



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : : Sciences de la Nature et de la Vie.

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

THEME

Contribution de fabrication d'un fromage végétal

Réalisé par :

TOUARIA EL MILIANI Romaissa

BENYGZER Fatima

Soutenu le 09/07/2024 devant le jury composé de :

Président	M.	KOUACHE Benmoussa	MCA	UDBKM
Promotrice	Mme	ZAOUADI Nesrine	MCA	UDBKM
Co-promotrice	Mme	BENSHAILA Sarra	MCA	UDBKM
Co-promotrice	Mme	NABTI Djahida	MCA	UDBKM
Examinatrice	Mme	MOSTEFA Sari Fouzia	MCB	UDBKM
Responsable du CATI	M.	KERRACI Abdelkader	MCA	UDBKM
Responsable de l'Incubateur	M.	FERAOUN M'hammed	MCA	UDBKM

2023/2024

RESUME

Ce mémoire s'ouvre sur une réflexion sur l'évolution des préférences alimentaires, qui a conduit à l'émergence des fromages d'origine végétale. Cependant, les défis associés à une consommation de produits laitiers, mettant en lumière des problèmes potentiels tels que les allergies, les troubles articulaires et la perméabilité intestinale. Pour répondre à ces préoccupations, ce mémoire se fixe pour objectif de développer une nouvelle formulation de fromage végétal à base de pommes de terre et haricot blanc, et d'étudier sa qualité par le biais d'analyses approfondies. L'étude commence par une revue exhaustive de la littérature sur les fromages végétaux, suivie de la formulation d'une recette originale en incorporant divers ingrédients. Des tests physicochimiques, tels que pH, matière grasse et de l'extrait sec, sont ensuite réalisés, accompagnés d'analyses microbiologiques pour évaluer la sécurité alimentaire. Enfin, une évaluation sensorielle est menée pour assurer la qualité organoleptique du produit. Les résultats de cette recherche se révèlent particulièrement encourageants, démontrant une qualité exceptionnelle à la fois du point de vue sensoriel et des analyses physicochimiques et microbiologiques. Cette étude confirme ainsi la faisabilité et le potentiel de cette nouvelle formule de fromage de pomme de terre et haricot blanc en tant que produit de grande qualité, offrant une alternative intéressante aux fromages laitiers traditionnels tout en apportant des avantages nutritionnels grâce à la présence du haricot, source riche en protéines et nutriments essentiels. Cette avancée ouvre de nouvelles perspectives passionnantes pour l'industrie alimentaire.

Mots clé : fromage végétal, haricot blanc, pomme de terre, intolérance au lactose

SUMMORY

This dissertation begins with a reflection on the evolution of food preferences, which has led to the emergence of plant-based cheeses. However, the challenges associated with dairy consumption, highlighting potential issues such as allergies, joint disorders, and intestinal permeability. To address these concerns, this dissertation aims to develop a new formulation of potato and white bean-based plant-based cheese, and to study its quality through in-depth analyses. The study begins with a comprehensive literature review on plant-based cheeses, followed by the formulation of an original recipe incorporating various ingredients. Physicochemical tests, such as pH, fat content, and dry matter, are then carried out, accompanied by microbiological analyses to evaluate food safety. Finally, a sensory evaluation is conducted to ensure the organoleptic quality of the product. The results of this research are particularly encouraging, demonstrating exceptional quality from both a sensory and physicochemical and microbiological perspective. This study thus confirms the feasibility and potential of this new potato and white bean cheese formula as a high-quality product, offering an attractive alternative to traditional dairy cheeses while providing nutritional benefits thanks to the presence of beans, a rich source of protein and essential nutrients. This advancement opens up exciting new perspectives for the food industry.

Key words: Plant-based cheese, White bean, Potato, lactose intolerance.

