liu et al., 2002).

Le lait de soja est très important dans l'alimentation humaine vu sa composition et sa richesse spécifique. Il survient à nombreux besoins alimentaires au même titre que le lait de vache (Bosco, 2002). La comparaison des valeurs nutritionnelles moyennes (pour 100 ml) du lait de soja par rapport au lait de vache (Adeline, 2010) sont illustrés dans le tableau 1.

Tableau 01 : Comparaison des valeurs nutritionnelles moyennes (pour 100 ml) du lait de soja par rapport au lait de vache (Adeline, 2010)

Composition du lait de soja et comparaison avec le lait de vache (pour 100 ml)		
Composants	Lait de soja	Lait de vache
Calories	37 kcal	45 kcal
Eau	92 ml	90 ml
Protides	3,7 g	3,2 g
Lipides	2,2 g	1,5 g
Glucides	0,4 g	4,8 g
Lactose	0	4,5 - 5 g
Calcium	0	120 mg

6.2. Le lait d'amande

Le lait d'amande a été créé dans les années 1990, appelé aussi boisson aux amandes ou boisson végétale aux amandes. Ce lait est connu pour sa haute teneur en vitamines et minéraux, mais il a été prouvé que les amandes contiennent des nutriments supplémentaires. C'est pourquoi le lait d'amande est recommandé comme une bonne option pour ceux qui ne consomment aucune forme de produits laitiers, ceux qui ont une allergie/intolérance au lait de vache ou ceux qui sont végétariens mais ne convient pas pour ceux qui ont des allergies aux noix (Nagdeve, 2020). Sa valeur nutritionnelle est donnée ci-dessous.

Tableau 02 : Valeurs nutritionnelles pour 100 g de poudre d'amande (de la Héronnière, 2017)

Calories	634 Kcal
Protéines	20 g
Glucides	17 g
Lipides	54 g
Calcium	0.24 g

6.3. Le lait de noisette

Le lait de noisette est une boisson végétale produite à partir du fruit du noisetier, une plante de la famille des Betulaceae. Ce lait est reminéralisant et très digeste, riche en bonnes graisses (acide gras mono-insaturés) (Chrisment, 2013), en vitamines (A et B), en sels minéraux et en Oméga-3 et 6 (Arce, 2018).

6.4. Le lait d'avoine

Le lait d'avoine est une alternative végétalienne populaire au lait animal surtout le lait de vache, offrant une option saine pour les personnes qui choisissent de ne pas consommer des produits d'origine animale. Bien que l'avoine soit riche en nutriments tels que les fibres, les protéines et les vitamines B, il ne peut pas être considéré comme un substitut au lait traditionnel (Clair-Doray, 2023).

6.5. Le lait de châtaigne

Délicieux, riche en minéraux, en calcium et en sucres lents, le lait de châtaigne est également très digeste. Ce produit est une très bonne option pour lutter contre les acidités gastriques, la châtaigne ayant la propriété d'alcaliniser l'organisme (Sophie, 2020).

6.6. Le lait d'arachide

Le lait d'arachide est un liquide jaune, il contient des graisses et une teneur élevée en protéines (Shori et Zahrani, 2022) et peut être produit par trempage et broyage d'arachides brutes avec de l'eau, suivi d'une filtration (Yadav et al., 2010).

Le lait d'arachide peut être fermenté par des bactéries lactiques pour produire une boisson. Bien que le lait d'arachide ne soit pas populaire, il a une teneur élevée en minéraux, protéines, fibres non solubles et acides gras tels que l'acide linoléique, l'acide oléique et les acides phytiques. En outre, les arachides s'avèrent être enrichies en acide p-coumarique qui est connu pour être bénéfique en tant qu'antioxydant (Shori et Zahrani, 2022).

6.7. Le lait de riz

Les boissons au riz sont composées d'eau, de 15 % de riz et d'un peu d'huile de tournesol et de sel. L'huile est destinée à améliorer l'onctuosité, mais elle a peu d'incidence sur leur qualité nutritionnelle puisque l'apport en lipides ne dépasse pas 1 % (Jesus, 2017).

Les boissons au riz ne contiennent pas de protéines. En revanche, elles sont riches en glucides, mais il ne s'agit que de sucres lents, autour de 10 % (à titre de comparaison, le lait de vache contient 5 % de Lactose) (Jesus, 2017). Le lait de riz, très digest, a une action anti diarrhée et un effet calmant et réhydratant (Laurence & Christine 2013) comme montré au tableau 3.

Tableau03 : Valeurs nutritionnelles moyennes comparées des laits de riz et de vache (demi-écrémé) (Laurence & Christine, 2013)

Lait (100ml)	Calories (Kcal)	Protéines(g)	Glucides(g)	Lipides(g)	Calcium (mg)
Lait de riz	58	0,2	10	1	0,1
Lait de vache demi-écrémé	45	3,2	4,8	1,5	125

7) Le lactose

7.1. Structure du lactose

Le lactose est le glucide prédominant du lait, il s'agit d'un disaccharide $C_{12}H_{22}O_{11}$ réducteur spécifique du lait puisque sa synthèse se déroule dans la glande mammaire. (Pougheon et Goursand, 2001).

Le lactose est un disaccharide formé par l'union de deux monosaccharides ; le D-glucose et le D-galactose par un lien glucosidique C1 (β) - C4 (Amiot et al., 2002).

La figure 1 montre la formation du lactose et sa structure (les deux formes cycliques)

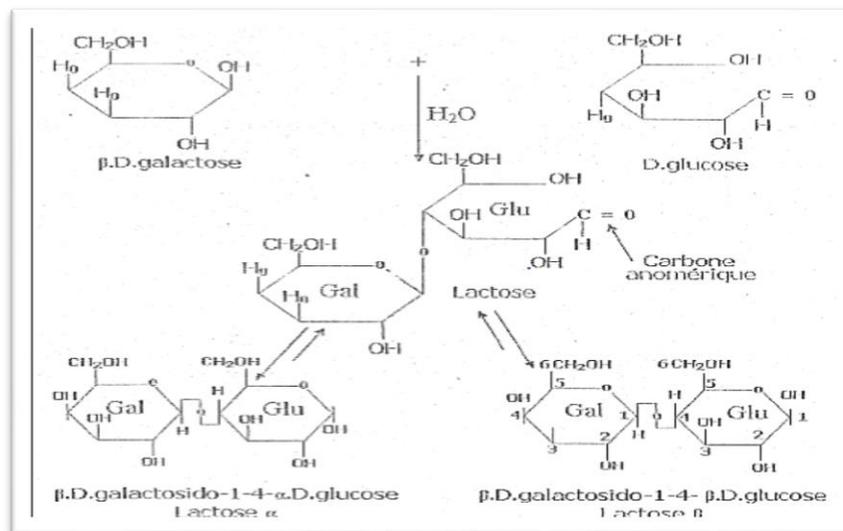


Figure 01 : Formation du lactose et structure cyclique (Amiot et al., 2002)

7.2. L'intolérance au lactose

La présence de lactose mal absorbé dans la lumière intestinale (au niveau du grêle) peut, dans certains cas, provoquer un appel d'eau par effet osmotique, et ainsi accélérer le transit. Au niveau du côlon, le lactose non hydrolysé est métabolisé (fermenté) par a flore bactérienne

colique en AGCC (acides gras à chaînes courtes) et en gaz (principalement hydrogène, dioxyde de carbone, et méthane). Une charge en lactose dépassant la capacité de fermentation du microbiote colique, ou un afflux d'AGCC dépassant la capacité de réabsorption colique, peut être ainsi à l'origine d'une diarrhée (Marie-Christine, 2020).

Le lactose mal absorbé est donc parfois responsable de troubles ayant un impact sur la qualité de vie, on parle alors d'intolérance au lactose. Celle-ci est définie, chez le sujet mal absorbant, par la présence de symptômes après ingestion de lactose, et qui ne se développent pas après un placebo. Ces symptômes peuvent être variés, digestifs et extra-digestifs : ballonnements, gaz, borborygmes, douleurs abdominale, diarrhées, mais aussi constipation, céphalées, etc. (Marie-Christine, 2020).

7.3. Classification de l'intolérance au lactose

D'après Ekleinman et Pennez (2003) Il y a 3 types d'intolérance au lactose.

- ✓ L'intolérance de source congénitale, une condition assez rare causée par une absence de lactase à la naissance.
- ✓ L'intolérance temporaire ou permanente causée par un virus, une bactérie ou une maladie ayant détériorés les capacités digestives.
- ✓ L'intolérance causée par une diminution normale de l'activité de la lactase, ce qui se produit généralement dès la fin de la petite enfance. (liée à l'âge)

7.4. Les symptômes

L'intolérance au lactose se manifeste par un ou plusieurs des symptômes suivants : ballonnements, diarrhée et flatulences, lesquels surviennent après la consommation de lactose. Le lactose, le sucre présent naturellement dans le lait et les produits laitiers, est généralement transformé dans l'intestin par une enzyme, la lactase, en glucose et en galactose, deux sucres simples utilisés par notre corps pour fournir l'énergie et assurer diverses fonctions (Yini et Wgo, 2020)

L'activité de la lactase est élevée pendant la petite enfance et diminue lentement après le sevrage. Chez certains individus, pour lesquels l'activité de la lactase est réduite, le lactose non digéré entre dans le côlon où il est fermenté par le microbiote résiduel (la population de microorganismes qui vit dans le tube digestif). La fermentation bactérienne conduit à la formation de gaz, d'acides lactiques et acétiques, ce qui augmente le temps de transit intestinal

et la pression intra-côlon, ce qui peut entraîner ballonnements, diarrhée et flatulences. (Yini et Wgo, 2020)

La quantité de lactose qui déclenche ces symptômes diffère selon les individus. La plupart des personnes ayant des difficultés à digérer le lactose (maldigestion du lactose) peuvent consommer du lactose dans des produits laitiers en quantité modérée, soit jusqu'à 12 g de lactose en une seule fois, soit jusqu'à 24 g en petites quantités pendant la journée ou à la fin d'un repas, sans ressentir les symptômes décrits précédemment (Yini et Wgo, 2020)

8) La différence entre Malabsorption et intolérance au lactose

La malabsorption du lactose est l'incapacité d'hydrolyse du lactose en glucose et galactose. Elle se caractérise par une absence ou un faible taux de lactase au niveau de l'intestin. Chez certaines personnes avec une malabsorption, le lactose qui ne sera alors pas digéré transitera jusqu'à l'iléon terminal et le côlon où il sera fermenté par les bactéries produisant des métabolites comme des acides gras à chaînes courtes et autres gaz comme le méthane ou l'H₂, représente les différentes relations possibles entre statut génétique, malabsorption et intolérance (Adaptée de Szilagyi, 2019).

Dès que des symptômes cliniques apparaissent suite à la consommation de lactose, on parle alors d'intolérance au lactose. Une production de grande quantité de gaz peut conduire à des ballonnements et crampes intestinales, symptômes caractéristique dans le côlon, le lactose peut également induire un effet osmotique conduisant à un appel d'eau et donc une diarrhée, troisième symptôme caractéristique. Un nombre limité de publications permet d'estimer le nombre d'intolérant au lactose avec des estimations très hétérogènes (Di Stefano M, Brondino et al., 2022).