ملخص

هذا البحث يبدأ بتأمل في تطور التفضيلات الغذائية، التي أدت إلى ظهور الأجبان ذات الأصل النباتي. ومع ذلك، فإنه يبرز التحديات المرتبطة باستهلاك منتجات الألبان، مثل الحساسية، مشاكل المفاصل و نفاذية الأمعاء. لمعالجة هذه المخاوف، يهدف هذا البحث إلى تطوير صيغة جديدة من الجبن النباتي باستخدام البطاطس والفاصوليا البيضاء، ودراسة جودته من خلال تحليلات متعمقة. تبدأ الدراسة بمراجعة شاملة للأدبيات حول الأجبان النباتية، تليها صياغة وصفة أصلية تتضمن مكونات متنوعة. ثم تُجرى اختبارات فيزيائية كيميائية، مثل درجة الحموضة، محتوى الدهون والمستخلص الجاف، بالإضافة إلى تحليلات ميكروبيولوجية لتقييم السلامة الغذائية. وأخيراً، يتم إجراء تقييم حسي لضمان الجودة العضوية للمنتج. النتائج المتحصلة من هذا البحث مشجعة للغاية، حيث تظهر جودة استثنائية من الناحية الحسية والتحليلات الفيزيائية الكيميائية والميكروبيولوجية. تؤكد هذه الدراسة بالتالي إمكانية وصلاحيّة صيغة الجبن الجديدة المصنوعة من البطاطس والفاصوليا البيضاء كمنتج عالي الجودة، يوفر بديلاً جذاباً للأجبان التقليدية من الألبان مع فوائد غذائية بفضل الفاصوليا التي تعتبر مصدراً غنياً بالبروتينات والعناصر الغذائية الأساسية. يفتح هذا التقدم أفقاً جديدة ومثيرة لصناعة الأغذية.

كلمات مفتاحية: جبن نباتي، فاصوليا بيضاء، بطاطس، حساسية اللاكتوز

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon directeur de recherche Mme Zaouadi Nesrine, pour son encadrement, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de ce projet. Ses connaissances et son expertise ont été indispensables à la réussite de ce travail.

Un grand merci à mes collègues et amis, pour leurs encouragements, leur aide précieuse et leur amitié tout au long de ces années de recherche. Leur soutien a été un véritable moteur dans les moments difficiles.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance aux laboratoires et usines, Laboratoire de microbiologie de notre université et Laiterie de Arib qui ont mis à disposition les équipements et les ressources nécessaires pour mener à bien mes expériences. Leur collaboration a été essentielle au succès de ce projet.

Enfin, je dédie ce mémoire à ma famille, en particulier à mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien moral. Sans eux, ce projet n'aurait jamais vu le jour.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, pour leur amour
inconditionnel et leur soutien sans faille tout au long de mon
parcours.

À mon frère Youcef et ma sœur Safaâ, pour leur présence rassurante
et leurs précieux conseils.

À ma chère amie Fatima, pour son amitié indéfectible et son soutien
moral.

À mes collègues Houda, Meriem, Wiam, Manal, Hayate, Djaouida et
Meriem Medjbeur pour leur camaraderie, leur aide précieuse, et les
moments partagés.

À mes professeurs, pour leurs conseils précieux, leur patience et leur
dévouement.

Touaria El Miliani Romaissa.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, pour leur amour
inconditionnel et leur soutien sans faille tout au long de mon
parcours.

À mes sœurs Aïcha et Khaira, ainsi qu'à mes frères Mohamed, Abd el
Djalil et Nouh, merci pour votre encouragement constant et votre
présence réconfortante.

À mon cher ami et binôme Romaiassa, pour sa collaboration et son
amitié précieuse.

À mes collègues et amis Houda, Meriem, Wiam, Manal, Hayate,
Meriem Medjbeur ,Djaouida, pour leur soutien, leur camaraderie et
les moments partagés.

Enfin, un grand merci à tous mes professeurs, pour leur
enseignement, leurs conseils avisés et leur dévouement.

Benygzer Fatima.