9) L'intolérance au lactose n'est pas une allergie

L'intolérance au lactose ne doit pas être confondue avec l'allergie aux protéines de lait de vache. Dans l'allergie au lait de vache, le système immunitaire réagit de manière excessive à une ou plusieurs protéines contenues dans le lait de vache comme les caséines et les protéines de lactosérum. Les symptômes comprennent l'urticaire, l'œdème, la nausée et la respiration sifflante, et ils peuvent survenir dans l'heure suivant la consommation de lait de vache et jusqu'à 72 heures après. (Luyt, 2014)

Il est intéressant de noter que la perception subjective de l'intolérance au lactose influence la décision d'éviter la consommation de produits laitiers, même davantage que la malabsorption objective. En outre, selon une étude récente, une auto déclaration d'intolérance

au lactose est également clairement associée à davantage de symptômes et à une moins bonne qualité de vie (Casellas, 2016).

10) Différentes méthodes pour le diagnostic de l'intolérance au lactose

Il existe plusieurs méthodes de diagnostic

Le test respiratoire à l'hydrogène : C'est un test de provocation qui nécessite un appareillage spécifique (chromatographe). Lorsque le lactose est mal absorbé et mal digéré, celui-ci est métabolisé (fermentation) au niveau du colon en AGCC et en gaz (dont l'hydrogène). Après avoir rejoint les poumons via la circulation sanguine, une partie de cet hydrogène est expiré. Le test respiratoire mesure la production d'hydrogène expiré après une charge de lactose et permet donc d'évaluer le lactose mal absorbé. Il convient d'éliminer les faux positifs liés à une éventuelle pullulation microbienne, et les faux négatifs liés, par exemple, à une prise récente d'antibiotiques ou à un défaut de production d'hydrogène (Levitt M, 2013).

Un test respiratoire positif confirme une malabsorption, mais ne peut pas confirmer une intolérance au lactose puisqu'il ne donne pas d'information sur les symptômes. Le test respiratoire positif est donc nécessaire pour faire le diagnostic d'intolérance, mais n'est pas suffisant. L'évaluation des symptômes complète ce test, et est codifiée par un consensus : « Rome Consensus Conference » de 2009. Ce consensus propose l'enregistrement des symptômes (douleurs abdominales, flatulences, ballonnement, diarrhée) durant les 8 h qui suivent le test respiratoire (Rezaie A, 2017)

Le test génétique

Le test génétique est un test biologique qui permet de chercher le génotype d'une personne chez qui on suspecte une intolérance au lactose. Le test génétique porte sur le gène LCT codant pour la lactase et s'intéresse au polymorphisme génétique. Il permet de mettre en évidence un déficit en lactase primaire (Swallow, 2003).

Le test de tolérance au lactose :

Le test de tolérance au lactose mesure l'augmentation de la glycémie (glycémie à jeun et 30 min après ingestion) après une charge de 50 g en lactose. Une digestion normale entraîne une élévation d'au moins 0,18g/L de la glycémie alors qu'une malabsorption entraînera des taux inférieurs (Marteau, 2017).

Chapitre II

II. Généralités sur le pois chiche

1) Généralités sur la plante

Le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) est une plante de la famille des fabacées. C'est une légumineuse de grande importance en Europe, en Afrique du Nord, en Inde et dans les pays du Moyen orient (Iqbal et al., 2006 ; Viveros et al., 2001). Il est cultivé dans les régions méditerranéennes et produit une graine comestible et connue par sa haute teneur en glucides assimilables et son pourcentage élevé en protéines végétales. Il est très parfumé et conserve sa forme à la cuisson (environ 1 heure).ses principaux constituants sont les lipides, les substances azotées, l'amidon, les sucres, les sels minéraux (phosphores, potassium, magnésium, calcium, sodium, silice), l'oxyde de fer, de l'arsenic, de l'asparagine, et les vitamines B et C (Encarta, 2005)

2) Origine

Le pois chiche est probablement originaire du Moyen Orient, plus précisément du Sud-Est de la Turquie et de la Syrie (Saxena, 1984 ; Singh, 1997). Des restes carbonisés découverts au Proche-Orient indiquent que cette espèce était cultivée au VII^{ème} millénaire avant notre ère avec les céréales, le petit pois et la lentille (Vanier, 2005 ; Redden et Berger, 2007).

Le pois chiche est donc plutôt d'origine asiatique, *Cicer arietenum* est une légumineuse buissonnante, de 25 à 50 cm de haut, principalement cultivée en Éthiopie, en Tanzanie, en Ouganda et au Soudan (Nyabgenda, 2006). En Algérie, le pois-chiche a été cultivé avant la colonisation, sauf qu'il a été difficile de le maîtriser (Laumont et Chevassus, 1956 ; Labdi, 1990), mais ces dernières années et après la crise sanitaire des cultures locales commencent à se trouver sur le marché national.

3) Le pois chiche en Algérie

Le pois chiche, l'une des plus importantes légumineuses à graines en Algérie, occupe la deuxième position après la fève-fèverole. La majeure partie des superficies cultivées de cette espèce est concentrée à l'Ouest du pays, particulièrement, dans les régions de Tlemcen et Aïn-Temouchent, qui sont caractérisées par un climat humide à subhumide (MADR, 2014). Cette espèce est cultivée sur une superficie annuelle moyenne de 33 000 ha soit 36,78 % de la superficie des légumineuses à graines. La production est caractérisée par des fluctuations interannuelles, de l'ordre de 351 000 quintaux avec un rendement moyen de 10 q/ha (MADR, 2014)

L'Algérie est un pays considéré gros consommateur de pois chiche, soit 2,2 kg par personne et par an (kali, 2006).

4) Types de cultivars

On compte plus de 20 000 variétés de pois chiche dans le monde, qui se divisent en deux grands types de graines « Desi et Kabuli » :

- ✓ **le type Desi** : il se caractérise par des graines assez petites, ridées, de couleur brune plus ou moins foncée. Surtout cultivé en Asie, ce type de pois chiche représente 85 % de la production indienne. Ce sont des plantes touffues avec des tracts relativement petites et des fleurs, avec des pigments anthocyanes violacés dans leurs tiges et des fleurs bleu-violet, et sont principalement cultivés en Asie du Sud et en Ethiopie.
- ✓ **le type Kabuli** : Ses graines sont moyennes à assez grandes, jusqu'à deux fois la taille d'un pois, moins ridées que le type Desi, de couleur blanc-crème. Ce type est cultivé surtout dans le bassin méditerranéen. Les types Kabuli sont dressés pendant la croissance avec des fleurs blanches (Bejiga et al., 2006). Les figures ci-jointes



Figure 02 : Types du pois chiche Kabuli et Desi.



Figure 03 : (a) : Fleur blanche du pois chiche type Kabuli et (b) fleur violette du pois chiche type Desi.

5) Taxonomie et classification botanique du pois chiche (USDA, 2008)

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta (plantes vasculaires)
Embranchement	Spermatophyta (plantes à graines)
S/ Embranchement	magnoliophyta (Angiospermes, phanérogames ou plantes à fleurs)
Classe	magnoliopsida (ou Dicotylédones)
Sous classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Légumineuses
Genre	Cicier
Espèce	<i>Cicer arietinum L</i>
Nom commun	Pois chiche

6) Intérêt nutritionnel du pois chiches :

Comme toutes les légumineuses, le pois chiche est riche en protéines, en fibres qui ont un impact favorable sur la flore digestive, le transit intestinal et prolongent la satiété ce qui le rend parfait dans le cadre d'un régime minceur. Grâce à sa composition en protéines, en fibres et en glucides (sucres lents), il convient tout particulièrement pour les régimes diabétiques. Il constitue aussi une bonne source de manganèse et de cuivre, qui protègent les cellules d'un vieillissement prématuré, ainsi que de phosphore et de fer. Cependant, le fer issu des végétaux est moins bien utilisé par l'organisme que le fer animal, à moins d'être associé à la vitamine C. Aussi, le pois chiche contient une quantité intéressante de vitamine B9 qui intervient dans le fonctionnement du système nerveux et dont les besoins sont fortement accrus pendant la grossesse (Djaid, 2018), comme le montre le tableau 4.

Tableau 04 : Composition biochimique et minérale moyenne de pois chiche (Mula et al., 2011)

Composition organique (en%)		Composition minérales (en mg/100g)	
Protéines	23	phosphore	340
Amidon	47	calcium	190
Lipides	5	magnésium	140
Fibres grossières	6	fer	7
Sucres solubles	6	zinc	3
Matière minérale	3		

III. Généralités sur le sésame

1) Généralités sur la plante

Le sésame est une plante annuelle aromatique figurant parmi les plus anciennes cultures qu'a connues l'humanité (Honjaya et al., 2021). Il est cultivé principalement dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud. Cette plante est frileuse ; elle ne résiste pas aux gelées et elle a besoin de longs étés chauds qui lui permettent d'aller au bout de son cycle, c'est-à-dire la formation de graines dont le cycle varie de 80 à 180 jours (Rebbas et al., 2020).

La graine a été appelée la «reine des oléagineux» (Gadade et al., 2017) , elle occupe la 9^{ème} place parmi les 13 principales cultures oléagineuses qui représentent 90 % de la production mondiale d'huiles comestibles (Bamigboye et al., 2010)

2) Origine

On ne peut pas retracer avec certitude les origines de sa culture qui varient selon les auteurs ce qui fait l'objet de beaucoup de discussions, pour certains, il serait originaire d'Afrique et principalement d'Afrique australe mais par contre, d'autres auteurs pensent plutôt qu'il serait originaire d'Asie et plus précisément de l'Inde où il s'est différencié en grand nombre de variétés. Néanmoins l'Inde et la Chine ont été les premiers producteurs, approximativement en 2000 avant J.C. l'Inde, la Somalie et l'Érythrée sont des centres principaux de diffusion du sésame, devant l'Asie centrale et la Chine (El Mokni et El Aouni, 2013)

En Algérie, la plante est cultivée dans plusieurs régions telles que Timimoune, Oued Souf et elle a été observée récemment au Sud-Ouest de la wilaya de Bordj Bou Arréridj dans la région de Selatna au bord de la route, à 800 m d'altitude. D'après les enquêtes effectuées auprès des agriculteurs de la région de Selatna la plante n'est pas cultivée dans cette région (Rebbas et al., 2020).

3) Composition biochimique

Le sésame est une plante oléagineuse alimentaire présentant une valeur nutritionnelle élevée, d'après les deux études de Sene et al. (2018) et de Dravie et al. (2020), la teneur de la graine de sésame en minéraux et en nutriments est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau 05 : Teneur en minéraux et en nutriment de la graine de sésame (Dravie, 2020),

Minéraux	Calcium (Ca)	Phosphore (P)	Magnésium (Mg)	Fer (Fe)	Zinc (Zn)
(mg/100g)	973,22	711,17	455,04	10,86	7,88
Nutriments	Protéines	Glucides	Lipides	Fibres	Cendres
%	15,67 ± 0,28	18,44 ± 0,51	56,56 ± 0,62	8,22 ± 0,18	5,48 ± 0,14

IV. Généralités sur le beurre

1) Définition

La dénomination « beurre » est réservée au produit de type émulsion d'eau dans la matière grasse dont les constituants, d'origine laitière, sont obtenus par des procédés physiques. Il doit présenter pour 100 g de produit fini 82 g de matière grasse laitière au minimum, 2 g de matière sèche non grasse au maximum et 16 g d'eau au maximum ». (Mahaut, 2008).

2) Composition du beurre

Le beurre est un corps gras de haute qualité et une très bonne source de vitamine surtout A et D. Sa consommation raisonnable permet à l'organisme de bénéficier d'un ensemble d'acide gras qui se trouve dans les constituants essentiels de la phase grasse. Le tableau 6 résume la composition biochimique pondérale moyenne du beurre.

Tableau 06 : Composition moyenne pour 100 g de beurre (Apfelbaumet al., 2009)

Composants	Valeurs
Energie	3155 K joules, 755 K Calorie
Lipides	83 g dont :
Acides gras saturés	52,6 g
Acides mono-insaturés	23,5 g
Acides gras polyinsaturés	2 g
Protéines	1 g
Glucides	1 g
Eau	15 g
Cholestérol	250 mg
Vitamine A	900 µg à 1 mg
Vitamine D2	5 µg

Chapitre III

V. Programmation linéaire

1) Définition

Un programme linéaire est un modèle d'optimisation mathématique qui a pour objectif de trouver le maximum où le minimum d'une forme linéaire dite fonction objectif en satisfaisant certaines égalités et / ou inégalités dites contraintes (Muller, 2013)

2) Les formes d'un programme linéaire

La forme canonique

Un programme linéaire est dit sous forme canonique si :

a) Les contraintes sont sous forme des inégalités d'infériorités et la fonction objectif est exprimée sous forme de maximisation.

b) Les contraintes sont sous forme des inégalités de supériorité et la fonction objectif est exprimée sous forme de minimisation.

c) Les contraintes sont sous forme des inégalités d'infériorités, des inégalités de supériorités et des égalités, et la fonction objectif est exprimée sous forme de maximisation ou de minimisation.

On peut obtenir la forme canonique pour n'importe quel programme linéaire à travers des transformations des contraintes (Morel, 2005)

La forme standard

Un programme linéaire est dit sous forme standard quand les inégalités représentant les contraintes sont transformées en égalités. Ceci s'effectue par l'introduction des variables d'écarts par type de contraintes (\geq , \leq) et variables artificielles par type de contraintes ($=$). «Un problème est sous la forme standard si seulement si les vraies contraintes sont toutes des égalités ». Les vraies contraintes désignent les contraintes du programme hormis les contraintes logiques, en d'autres termes ce sont les contraintes opérationnelles (Morel, 2005)

Forme matricielle

On appelle un système d'équations linéaires, tout système composé de (m) équations à (n) inconnues devant être vérifiées simultanément et dont l'écriture matricielle est de la forme suivante :

$$\text{Max ou Min } (Z) = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_jX_j + \dots + C_nX_n. \text{ (Guy, 2005)}$$

3) Notions relatives à la programmation linéaire

Le traitement du sujet de la programmation linéaire, nécessite de mettre quelques notions relatives au sujet en exergue. «Les composants essentiels d'un problème d'optimisation sont un ensemble de variables de décision, une fonction objectif des variables à être agrandie ou réduite, et un ensemble de contraintes qui caractérisent les valeurs acceptables des variables » (Yinyu , 1994).

•La fonction économique (fonction objectif)

On doit définir une mesure de performance de l'entreprise en fonction des valeurs prises par les variables de décision. Cette fonction économique devient le critère permettant de choisir parmi les lignes d'actions possibles. «La fonction économique est le nom que nous donnons à la fonction, nous pouvons aussi appeler le critère de fonction de coût ou d'optimisation, c'est cette fonction que l'algorithme d'optimisation va essayer d'optimiser (trouver un optimum)». On appelle fonction économique la fonction qui doit être optimisée (Yann, 2003).

•Les variables d'activité [X_j : $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$]

Ces variables sont appelés les variables de contrôle ou variables instrumentales ou variables de commande ou plus brièvement les commandes du programme. «On représente par (X_j) les variables d'activité du programme linéaire; les variables (X_j) ont une signification concrète (quantités produites, vendues ou transportées, durées, valeurs monétaires, etc.). Ces variables sont toujours positives ou nulles (condition de non-négativité, $X_j \geq 0$ ». L'agent décideur a la capacité d'interpréter ces variables et son choix final sera la valeur (X_j^*) qui optimise la fonction objectif (Bair, 1994)

•Les coefficients de la fonction objectif [C_j : $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_n$] :

On représente par (C_j) le coefficient de la variable [X_j : $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$] de la fonction économique. Dans beaucoup de cas, les coefficients des variables d'activité de la fonction économique représentent les profits ou les coûts associés à une unité des différentes activités. En d'autres termes, c'est la contribution unitaire de la variable correspondante à l'objectif poursuivi par l'entreprise (Bair, 1994).

•Les contraintes d'activité $[a_{ij}x_j] \leq = \geq [b_i]$:

Etant donné que chaque activité consomme une certaine quantité de chacune des ressources, et qu'on ne dispose que d'une quantité limitée de chaque ressource, il y aura des limitations sur les valeurs prises par les variables de décision ; ces limitations seront exprimées par l'intermédiaire de relations exprimant la disponibilité limitée des ressources. On donne à ces relations le nom de contraintes (Bair, 1994)

•Les coefficients techniques $[a_{ij}]$

On représente par (a_{ij}) le coefficient technique associé à la ressource (i) et l'activité numéro (j), il représente une matrice de (i) lignes et de (j) colonnes. « Les coefficients techniques (a_{ij}) représentent la quantité du facteur (i) par produit (j) ». C'est les quantités unitaires nécessaires de chaque ressource pour pouvoir conduire une des activités considérées au niveau unitaire, c'est-à-dire lorsque la variable de décision associée à l'activité en question est égale à un (1). (Hemici, 2007)

•Les ressources disponibles $[b_i : b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_m]$:

On représente par (b_i) les quantités des ressources disponibles et qui limitent l'optimisation de l'objectif poursuivi par l'entreprise. (Hemici, 2007).

4) La résolution graphique

Une méthode de résolution graphique est possible tant qu'il n'y a que deux variables, c'est-à-dire deux aliments, mais dès qu'il y a plus de variables, il faut raisonner dans un espace contenant autant de dimensions qu'il y a de composants pouvant être utilisés (Darmon & Frédérique, 2008)

En pratique, la solution est impossible à trouver sans l'aide d'un ordinateur. Heureusement, des logiciels simples sont actuellement disponibles et permettent de résoudre rapidement ces problèmes en faisant appel à la programmation linéaire. Toutes les contraintes nutritionnelles sont alors prises en compte simultanément, y compris les plus difficiles à respecter. La résolution de ce type de problème fait appel à l'algorithme du simplexe, intégré dans divers logiciels conviviaux, Excel notamment, qui le propose à travers la fonction appelée « solveur » dans le menu déroulant de ses « outils ». (Darmon & Frédérique, 2008).

Les choses deviennent alors très simples : soit une solution existe et elle est disponible après quelques secondes de calcul par la machine, soit le problème est mathématiquement infaisable et l'utilisateur est immédiatement prévenu qu'il n'y a pas de solution au problème qu'il a posé. Dans ce dernier cas, les contraintes infaisables ou incompatibles entre elles lui sont signalées (Darmon & Frédérique, 2008)

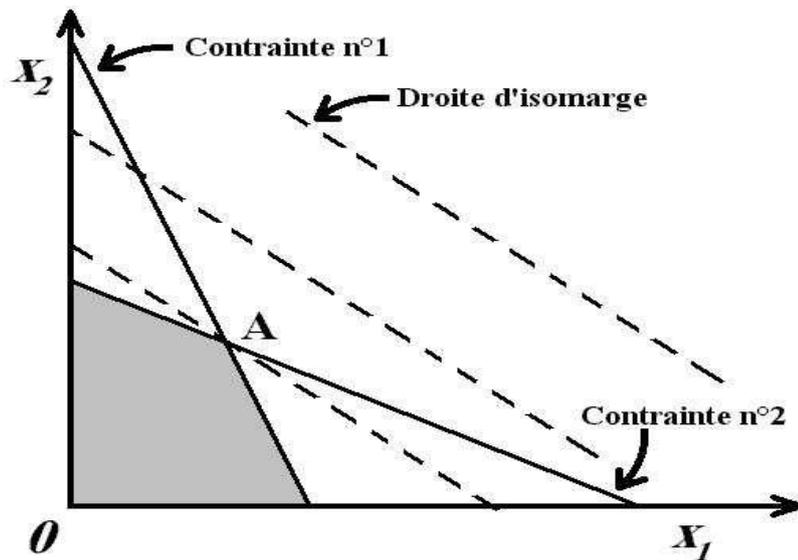


Figure 04 : Résolution graphique d'un programme linéaire (Buda, 2001)

Partie Pratique

Matériels
et
Méthodes

VI. Matériel et méthodes

Dans ce travail un lait végétal à base de pois chiche et de sésame a été préparé, l'objectif étant d'optimiser la recette à l'aide de la programmation linéaire pour que sa composition soit identique à celle du lait de vache, avec quelques différences avantageuses pour le consommateur ciblé.

1) Ingrédients de la formulation

1. Le pois chiche :

Le pois chiche utilisé est acheté du commerce. C'est un pois chiche importé par la société SOS. Le choix a été porté sur cette légumineuse car elle est riche en protéine et en glucide de très bonne qualité, aussi par ce qu'elle rentre en grande partie dans les habitudes alimentaires des algériens.

2. Le sésame :

Le sésame a été choisi pour améliorer le goût d'un côté et pour augmenter le taux de matière grasse car c'est une graine oléagineuse d'un autre côté ; aussi elle est caractérisée par sa richesse en calcium.

3. Beurre :

Le beurre est la matière grasse laitière qui lui donne ses caractéristiques organoleptiques uniques surtout qu'elle contient l'acétaldéhyde qui donne l'odeur agréable au lait. Nous avons choisi un beurre du commerce.

4. Les additifs :

Toute formulation alimentaire contient forcément des additifs qui d'abord sont ajoutés en petite quantité (inférieure à 2% de la formulation) mais qui améliorent d'une façon significative les propriétés organoleptiques, rhéologiques ou la stabilité du produit final. Ceux que nous avons choisis sont comme suit :

4.1. Vanille :

L'arôme utilisé est un arôme de vanille en poudre pour aromatiser le lait végétale et améliorer l'odeur du lait.

Partie pratique

4.2. Le sel :

Le sel utilisé est un sel fin iodé du commerce, produit par l'Entreprise Nationale Algérienne du Sel (**ENASel**). Il aura comme rôle d'améliorer la sapidité de la formulation et d'avoir un effet bactériostatique.

4.3. Emulsifiant :

Les mono et diglycérides et leurs dérivés représentent environ 70 % de la production mondiale d'émulsifiants alimentaires dans l'ensemble (**Moonen, Bas, 2015**), nous nous sommes procuré cet émulsifiant pour stabiliser la phase grasse dans le mélange car c'est une émulsion huile dans l'eau que nous visons à fabriquer.

2) Valeurs nutritionnelles des ingrédients :

Le tableau suivant donne les valeurs nutritionnelles des ingrédients choisis pour nous servir de base pour la programmation linéaire et pour construire les contraintes de la méthode d'optimisation.

Tableau 07 : Valeurs nutritionnelles moyennes des ingrédients choisis pour la formulation.

Pour g/100 g	Protéines	Glucides	Lipides	Calcium
Pois chiche	23	53	5	0,19
sésame	15,5	19	56	1
beurre	1	1	80	0

3) La programmation linéaire

Notre partie expérimentale est articulée autour de deux axes, la fabrication de différentes recettes de lait végétal à base de pois chiche selon la programmation linéaire et en deuxième lieu, l'analyse sensorielle des produits élaborés ce qui assure la détermination de leur qualité organoleptique, et leur acceptabilité en comparaison avec un lait commercial (Candia demi-écrémé).

4) Optimisation et modélisation par la programmation linéaire

Les facteurs sélectionnés sont :

Facteur 01 : pois chiche ; **Facteur 02 :** poudre de sésame, **facteur 03 :** le beurre

Pour les quantités les quantités d'additifs ont été fixés (sel, vanille et émulsifiant).