Liste des figures

Figure n°	Titre	page
01	Processus de fabrication de fromage végétal	20
02	Valeurs de pH des trois boissons végétales BCH, BH et BP	31
03	valeurs de l'acidité titrable des trois boissons végétales BCH, BH et BP	32
04	Teneur en extrait sec des trois boissons végétales BCH, BH et BP	33
05	Teneur en cendre des trois boissons végétales BCH, BH et BP	33
06	les densités des trois laits végétaux BCH,BH et BP	34
07	Valeurs de densité des trois laits végétaux BCH,BH et BP	35
08	Teneur en Matière Grasse des trois boissons végétale BCH, BH et BP	35
09	Valeurs de pH des deux fromages	36
10	Valeurs d'extrait sec des deux fromages	37
11	Valeurs de MG des deux fromages	38
12	Plan de comparaison des évaluations sensorielles de fromage PH et CH	40

Liste des Tableaux

Figure n°	Titre	page
01	Principaux ingrédients de fromage fondu	10
02	Les résultats des analyses microbiologiques des fromages végétaux	39

Liste des abréviations

FA : Fromages Analogues.

SE : Sels Émulsifiants.

NaCl : Chlorure de sodium (sel de table).

SC : Caséinate de Sodium

FAG : Fromage Analogue Végétalien.

FAV : Fromage Analogue Végétal.

AGS : Acides Gras Saturés.

n : Nombre de produits ou d'échantillons

p : probabilité dans les tests statistiques

ns : non significatif

OGM : Organisme génétiquement modifié.

Bio : Produit biologique

AJR : Apports Journaliers Recommandés

AZR : Azote Atmosphérique (ou fixé) par les bactéries rhizobiennes

ADN Acide Désoxyribonucléique

ARN : Acide Ribonucléique

LAB : Bactéries lactiques

PH : Potentiel d'Hydrogène

NaOH : Hydroxyde de sodium

ATg : Acidité Titrable

C : Concentration

V : Volume

% : Pourcentage

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

°D : Degré Dornic (mesure de l'acidité)

UFC : Unités Formant des Colonies

°C : Degrés Celsius

ml : Millilitres

g : Grammes

E. coli : Escherichia coli

G + C : Guanine + Cytosine

UV : Ultra-Violet

MH : Motilité et Hydrolyse

C5H11OH : Alcool iso-amylique

N : Normalité

BH : Boisson de Haricot

BP : Boisson de Pois chiche

BPC : Boisson de Pomme de terre

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION GENERALE	2
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. Lait végétal	Error! Bookmark not defined.
I.1. Généralité	5
I.2. Définition de lait végétal	5
I.3. Appellation et réglementation	5
I.4. Diversité et richesse des laits végétaux	6
I.5. Les bienfaits du lait végétal	6
I.6. Les récentes innovations et tendances dans la production et l'amélioration de la qualité des analogues du lait	7
II. Fromage végétal	7
II.1. Généralité	7
II.2. Définition de fromage végétale (analogue)	8
II.4. Propriétés du fromage végétal	8
II.5. Composition nutritionnelle	9
III. Les ingrédients de formulation	10
III.1 Pomme de terre	10
III.1.1. Apports en nutriments	11
III.1.2. Avantages pour la santé des pommes de terre	11
III.2. L'haricot	12
III.2.1. Intérêt nutritionnel des légumineuses	12
III.3. Kéfir	12
III.3.2. Origine et distribution du kéfir sucré	12
III.3.3. Les bienfaits de kéfir de fruit	13
III.3.4. Processus de Fermentation	14
IV. FERMENTATION	15
IV.1. Définition	15
IV.2. Applications de fermentation	15
IV.3. Bienfaits de fermentation	16
PARTIE EXPERIMENTALE	17
Matériel et méthodes	18
I. Matières premières	18
I.1. Haricot blanc	18
I.2. Pomme de terre	18