Partie pratique

Aussi nous aurons besoin de construire une fonction objectif qui sera le guide pour l'optimisation, ici ça sera la composition centésimale d'un lait de vache demi-écrémé.

Tableau 08 : Valeur nutritionnelle du produit objectif (lait de vache demi-écrémé)

Pour 100g de lait	Protéines	Glucides	Lipides	Calcium
Composition « objectif »	3,2	4,5	1,6	0,12

5) Maximisation de la fonction « objectif » :

Nous avons décidé de prendre en considération dans notre optimisation le prix d'un litre de lait végétal en respect au pouvoir d'achat en Algérie et en comparaison au prix des laits végétaux présents dans le commerce. On a décidé de plafonner le litre à 200 DA. Ceci nous permet d'exprimer la fonction « objectif » Z pour le prix comme suit :

$$\text{Optimiser } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 \leq 200 \text{ DA}$$

$$Z = 38 X_1 + 87 X_2 + 255 X_3 + 0,0041 X_4 \leq 200 \text{ DA}$$

Les variables

- X_1 % Pois chiche $C_1 = \text{Coût de } X_1$
- X_2 % P de sésame $C_2 = \text{Coût de } X_2$
- X_3 % Beurre $C_3 = \text{Coût de } X_3$
- X_4 % Eau $C_4 = \text{Coût de } X_4$

Les ressources [B] et les coefficients techniques [A] pour construire les contraintes :

$$B \begin{bmatrix} 3,2 \\ 4,5 \\ 1,6 \\ 0,12 \end{bmatrix} \quad A \begin{bmatrix} 0,23 & 0,155 & 0,01 \\ 0,53 & 0,19 & 0,01 \\ 0,05 & 0,56 & 0,80 \\ 0,0019 & 0,01 & 0 \end{bmatrix}$$

Les fonctions contraintes : elles sont construites sur la base de la composition du lait visée

$$\left. \begin{array}{l} \text{Protéines : } 0,23x_1 + 0,155x_2 + 0,01x_3 \geq 3,2 \\ \text{Glucides : } 0,53x_1 + 0,19x_2 + 0,01x_3 \geq 4,5 \\ \text{Lipides : } 0,05x_1 + 0,56x_2 + 0,80x_3 \geq 1,6 \\ \text{Calcium } 0,0019x_1 + 0,01x_2 + 0x_3 \geq 0,12 \end{array} \right\}$$

Partie pratique

Conditions de positivité :

$$\left. \begin{array}{l} x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_3 \geq 0 \\ x_4 \geq 0 \end{array} \right\}$$

Le choix de la formulation acceptée pour la suite de notre démarche expérimentale est fixé sur la base de la valeur nutritionnelle par le solveur (Excel).

Figure 05 : Recette optimisée par le solveur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		variables	CONTRAINTES DE POSITIVITE										
3	X1 (pois chiche)	3,0											
4	X2 (sésame)	11,4											
5	X3 (beurre)	0,0											
6	X4 (eau)	85,6											
7													
8	FONCTION OBJECTIF		prix en DA/100g		prix pour 1Litre		prix d'un emballage tetra pac		prix des additifs		prix du produit final		
9	Z	11	200		111		15		11,6		137		
10													
11	CONTRAINTES												
12	1ère contrainte protéine	2,5	3,2										
13	2ème contrainte glucide	3,8	4,5										
14	3ème contrainte lipides	6,6	1,6										
15	4ème contrainte Ca	0,12	0,12										
16	5ème contrainte eau	86,0	86										
17	6ème contrainte	100,0	100										

6) Matériel biologique utilisé :

Le matériel biologique utilisé comporte les 3 ingrédients principaux nécessaires à la préparation du lait végétal. Le tableau résume la quantité de ces matières (Tableau09)

Tableau 09 : Synthèse des scénarios de la formulation proposée par le solveur

	Valeurs actuelles	formulation
Cellules variables des variables %		
Pois chiche	3	6,7
Sésame	11,4	10,7
Beurre	0	0
Eau	86	86
Cellules résultantes (valeur nutritionnelle)		
Fonction objectif (% MS)	11	11
Protéines %	2,5	2,5
Glucides %	3,8	3,8
Lipides %	6,6	6,6
Calcium %	0,12	0,12
Prix d'un litre de produit final ingrédient et emballage tétra pack :		137 DA

Partie pratique

Les photos de ces matières sont données par les figures



Figure 06 : sésame utilisé



Figure 07 : pois chiche utilisé
(type Kabuli)

7) Réalisation des Formulations :

Matériels utilisés :

- Un mixeur
- Un broyeur Ikea
- Béchers
- Balance analytique
- Eprouvettes de 250ml
- Gants de cuisine
- Tissu en coton filtrant

8) Préparation des échantillons

Les échantillons ont été préparés selon le protocole suivant :

Les pois chiche sont pesés dans une balance puis placés dans un récipient et trempés dans de l'eau pendant 24 heures, ensuite elles subissent une cuisson pour enlever le gout amer. Après récupération on repese pour déterminer la quantité d'eau absorbée.

On mélange le pois chiche cuit et la poudre de sésame avec la quantité d'eau nécessaire dans un mixeur. On répète l'opération plusieurs fois jusqu'à la solubilisation des composés nutritifs. Après homogénéisation de la solution précédente, on ajoute la vanille (1 g), le sel (0,2g), et l'émulsifiant (0,2g). Le tout est mélangé vigoureusement. Le lait est ensuite obtenu par filtration à l'aide d'un tissu de mousseline propre pour éliminer les particules solides.

Partie pratique

Le diagramme de la préparation est détaillé dans la figure ci-après. Un autre schéma explicatif et illustré est donné par la figure suivante :

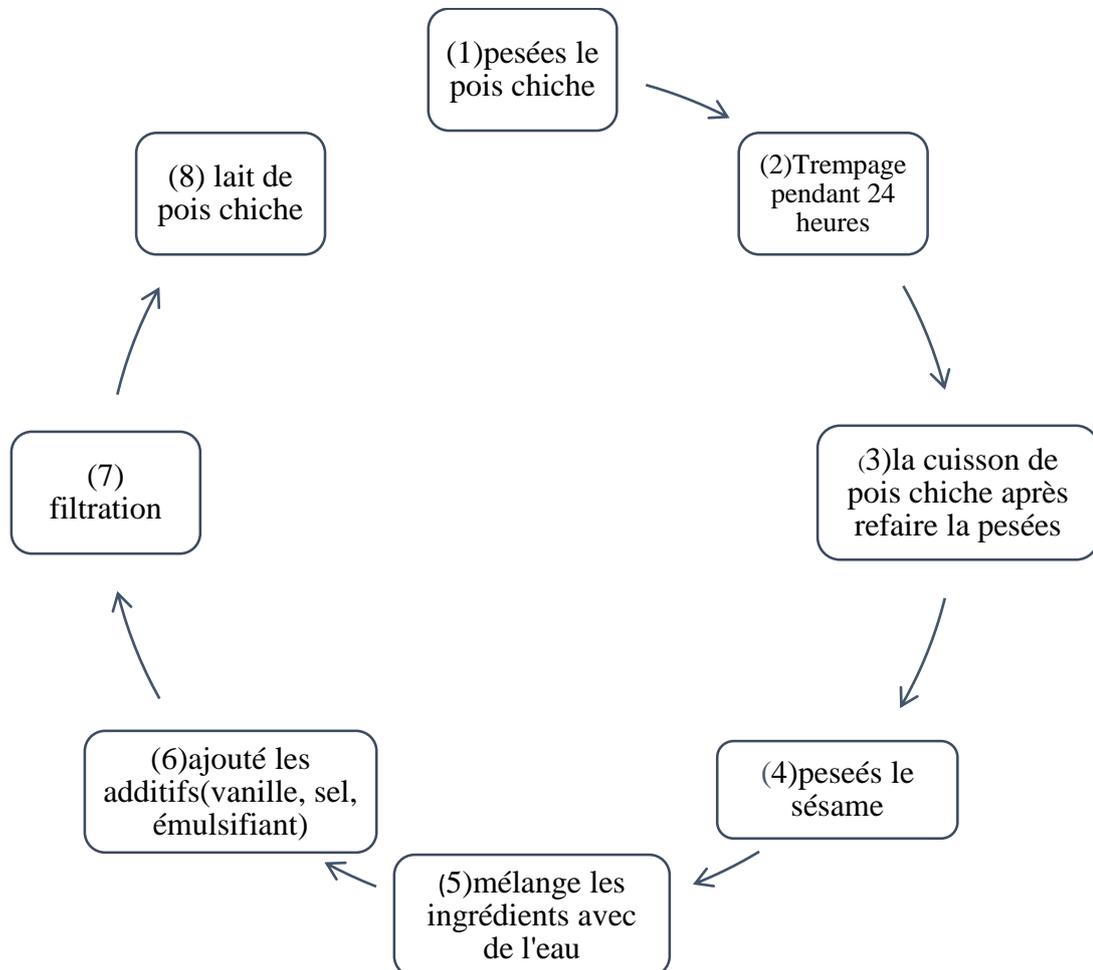


Figure 08 : Diagramme de préparation du lait de pois chiche

Partie pratique

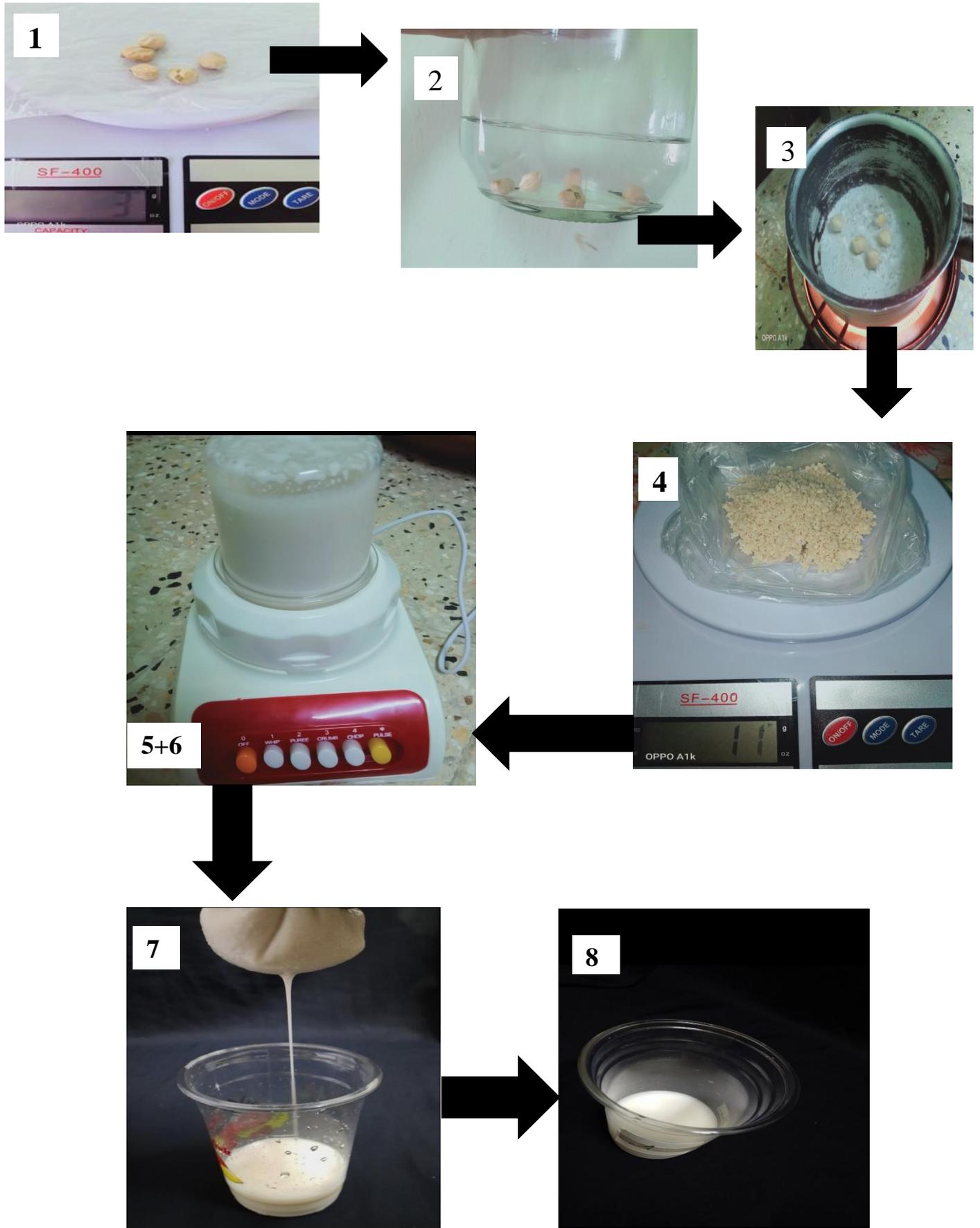


Figure 09 : Schéma explicatif représentant la méthode de préparation du lait de pois chiche

Partie pratique

Le produit obtenu est représenté dans la figure ci-dessous

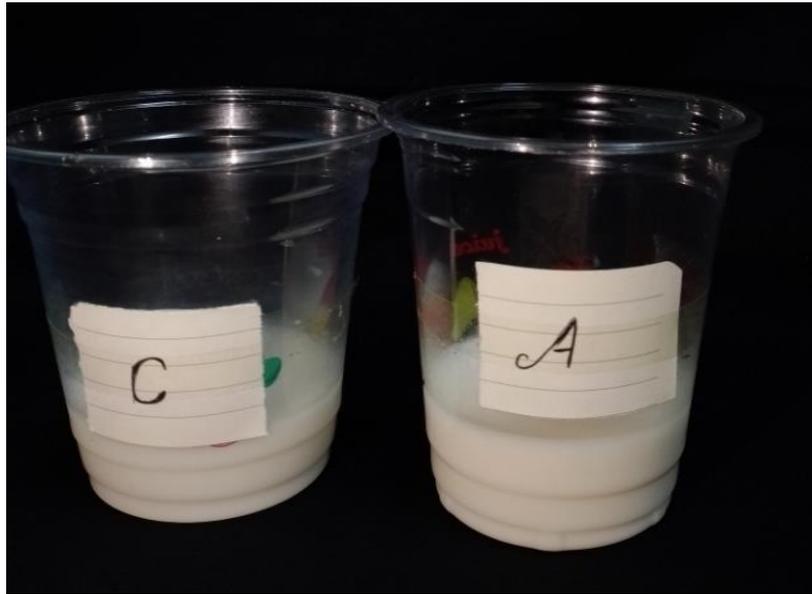


Figure 10 : Lait végétal réalisé issu de la formulation

Une fois le travail terminé, des analyses physico-chimiques sont effectuées pour chaque Préparation ainsi qu'une évaluation sensorielle afin d'évaluer les propriétés organoleptiques de ce produit.

9) Contrôle de qualité du lait végétal :

9.1) Analyses physico-chimiques :

Les analyses sont effectuées sur le lait de pois chiche.

1. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH):

➤ Principe :

La mesure du pH se fait par un pH-mètre muni d'une électrode en verre. Elle est basée sur une réaction mettant en jeu les ions H^+ libres d'une solution.

➤ Mode opératoire :

- ✓ Étalonner le pH mètre avec deux solutions tampons, l'une à $pH=7$ et l'autre à $pH = 4$.
- ✓ Remplir l'échantillon à analyser dans un bécher et ramené le à une température avoisinante de $20^{\circ}C$.
- ✓ Rincer la sonde de pH-mètre avec de l'eau distillée et sécher avec du papier absorbant sans contact direct.
 - ✓ Plonger la sonde de température et l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon à Analyser.

Partie pratique

➤ **Expression des résultats :**

La valeur du PH de la solution analysée est directement lue sur le cadran du PH-mètre et exprimée avec deux chiffres après la virgule (figure11)



Figure 11 : Détermination du potentiel hydrogène des formulations

2. Détermination de la viscosité :

➤ **Principe :**

Le viscosimètre détermine la viscosité d'un fluide à partir de la déformation exercée sur un ressort créé par la rotation d'un disque dans ce fluide. La plage de mesure du viscosimètre est déterminée par la vitesse de rotation du disque, la dimension et la forme du disque, le contenant dans lequel le disque tourne et le couple du ressort

➤ **Mode opératoire :**

- ✓ Prendre l'échantillon (le lait formulé).
- ✓ Mettre la quantité suffisante pour chaque échantillon dans un bécher de telle manière que l'hélice soit immergée dans le produit.
- ✓ Choisir l'hélice convenable pour le produit.
- ✓ Faire régler la vitesse nécessaire pour que l'échantillon puisse tourner.
- ✓ Laisser tourner presque 5 min puis lire la valeur.

➤ **Expression des résultats :**

La valeur de la viscosité de solution analysée est directement lue sur le cadran du viscosimètre (figure12).



Figure 12 : Détermination de la viscosité par Le viscosimètre

10) Evaluation sensorielle :

La qualité organoleptique est un facteur d'acceptabilité des produits par le consommateur sans passer par les analyses physiques ou chimiques, elle est surtout appréciée par les organes de sens. La couleur, l'odeur, le goût, la texture et l'arrière-goût sont des facteurs de l'appétence de l'aliment. L'appréciation de la qualité organoleptique d'une boisson présente un grand intérêt du fait qu'elle nous informe sur l'état du produit et le degré d'altération au cours de la conservation. La méthode utilisée de l'appréciation sensorielle c'est le Test de Friedman.

11) Test organoleptique (Test de Friedman)

Le test de Friedman (Friedman, 1937, 1940) est un équivalent non paramétrique de l'ANOVA (l'analyse de variance qui permet de tester la différence entre les moyennes de plusieurs sous-groupes d'une variable) à mesures répétées. Il classe les algorithmes pour chaque ensemble de données séparément. L'algorithme le plus performant a le rang 1, le deuxième meilleur a le rang 2, etc.

L'analyse sensorielle a été effectuée sur deux échantillons d'un lait végétal à base de pois chiche et un échantillon d'un lait commercial. Le test a porté sur cinq critères (odeur, couleur, texture, goût, arrière-goût).

Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le test de Friedman basé sur le calcul suivant :

Partie pratique

$$F_r = \frac{12}{nk(k+1)} \left(\sum_{j=1}^k R_j^2 \right) - 3n(k+1)$$

Avec :

F : facteur de Friedman calculé.

n : nombre des sujets (dégustateurs).

K : nombre de produit.

ΣR^2 : somme des rangs calculés à partir des scores donnée aux produits par (n) sujets.

La constante F doit être comparé à L qui est la statistique du test (valeur théorique).

L : est lu sur la table de X^2 à un degré de liberté de (n-1) et une probabilité de 5%.

- ✓ Si **F < L** : les produits sont perçus comme étant significativement identiques.
- ✓ Si **F > L** : les produits sont perçus comme étant significativement différents.

Quand **F > L**, on poursuit les calculs par la comparaison entre les couples d'échantillons pour déterminer qui sont différents entre eux. Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des somme des rangs, la plus petite différence significative est égal à :

$$\delta = z * \sqrt{n * k(k+1)/6}$$

Avec Z la valeur lue dans la table gaussienne d'après le calcul de σ , ce dernier est calculé comme suit :

$$\sigma = \frac{2 * \alpha}{k * (k - 1)}$$

- ✓ Si **$|R_i - R_j| > \delta$** les produit i et j sont perçus comme étant significativement différents.
- ✓ Si **$|R_i - R_j| < \delta$** les produit i et j sont perçus comme étant significativement identique.

12) Mode opératoire :

L'évaluation consiste à présenter 3 bouteilles de lait, une bouteille de lait de pois chiche (A), bouteille de lait Candia (B), bouteille de lait de pois chiche (C). À 40 dégustateurs 07 masculins et 33 féminins âgés de 20 ans à 50 ans, au niveau de l'université. Le dégustateur est invité à écrire ces impressions sensorielles sur la boisson en remplissant le tableau en Annexe 1 (fiche de dégustation).

Partie pratique

Les quantités servies aux sujets sont suffisantes pour leur permettre de déguster autant de fois qu'ils le désirent avec possibilité de rincer la bouche avec de l'eau après chaque dégustation. Les dégustateurs ne doivent pas avoir ni faim, ni soif, ni être malades. Ils ne doivent pas avoir consommé des aliments à parfum fort avant l'analyse et ne doivent pas fumer avant ou durant la dégustation.

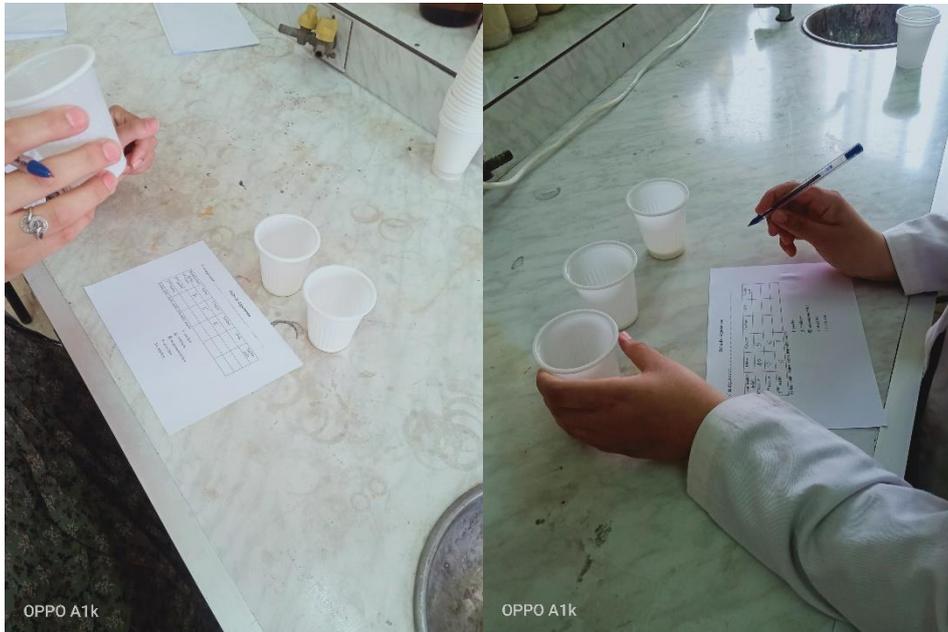


Figure 13 : Déroulement du test de dégustation

Résultats et Discussion

VII. Résultats et discussions :

1) Résultats des analyses :

Les analyses effectuées pour deux boissons A et C sont résumés dans le tableau

Tableau 10 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux boissons

Paramètre analysé	pH	La viscosité (mPa.s)
Boisson A		
Mesure 1	7,00	37,0
Mesure 2	7,10	37,2
Mesure 3	7,15	37,4
Moyenne $\pm\sigma$	7,08 \pm 0,1250	37,2 \pm 0,005
Boisson C		
Mesure 1	6,89	21,6
Mesure 2	7,18	21,9
Mesure 3	7,12	22,2
Moyenne $\pm\sigma$	7,06 \pm 0,153	21,9 \pm 0,3

1.1. pH :

Les valeurs obtenues pour les deux boissons montrent que le produit est proche de la neutralité. Elles sont respectivement en moyenne de 7,08 pour la boisson (A) et de 7,06 pour la (C).