I.3. Pois chiche.....	19
II. Méthodes	19
II.1. Préparation des différentes formules de fromage végétal	19
II.1.1. Préparation de fromage (pomme de terre et haricot blanc)	19
III. Les analyses physico-chimiques effectuées	20
III.1. La détermination du Potentiel d'Hydrogène (PH).....	20
III.2. Détermination de l'acidité titrable « Titrimétrie »	21
III.3. Détermination d'extrait sec	22
I.4. Détermination du taux de cendres	23
III.5. Détermination de la densité	24
I.6. Détermination de la teneur en matière grasse	24
IV. Les analyses physicochimiques de fromage	25
IV.1. Mesure du pH.....	25
IV.2. Mesure de l'extrait sec total.....	25
IV. Mesure de Matière Grasse	26
V. Les analyses microbiologiques de fromage frais	26
V.1. Recherche et dénombrement de <i>Salmonella</i> et <i>E. coli</i>	27
V.2. Recherche des Staphylocoques.....	28
V.3. Recherche de <i>Listeria Monocytogène</i>	29
RESULTATS ET DISCUSSION	30
Résultats et discussion :	31
I. Caractéristiques physicochimiques des boissons végétales élaborées	31
I.1. Potentiel hydrogène (pH).....	31
I.2. Acidité titrable	31
I.3. Teneur en extrait sec.....	32
I.4. Teneur en cendre	33
I.5 . Densité.....	34
I.6. Matière grasse.....	35
II. Caractéristiques physico-chimique des fromages végétaux élaborées.....	36
II.1. Potentiel hydrogène (pH)	36
II.2. L'extrait sec	37
II.3. Matière Grasse	38
III. Caractéristiques microbiologiques des fromages végétales élaborées.....	39
IV. Caractéristiques sensorielles	39
Conclusion.....	42
CONCLUSION	42

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des deux dernières décennies, les consommateurs se sont de plus en plus intéressés à une alimentation visant à maintenir le bien-être et à réduire les risques de maladie, plutôt que de se limiter à la simple satisfaction de la faim. En réponse à cette évolution de la demande, l'industrie alimentaire a développé une nouvelle catégorie de produits appelés "aliments fonctionnels", qui sont conçus pour apporter des bénéfices spécifiques pour la santé. La création de ces aliments fonctionnels axés sur la santé est devenue un domaine de recherche majeur à l'échelle mondiale. Environ 60 à 70% des produits fonctionnels sur le marché proviennent de l'industrie laitière (Chen *et al.*, 2013).

Bien que les produits laitiers soient reconnus pour être une source riche en protéines et offrir de nombreux bienfaits pour la santé en raison de leur composition abondante en nutriments essentiels, il est essentiel de noter que leur consommation excessive, en conjonction avec certaines prédispositions génétiques, semble être corrélée à divers problèmes de santé tels que des allergies, des troubles articulaires et une augmentation de la perméabilité intestinale. Cependant, les produits laitiers peuvent faire partie d'une alimentation équilibrée, mais leur consommation doit être adaptée aux besoins et à la tolérance personnelle de chacun, une approche modérée étant recommandée, car une consommation excessive, surtout de produits riches en graisses saturées, peut être associée à une augmentation du risque de certaines maladies chroniques (Biesiekirski *et al.*, 2013).

Dans ce contexte, l'intérêt croissant pour les fromages végétaux, tels que ceux à base d'amandes, de soja ou de riz, s'explique par des préoccupations concernant l'allergénicité des protéines du lait, l'intolérance au lactose, ainsi que par une orientation vers un mode de vie plus sain, offrant ainsi une alternative intéressante aux produits laitiers traditionnels.

L'objectif global de ce travail est de proposer une alternative végétale innovante aux fromages traditionnels, en valorisant les bienfaits nutritionnels de la pomme de terre et du haricot blanc, dans le but de répondre aux préoccupations des consommateurs en matière d'allergies, d'intolérance et de mode de vie plus sain.