En comparant les valeurs moyennes obtenues de ces deux laits avec les normes pour le lait (Candia), qui sont entre 6,6 et 6,9 (Benkhelifa et al., 2019), on pourrait dire que le pH du lait de pois chiche préparé est comparable au lait commercialisé (Candia).

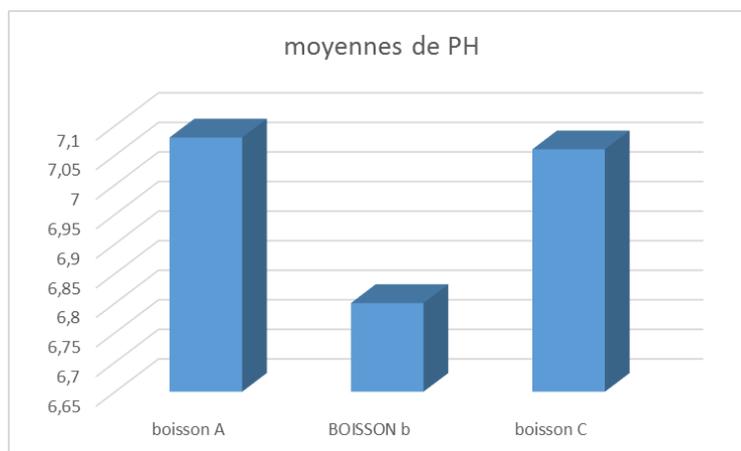


Figure 14 : Moyennes des pH de chaque boisson testée

Partie pratique

1.2. La viscosité :

Les valeurs obtenues pour les deux boissons montrent que le produit A est le plus visqueux. Elles sont respectivement de 37,0 mPa.s pour la boisson (A) et de 21,6 mPa.s pour la (C). On remarque ici que les deux formulations sont légèrement différentes par rapport à celle du lait bovin entier qui est généralement de 31 mPa.s.

2) Résultats du test organoleptique

Les résultats des classements des différents critères étudiés ainsi que la somme des rangs par produit de l'ensemble des sujets ont été déterminés (**Annexe 1**). Pour l'interprétation des résultats obtenus nous avons utilisé le test de Friedman basé sur le calcul de F.

Tableau 11 : Somme des rangs pour chaque critère et chaque produit.

	Odeur			couleur			texture			Goût			Arrière-goût		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
R	83,5	76,5	78	89	70,5	80,5	87	69,5	80,5	93	68	79	95,5	61,5	96,5
R ²	191,75	166,25	168,5	208	138,25	173,25	202	137,25	173,75	230	134,5	175	237,25	107,75	408,75

Le produit le mieux apprécié est celui avec la somme des rangs la plus petite, dans notre cas :

- Odeur : B (Candia)
- Couleur : B (Candia)
- Texture : B (Candia)
- Goût : B (Candia)
- Arrière-goût : B (Candia)

a. Les calculs

$$F_r = \frac{12}{nk(k+1)} \left(\sum_{j=1}^k R_j^2 \right) - 3n(k+1)$$

Partie pratique

Nombre de produits (k)	Nombre de sujets (n)	L lue sur la table X^2
3	40	5,99

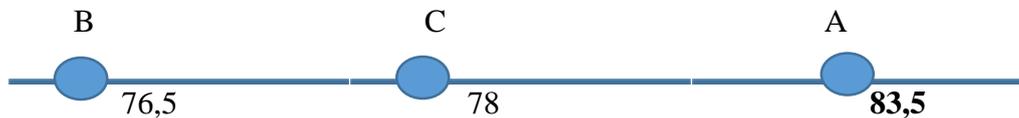
Tableau 12 : Paramètres statistiques pour le test de Friedman

	Odeur	couleur	texture	Goût	Arrière-goût
F	0	4,28	0	7,58	75,37
L	5,99				
α	0,05				
σ	1,66				
Z	0,9515				
δ	8,51				

i. Critère odeur

$$F_{\text{cal}} = 0 \quad F_{\text{cal}} < L_{\text{thé}}$$

Pour le critère odeur ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement identiques. On obtient le classement suivant :

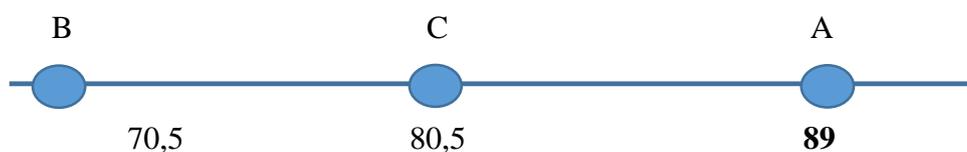


La formulation **B** est la plus appréciée par les dégustateurs, suivis de **C** et de **A** mais sans être significativement différentes.

ii. Critère couleur :

$$F_{\text{cal}} = 4,28 \quad F_{\text{cal}} < L_{\text{thé}}$$

Pour le critère couleur ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement identiques aussi. On obtient le classement suivant :



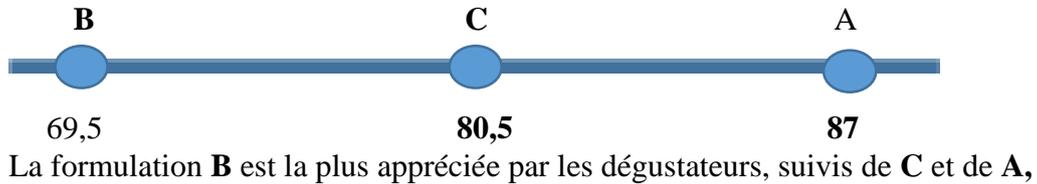
La formulation **B** est la plus appréciée par les dégustateurs, suivis de **C** et de **A**,

Partie pratique

iii. Critère texture

$$F_{cale} = 0 \quad F_{cale} < L_{thé}$$

Pour le critère texture $F_{cale} > L_{thé}$ ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement identiques, On obtient le classement suivant :



iv. Critère goût

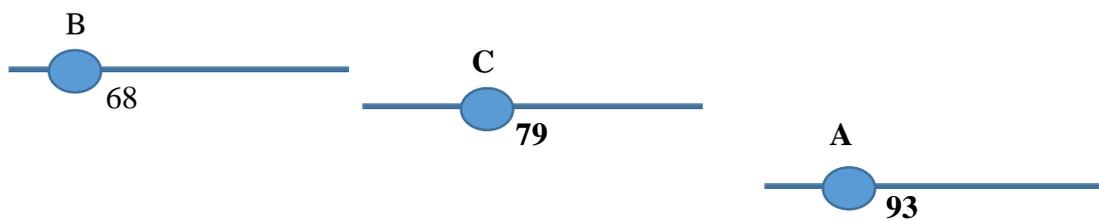
$$F_{cal} = 7,58 \quad F_{cal} > L_{thé}$$

Pour le critère goût $F_{cale} > L_{thé}$ ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement différents, Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

Tableau 13 : Résultats de la comparaison des formulations pour le critère goût

$R_i - R_{jt}$	Valeur	Par rapport à δ	Remarque
$R_A - R_B$	25	>	significativement différents
$R_A - R_C$	14	>	significativement différents
$R_B - R_C$	11	>	significativement différents

On obtient le classement suivant :



v. Critère arrière-goût

$$F_{cal} = 75,37 \quad F_{cal} > L_{thé}$$

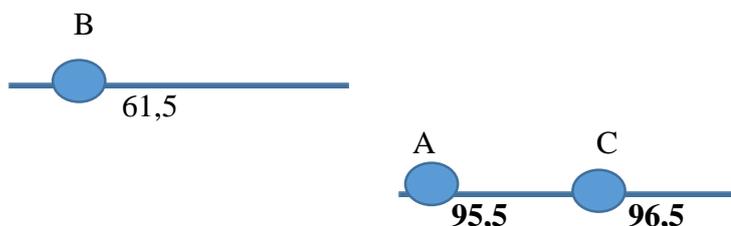
Pour le critère arrière-goût $F_{cale} > L_{thé}$ ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement différents, Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

Partie pratique

Tableau 14 : Résultats de la comparaison des formulations pour le critère arrière-goût

$R_i - R_{jt}$	Valeur	Par rapport à δ	Remarque
$R_A - R_B$	36	>	significativement différents
$R_A - R_C$	1	<	significativement identiques
$R_B - R_C$	35	>	significativement différents

On obtient le classement suivant :



La formulation **B** est la plus appréciée par les dégustateurs, suivis de **C** et de **A** qui présentent le même arrière-goût car ils sont significativement identiques.

Conclusion du test : par comparaison à un produit commercial, nos produits sont moins appréciés car ils sont différents, mais les formulations à base de pois chiche ont trouvé une acceptabilité en tout point de vue, La recette **C** est la mieux appréciée des deux formulations (3g de pois chiche, 10,4g de sésame, 1g vanille, 86 ml d'eau).

Tableau 15 : Valeur nutritionnelle et valeur énergétique de la formulation retenue « C »

	Protéines	Glucides	lipides	calcium	Valeur énergétique (kcal)
3 g de pois chiche cuit	0,267 g	0,822	0,09g	0,0147	4,92kcal
10,4 g de sésame	1,612	1,976	5,824	0,104	66,352kcal
1 g vanille	0,0243	0,127	0,0323	0	1,01kcal
100 g Produit	1,90g	2,925g	5,946	0,118g	72,28kcal

Partie pratique

Tableau 16 : Comparaison de la valeur nutritionnelle entre la formule et le produit commerciale B « pour 100 ml»

	Protéines	Glucides	lipides	calcium	Valeur énergétique (kcal)
Le lait de pois chiche « C »	1,90g	2,925g	5,946g	0,118g	72,28 kcal
Produit commercial (Candia)	3,2g	4,8g	1,6g	1,2g	46 kcal

La formulation C est clairement moins riche en protéines et en glucides et plus riche en matière grasse issue du sésame, c'est pour cette raison qu'elle est plus calorique, mais offre l'avantage de ne pas contenir ni de caséine, ni de lactose, donc adaptée à la population visée par ce travail.

3) Stabilité des formulations

On laisse les deux produits A et C pour suivre les différentes transformations pendant une semaine,

On remarque :

- ✓ Une flottabilité dans les deux produits (séparation de phase)
- ✓ Un changement d'odeur et de goût dans les deux produits (fermentation)

Les changements sont montrés dans la figure ci-dessous :



Figure 15 : Phénomène de flottabilité (A et C)

4) Proposition d'amélioration de la formule :

En raison de la flottabilité dans les deux produit A et C on propose de rajouter un émulsifiant qui permet de créer une émulsion stable ainsi que la conservation dans des emballages tétra pack après un flash pasteurisation. Aussi nous recommandons que le produit doit se boire froid, car la viscosité augmente significativement avec le chauffage, car les protéines du pois chiche ont un très grand potentiel de gonflement.

Conclusion
et
Perspectives

Conclusion :

L'objectif de cette étude consistait à expérimenter une formulation d'un lait végétal pouvant faire face à une situation très répandue et qui est l'intolérance au lactose. Ce produit pourras éventuellement apporter une valeur ajoutée en tant que : Valeur nutritionnelle et énergétique proche du produit industriel sans lactose a un prix à la portée des bourses algériennes.