Notre étude vise à développer une nouvelle formulation de fromage végétal à base de pomme de terre et d'haricot blanc, et à en évaluer les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles. Le mémoire se compose de deux parties :

- ❖ La première partie présente une étude bibliographique succincte sur les boissons végétales, la fermentation, les fromages végétaux et les ingrédients de formulation tels que la pomme de terre et le haricot blanc.
- ❖ La deuxième partie est expérimentale. Elle décrit le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude, ainsi que les résultats obtenus et leur discussion. Cette partie vise à analyser en détail les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles de la nouvelle formulation de fromage végétal développée à base de pomme de terre et d'haricot blanc.



SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralité

Les alternatives végétales au lait, ou substituts non laitiers, se développent rapidement dans le secteur des boissons fonctionnelles et spécialisées. Les consommateurs se tournent vers ces alternatives en raison des allergies au lait de vache, de l'intolérance au lactose, des préoccupations caloriques et de l'hypercholestérolémie. Ces produits offrent aussi une solution économique dans les régions où le lait de vache est limité. Bien que ces alternatives aient des défis techniques en matière de traitement et de conservation, elles contiennent des composants bénéfiques pour la santé, attirant les consommateurs soucieux de leur bien-être. Cependant, leur faible acceptabilité sensorielle, surtout pour les alternatives à base de légumineuses, reste un obstacle. Pour améliorer ces produits, de nouvelles technologies de traitement non thermiques sont explorées pour augmenter leur durée de conservation, stabilité, valeur nutritionnelle et attrait sensoriel. Un effort de recherche est nécessaire pour développer des produits fonctionnels alliant saveur et valeur nutritionnelle (Sethi et *al.*, 2016)

I.2. Définition de lait végétal

Le lait végétal est une boisson végétale qui cherche à reproduire certaines des caractéristiques du lait animal. Cependant, à cause des différences dans les compositions des plantes, le goût et la texture des laits végétaux peuvent être très différents les uns des autres et varier (Amrouche, 2020).

Récemment, les sources végétales ont été identifiées comme des aliments fonctionnels grâce à leurs constituants comme les fibres alimentaires, les acides gras insaturés, les minéraux, les vitamines et les antioxydants (Tangyu et *al.*, 2019).

I.3. Appellation et réglementation

Depuis 2017, l'Union européenne, la Suisse et le Canada interdisent l'appellation "lait" aux boissons végétales imitant le lait d'origine animale. En effet, le terme "lait" est légalement réservé aux produits laitiers issus des animaux. Cette réglementation vise à éviter toute confusion chez les consommateurs. Concrètement, il est désormais illégal d'utiliser des termes comme "lait de soja", "lait d'amande" ou "lait de riz" pour désigner ces alternatives végétales. Cependant, des exceptions existent. En France, par exemple, une liste de dénominations traditionnelles autorisées a été établie, incluant notamment "lait d'amande", "lait de coco", "crème de riz", "beurre de cacao" et "beurre de cacahouète". L'appellation "lait" est protégée

pour les produits laitiers d'origine animale, mais certaines exceptions existent pour des termes traditionnels ancrés dans les habitudes de consommation (Amrouche, 2020)

I.4.Diversité et richesse des laits végétaux

Le monde des laits végétaux offre une palette de saveurs et de textures issues du règne végétal. Ils sont obtenus à partir de différentes plantes et familles végétales, parmi lesquelles:

- **Les céréales :** Le lait d'avoine, de riz et de maïs en sont des exemples courants.
- **Les légumineuses :** Le lait de soja, riche en protéines, est un choix populaire.
- **Les mélanges de plantes :** Des combinaisons originales, comme le lait d'amande et de coco, gagnent en popularité.