Ce qui permettra aux personnes souffrant d'une allergie au lactose de bénéficier d'un produit comportant les mêmes caractéristiques que le lait de vache sans ses effets néfastes.

L'acceptabilité de ces préparations a été ensuite testée par une analyse sensorielle et comparée à un produit industriel. Le test est effectué sur cinq critères (odeur, couleur, texture, goût, arrière-goût) par 40 dégustateurs non entraînés.

Consommés au quotidien (pour les intolérances au lactose), les laits végétaux sont devenus une véritable sensation et se sont inscrits comme une tendance nutritionnelle. Un grand nombre de consommateurs se laissent de plus en plus séduire par leurs atouts santé et surtout par l'absence de lactose et de protéines indigestes telles que la caséine. Ce n'est pas un secret que les boissons végétales sont extrêmement gourmandes et qu'elles offrent une large gamme de saveurs.

Ceci apportera à la fois une solution à une situation de santé publique, mais aussi une innovation pouvant apporter un plus à une dynamique économique. Innovante, et porteuse de valeur ajoutée avérée.

Cette étude a donc contribué à promouvoir un nouveau produit végétal comme l'un des concurrents des produits traditionnels sur le marché en tant que produit purement local, Une des motivations qui nous a poussés à choisir ce sujet était la curiosité et la découverte, d'autant plus que c'est un sujet d'actualité, ceci d'une part, et d'autre part, il est marginalisé, outre les horizons nouveaux qu'il apporte. De plus, l'importance d'inclure et d'ajouter le produit sur le marché en raison du manque de lait animal et l'importance d'utiliser le lait végétal dans le domaine alimentaire, économique et commercial est l'une des raisons qui peuvent nous motiver de fabriquer ce genre de produits.

Parmi les autres laits végétaux, le lait de pois chiche constitue une très bonne alternative au lait de vache, car il est très intéressant d'un point de vue nutritionnel. Sans lactose, sans cholestérol, le lait de pois chiche est une bonne source de protéines digestes.

Conclusion et perspectives

À l'inverse des autres laits végétaux, le lait de pois chiche n'a pas vraiment de goût. (Bien qu'il soit très nutritif et très équilibré), Il est donc facilement personnalisable selon ses goûts et préférences. Il suffit d'ajouter d'autres produits comme nous l'avons fait dans notre cas où on l'a supplémenté avec du sésame et un arôme vanille.

Quant à la programmation linéaire PL, nous pouvons attester la pertinence de cet outil et son efficacité, son apport comme outil aidant à optimiser la composition nutritionnelle dans la formulation des produits alimentaires.

Notons tout de même la présence d'un déséquilibre apparent dans les ingrédients ce qui n'a pas eu un impact majeur sur le processus. Il est à relever aussi que la lacune de cette méthode est le fait qu'elle ne peut pas prévoir le comportement rhéologique de ces compositions et leur stabilité temporelle, Par voie de conséquence c'est une méthode qui ne peut optimiser que les constituants, le dosage des additifs devra être optimisé à part.

Perspectives :

En termes de perspectives et dans le but de compléter ce travail dans l'avenir, il serait intéressant de :

- ✓ l'ajout d'un émulsifiant adéquat dans le but d'éviter la flottabilité des produits.
- ✓ l'amélioration du goût et de l'odeur.
- ✓ La réalisation des analyses nutritionnelles plus poussées.
- ✓ La réalisation d'un flash pasteurisation ne dépassant pas les 10 secondes et le suivi des changements de ses propriétés rhéologiques.
- ✓ L'étude de la stabilité du produit dans son emballage tétra pack.
- ✓ La détermination des conditions d'utilisation et de la DLC de la formulation (conservation au frais, et éviter de chauffer le produit. etc.)

Le lait végétal fait maison contient la grande majorité des nutriments, tandis que l'industriel, qu'il soit biologique ou conventionnelle, perd jusqu'à 50 % de ses propriétés. C'est pour cela qu'il faut encourager la production traditionnelle et travailler sur les procédés de conservation pour augmenter la durée de conservation, ou bien choisir des modes de productions industrielles respectueuses du produit.

Références bibliographique

Références bibliographiques

Alem, C., & Amri, A. (2005). Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 4(1), 20-31.

Amiot, J., Fondation de technologie laitière du Québec, & Lapointe-Vignola, C. (2002). *Science et technologie du lait: transformation du lait*: Presses internationales Polytechnique.

Amiot, J., Fournier, S., Lebeuf, Y., Paquin, P., & Simpson, R. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. *Science et technologie du lait*, 1-74.

Apfelbaum, M., Romon-Rousseaux, M., Romon, M., & Dubus, M. (2009). *Diététique et nutrition*: (DEPRECIATED).

Aubry, J. M. (2015). Enseigner la formulation chimique. *Vangelis Antzoulatos*.

Bejiga, G., & Van der Maesen, L. (2006). *Cicer arietinum L. Plant resources of tropical Africa*, 1, 42-46.

Ben Chabane Asma-Boumendjel Lamiss, S. M. (2019). Qualité bactériologique et physico-chimique du lait cru et impact sanitaire «cas de la Wilaya de Guelma».

Berk, Z. (1993). *Technologie de production de farines alimentaires et de produits protéiques issus du soja* (Vol. 97): Food & Agriculture Org.

Boultif, L., & Mekroud, A. (2015). Détection et quantification des résidus de terramycine Et de pénicilline dans le lait de vache Par chromatographie liquide haute performance.

Casellas, F., Aparici, A., Pérez, M. J., & Rodriguez, P. (2016). Perception of lactose intolerance impairs health-related quality of life. *European journal of clinical nutrition*.

Ceylan, M., & Ayse Ozer, E. (2020). Almond Milk: Preparation, Chemical, Fatty Acids, Mineral, Total Phenolic Compositions and Antioxidant Activity. *International Journal of Scientific and Technological Research University of Iğdir, Department of Food Engineering, Iğdir, Turkey, Vol.6(No.8)*, DOI: 10.7176/JSTR/7176-7108-7111.

Cossut, J., Defrenne, B., Desmedt, C., Ferroul, S., Garnet, S., Roelstraete, L., . . . Vidal, D. (2002). Les corps gras: Entre tradition et modernité. *Projet du DESS QUALIMAPA, Université des Sciences et Technologies de Lille, France*.

Dainese-Plichon, Schneider, Piche, & Hébuterne, X. (2014). Malabsorption et intolérance au lactose chez l'adulte. *Nutrition Clinique et Métabolisme*(28(1)), 46-51.

Darmon, N., & Frédérique, M. (2008). *Cahiers de nutrition et de diététique, un outil à découvrir en nutrition humaine : la programmation linéaire*.

De la Héronnière. (2017). Tout ce qu'il faut savoir sur le lait d'amande

Di Stefano, M., Brondino, N., Bonaso, V., Miceli, E., Lapia, F., Grandi, G., & et al. (2022). The perception of lactose-related symptoms of patients with lactose malabsorption. *Int J Environ Res Public Health*, 19(16).

Références bibliographiques

Djaid, B. (2018). Etude comparative de la composition physico-chimique d'une variété de pois chiche issue de la nouvelle récolte (Flip 90) et d'une variété commercialisée.

Dupont, C. (1995). Allergie aux protéines du lait de vache ou intolérance au lactose ? *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 35(3). doi: 10.1016/s0335-7457(05)80517-9

Ekleinman, R., & Pennez, F. (2003). L'alimentation et l'intolérance au lactose, causes, conseils, from <http://www.swissmilk.ch/F/alimentation/soin/alergie/intolérance/pc.dijon.Fr/pedugo/99reu.B.html>.

El Mokni, R., & El Aouni, M. H. (2013). Le sésame, *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae) une adventice récemment naturalisée en Tunisie. *Poiretia, La revue naturaliste du Maghreb*(5), 6-14.

Gasbarrini, A., Corazza, G., Gasbarrini, G., & et al. (2009). *Methodology and indications of H2- breath testing ingastrointestinal diseases*. Paper presented at the 1st Rome H2-Breath Testing Consensus Conference Working Group.

Geetanjali, S., Sunidhi Rishika, V., & Katoch, h. (2021). Comparison of dairy milk with vegan milk of different types available in India. *The Pharma Innovation Journal*, SP-10(11), 24-29.

Ghalloum Amina, M. S. (2016). *L'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quatre variétés de pois chiche (Cicer arietinum L.)*. Master, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie

Ghaoues, S. (2011). *Evaluation de la qualité physico-chimique et organoleptique de cinq marques de laits reconstitués partiellement écrémés commercialisés dans l'est Algérien*. Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister, Constantine.

Guy, P., & Mafouta, B. (2005). *mathématiques pour l'économie, méthodes et exercices corrigés*. paris éditions De boeckp.

Halbert Gavin, W. *Preformulation, in Modern pharmaceuticals*.

Ibrahim, & Gyawali, R. (2013). Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health (pp. 246-260).

Iqbal, A., Ateeq, N., Khalil, I. A., Perveen, S., & Saleemullah. (2006). Physicochemical characteristics and amino acid profile of chickpea cultivars grown in Pakistan foodservice. *17*, 94-101.

Kabir, A. (2015). *Contrainte de la production laitière en Algérie et évaluation de la qualité du lait dans l'industrie laitière (constat et perspective)*. Thèse de doctorat, Université Ahmed ben bella, Oran

Kali, M. (2006, 17 décembre 2006). Aquarhiz au secoure des légumineuses, *Journal El Watan*, pp. 1-2.

Kalonji, M. (2000). Cours inédit de phytopharmacie dispensé en graduation. *Unikin facagro*.

Références bibliographiques

Laumont, P., & Chevassus, A. (1956). *Note sur l'amélioration du pois chiche en Algérie*. Alger Maison-carrée.

Lavrenko, S., Lavrenko, N., Kazanok, O., Karashchuk, G., Kozychar, M., Podakov, Y., & Sakun, A. (2019). Chickpea yields and water use efficiency depending on cultivation technology elements and irrigation.

Levitt, M., Wilt, T., & Shaukat, A. (2013). Clinical implications of lactose malabsorption versus lactose intolerance. *J Clin Gastroenterol* (47), 471-480.

Lévy-Dutel, L., & Virbel-Alons, C. (2013). *Laits animaux et végétaux*.

Luyt, D., Ball, H., Makwana, N., & et al. (2014). BSACI guideline for the diagnosis and management of cow's milk allergy. *Clin Exp Allergy*(44), 642-672.

MADR. (2014). Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Mahaut, M., Romain, J., Brule, G., & Pierre, S. (2008). *Les produits industriels laitiers*. Paris.

Malumba Kamba, P. (2001). Une approche programmatique dans la formulation conceptuelle des aliments complets pour volailles.

Marteau, P., & Olivier, S. (1 déc 2017). L'intolérance au lactose. *Cah Nutr Diététique*, 52, S13 18.

Mayer, N. (2018). Lait animal, lait végétal : quelles différences ? . *Futura Retrieved*,(<http://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/nutrition-lait-animal-lait-vegetal-differences-9388/>).

Medadom. (2023). Lait Végétal. <https://info.medadom.cons>.

médecine.net, S. (01 09 2014). Laits végétaux-bienfaits, from <http://sante-medecine.commentcamarche.net/faq/3736-laits-vegetaux-bienfaits>

Mensah, S. E. P., Aboh, A. B., Salifou, S., Mensah, G. A., Sanders, P., Abiola, F. A., & Koudandé, O. D. (2014). Risque dus aux antibiotiques détectés dans le lait de vache produit dans le centre Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, vol 80, 7102-7112.

Morel, P. (2005). Recherche opérationnelle, programmation linéaire. 10.

Muller, D. (2013). Introduction à la programmation linéaire - Apprendre en ligne

Nagdeve, M. (2020). Health Benefits : Almond Milk. www.organicfacts.net/health-benefits/almond-milk.html

Pougheon, S., & Goursaud, J. (2001). Le lait caractéristiques physicochimiques In Debry G., Lait, nutrition et santé, Tec et Doc, Paris : 6 (566 pages).

Rebbas, K., Ghadbane, M., Miara, M. D., Hammou, M. A., & Rebbas, N. (2020). Découverte de *Sesamum indicum* L.(Pedaliaceae) dans la région de Selatna (Bordj Bou Arreridj, Algérie). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 89, 123-129.

Références bibliographiques

Rezaie, A., Buresi, M., Lembo, A., & et al. (2017). Hydrogen and methane-based breath testing in gastrointestinal disorders: the North American Consensus. *Am J Gastroenterol*(112), 775-784.

Saxena, M. C., & Singh, K. B. *Origin, history and taxonomy of chickpea*: Ed .The Chickpea.

Saxena, M. C., & Singh, K. B. (1987). Agronomy of chickpea. In *The Chickpea*. Wallingford,UK,CAB International, 207-232.

Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*: éditions Quae.

Szilagyi, A. (2015). Adaptation to lactose in lactase non-persistent people: effects on intolerance and the relationship between dairy food consumption and evaluation of diseases. ;():. *Nutrients*, 7(8), 6751-6779.

Szilagyi, A., Walker, C., & Thomas, M. G. (2019). Lactose intolerance and other related food sensitivities. In: Paques M, Lindner C, editors. *Lactose*. In A. Press (Ed.), (Vol. Chapter 3, pp. 113-153).

The vegan society. (2022). *The planet milk market*. consulté le 01/04/2023, https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-fr.fr.e0a91526-642dfea5-41b3843e74722d776562/https://www.vegansociety.com/news/market-insights/plant-milk-market.

Vandenplas, Y. (2015). Lactose intolerance. *Asia Pac J Clin Nutr*, 24 (Suppl 1), S9-13.

Vanier, P. (2005). *Le pois chiche au fil du temps : Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique et écologique et environnement*. , ; . Université Laval.

Wendmisida, V. H. (2013). *Appréciation de la qualité physico-chimique du lait frais en rapport avec les pratiques d'élevage dans les élevages autour de la ville de Kaolack au Sénégal*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal.

Yadav, c. N., Singh, K. K., Bhowmik, S. N., & Patil, R. T. (2010). Development of peanut milk based fermented curd. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2650 - 2658. doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02446.x

Yini, & Wgo. (2020). *Yogurt in Nutrition, Initiative for Sustainable and Balanced diets*.

Yinyu, Y. E. (march 1994). *Progress in linear programming : interior-point algorithms*. p1.

Annexes

Fiche de dégustation

N° de dégustateur :

Identification de lait	Odeur	Couleur	Texture	Goût	Arrière-goût
1 ^{er} recette					
2 ^{eme} recette					
3 ^{eme} recette					

Arrière-goût : Amer, acide, trop salée, sucrée

1 : pas bon

2 : médiocre

3 : moyennement bon

7 : assez bon

10 : très bon

Fiche de dégustation

N° de dégustateur :

Identification de lait	Odeur	Couleur	Texture	Goût	Arrière-goût
1 ^{er} recette					
2 ^{eme} recette					
3 ^{eme} recette					

Arrière-goût : Amer, acide, trop salée, sucrée

1 : pas bon

2 : médiocre

3 : moyennement bon

7 : assez bon

10 : très bon

Tableau 17 : Tableau des scores

individu	Odeur			Couleur			Texture			Goût			arrière-goût		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	10	10	7	10	10	10	5	10	7	7	7	7	7	10	7
2	7	7	10	7	7	10	5	10	7	3	7	10	1	7	7
3	7	7	7	7	10	7	7	7	7	5	10	7	1	7	7
4	7	7	10	10	10	10	3	10	7	7	10	7	7	7	7
5	3	10	3	7	10	10	5	10	5	1	7	1	1	10	1
6	10	10	7	7	10	10	5	7	10	7	10	5	7	7	7
7	3	10	10	1	7	7	5	10	5	3	7	1	1	10	1
8	10	10	10	3	7	5	5	10	5	1	5	1	1	10	1
9	7	10	5	7	10	7	7	10	5	7	10	5	10	7	7
10	5	5	7	7	7	10	7	5	7	5	5	7	7	10	7
11	10	7	10	7	7	7	10	5	7	7	7	5	7	7	7
12	7	10	7	10	10	10	7	7	5	10	10	5	7	10	1
13	10	3	7	7	10	7	7	5	7	10	1	7	7	10	1
14	10	1	10	5	7	10	10	5	10	7	3	10	7	7	10
15	10	5	7	5	7	5	5	5	5	7	10	5	3	10	5
16	7	5	5	5	7	5	5	7	5	5	5	7	1	7	7
17	5	10	10	10	10	10	5	10	10	5	10	10	1	10	7
18	5	10	10	10	10	10	10	10	10	5	10	10	7	10	10
19	7	5	7	7	7	7	5	5	7	7	5	10	1	10	10
20	10	10	10	7	10	7	10	7	7	7	10	10	7	7	7
21	7	10	10	10	10	10	5	10	7	5	7	10	7	7	7
22	10	10	10	10	10	7	5	7	7	5	10	7	1	10	1
23	7	1	10	10	5	5	1	1	10	7	1	10	3	7	1
24	10	7	10	10	7	10	10	10	10	7	10	7	7	7	7
25	7	7	5	5	7	10	7	5	7	7	10	7	7	10	7
26	10	7	7	7	7	7	7	7	7	10	7	5	10	10	1
27	7	7	7	10	7	10	5	5	3	7	7	7	3	10	7
28	7	7	10	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
29	7	10	7	10	10	10	10	10	10	7	10	7	7	10	7
30	5	5	7	10	10	10	10	10	10	7	7	7	3	10	10
31	5	5	7	10	10	10	10	10	10	7	7	7	3	10	10
32	7	7	7	7	10	7	10	10	10	5	10	7	1	10	1
33	5	10	5	7	10	5	5	10	7	5	10	7	7	10	3
34	7	10	10	7	10	7	7	10	10	7	10	10	7	7	7
35	5	7	3	10	10	7	7	7	10	3	5	1	3	1	10
36	7	10	7	10	10	10	10	10	10	3	7	5	1	10	1
37	7	10	7	10	10	10	7	10	7	10	10	10	7	7	7
38	10	7	5	10	7	10	10	10	10	10	3	5	3	10	5
39	1	7	3	3	7	3	5	7	5	1	7	1	3	1	10
40	10	7	7	10	10	10	10	10	10	5	7	7	1	10	1

Tableau 18 : Tableau de classement

individu	Odeur			couleur			Texture			Goût			Arrière-gout		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1.5	1.5	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2.5	1	2.5
2	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	3	1	2	3	2	1	3	1.5	1.5
3	2	2	2	2.5	1	2.5	2	2	2	3	1	2	3	1.5	1.5
4	2.5	2.5	1	2	2	2	3	1	2	2.5	1	2.5	2	2	2
5	2.5	1	2.5	3	1.5	1.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5
6	1.5	1.5	3	3	1.5	1.5	3	2	1	2	1	3	2	2	2
7	3	1.5	1.5	3	1.5	1.5	2.5	1	2.5	3	2	1	2.5	1	2.5
8	2	2	2	3	1	2	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5
9	2	1	3	2.5	1	2.5	2	1	3	2	1	3	1	2.5	2.5
10	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	1.5	2	1.5	2.5	2.5	1	2.5	1	2.5
11	1.5	3	1.5	2	2	2	1	3	2	1.5	1.5	3	2	2	2
12	2.5	1	2.5	2	2	2	1.5	1.5	3	1.5	1.5	3	2	1	3
13	1	3	2	2.5	1	2.5	1.5	3	1.5	1	3	2	2	1	3
14	1.5	1	1.5	3	2	1	1.5	3	1.5	2	3	1	2.5	2.5	1
15	1	3	2	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2.5	2.5	1	3	1.5	1.5
16	1	2.5	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2.5	2.5	1	3	1.5	1.5
17	3	1.5	1.5	2	2	2	3	1.5	1.5	3	1.5	1.5	3	2	1
18	3	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2	3	1.5	1.5	3	1.5	1.5
19	1.5	3	1.5	2	2	2	1.5	1.5	1	2	3	1	3	1.5	1.5
20	2	2	2	2.5	1	2.5	1	2.5	2.5	3	1.5	1.5	2	2	2
21	3	1.5	1.5	2	2	2	3	1	2	3	2	1	2	2	2
22	2	2	2	1.5	1.5	3	3	1.5	1.5	3	1	2	2.5	1	2.5
23	2	3	1	1	2.5	2.5	2.5	2.5	1	2	3	1	2	1	3
24	1.5	3	1.5	1.5	3	1.5	2	2	2	2.5	1	2.5	2	2	2
25	1.5	1.5	3	3	2	1	1.5	3	1.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5
26	1	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	1	2	3	1.5	1.5	3
27	2	2	2	1.5	3	1.5	1.5	1.5	3	2	2	2	3	1	2
28	2.5	2.5	1	3	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
29	2.5	1	2.5	2	2	2	2	2	2	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5
30	2.5	2.5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1.5	1.5
31	2.5	2.5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1.5	1.5
32	2	2	2	2.5	1	2.5	2	2	2	3	1	2	2.5	1	2.5
33	2.5	1	2.5	2	1	3	3	1	2	3	1	2	2	1	3
34	3	1.5	1.5	2.5	1	2.5	3	1.5	1.5	3	1.5	1.5	2	2	2
35	3	1	2	1.5	1.5	3	2.5	2.5	1	2	1	3	2	3	1
36	2.5	1	2.5	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2.5	1	2.5
37	2.5	1	2.5	2	2	2	2.5	1	2.5	2	2	2	2	2	2
38	1	2	3	1.5	3	1.5	2	2	2	1	3	2	3	1	2
39	3	1	2	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5	2	3	1
40	1	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	3	1.5	1.5	2.5	1	2.5
R	83,5	76,5	78	89	70,5	80,5	87	69,5	80,5	93	68	79	95,5	61,5	96,5
ΣR^2	18909			19371,5			18879,5			19514			22214,8		

Tableau 19 : Table de Khi X²

n	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.001$
1	3.84	6.64	10.83
2	5.99	9.21	13.82
3	7.82	11.35	16.27
4	9.49	13.28	18.47
5	11.07	15.09	20.52
6	12.59	16.81	22.46
7	14.07	18.48	24.32
8	15.51	20.09	26.13
9	16.92	21.67	27.88
10	18.31	23.21	29.59
11	19.68	24.73	31.26
12	21.03	26.22	32.91
13	22.36	27.69	34.53
14	23.69	29.14	36.12
15	25.00	30.58	37.70
16	26.30	32.00	39.25
17	27.59	33.41	40.79
18	28.87	34.81	42.31
19	30.14	36.19	43.82
20	31.41	37.57	45.32
21	32.67	38.93	46.80
22	33.92	40.29	48.27
23	35.17	41.64	49.73
24	36.42	42.98	51.18
25	37.65	44.31	52.62
26	38.89	45.64	54.05
27	40.11	46.96	55.48
28	41.34	48.28	56.89
29	42.56	49.59	58.30
30	43.77	50.89	59.70



Figure 16 : Gans de cuisine



Figure 17 : Tissu en coton filtrant



Figure 18 : Broyeur IK



Figure 19 : broyeur mixeur