Certains laits végétaux possèdent une histoire longue et riche. C'est le cas du lait d'amande, dont les origines remontent au Moyen Âge. D'autres, comme le lait de coco, le lait de riz et le lait de pistache, séduisent par leurs saveurs uniques et leurs qualités nutritives. Les laits végétaux constituent une alternative variée et savoureuse aux produits laitiers traditionnels, offrant une source de découvertes gustatives (Amrouche, 2020)

I.5.Les bienfaits du lait végétal

Souvent utilisés comme substituts au lait animal, les laits végétaux représentent une option intéressante pour les personnes souffrant d'allergies ou d'intolérances au lait de vache. En effet, ils sont généralement plus faciles à digérer, ne contiennent pas de cholestérol et s'avèrent souvent moins caloriques qu'un lait entier (Ray, 2016)

- **Substituts pratiques :** Les laits végétaux constituent une alternative pratique au lait animal, répondant aux besoins nutritionnels de ceux qui ne peuvent ou ne souhaitent pas consommer de produits laitiers.
- **Digestion facilitée :** Pour les personnes intolérantes au lactose, les laits végétaux s'avèrent généralement plus faciles à digérer, réduisant ainsi les troubles digestifs souvent associés à la consommation de lait de vache.
- **Absence de cholestérol :** Contrairement au lait animal, les laits végétaux ne contiennent pas de cholestérol, ce qui peut être bénéfique pour la santé cardiovasculaire.

- **Apport calorique réduit** : De nombreux laits végétaux affichent un apport calorique inférieur au lait entier, les rendant ainsi plus adaptés aux régimes alimentaires soucieux du poids.

I.6. Les récentes innovations et tendances dans la production et l'amélioration de la qualité des analogues du lait

Des recherches continues visent à améliorer les propriétés organoleptiques, nutritionnelles et fonctionnelles des substituts de lait à base de plantes. Quatre domaines clés ont été identifiés comme cruciaux dans la production et l'amélioration de ces analogues : la stabilité, l'élimination des arômes indésirables, l'inactivation ou l'élimination des inhibiteurs, et l'amélioration de la durée de conservation. La stabilité de ces boissons est influencée par la taille des particules dispersées, ce qui peut entraîner des textures indésirables et une séparation des phases pendant le stockage. Les arômes indésirables peuvent se développer avec le temps ou être inhérents à cause des acides gras insaturés et des lipoxgénases. Pour les éliminer, des méthodes récentes telles que le traitement haute pression, le champ électrique pulsé, le chauffage ohmique, le plasma froid, et l'extraction par fluide supercritique ont été utilisées. Les boissons à base de lait végétal contiennent des facteurs antinutritionnels comme les inhibiteurs de trypsine, l'acide phytique, les lectines, les tanins, les inhibiteurs de protéase et les saponines. Divers traitements physiques, chimiques et biotechnologiques sont employés pour les éliminer. La stabilité et la durée de conservation de ces boissons dépendent largement du processus de production et des paramètres de traitement associés. (Paul et *al.*, 2020)

II. Fromage végétal

II.1. Généralité

La production mondiale de produits laitiers augmente constamment, avec une consommation de fromage en forte croissance, projetée à un taux annuel de 1,6 %. Les facteurs clés de cette croissance sont les changements de mode de vie, l'innovation dans les types de fromage, et l'élargissement de ses applications alimentaires.

Le marché des produits similaires au fromage, notamment les fromages analogues (FA), se développe plus rapidement que celui des fromages naturels. Les FA sont classés en laitiers, partiellement laitiers ou non laitiers, selon les ingrédients utilisés. Les FA partiellement laitiers,

utilisant des protéines laitières et des matières grasses végétales, sont les plus courants et plus économiques en raison des coûts réduits des huiles végétales et de la substitution partielle des protéines par des hydrocolloïdes. Ils n'exigent pas d'affinage, ce qui réduit les coûts de production. Ces fromages analogues peuvent inclure des ingrédients fonctionnels et possèdent des propriétés stables de texture, saveur et cuisson. Ils offrent une flexibilité compositionnelle et nutritionnelle, des avantages pour la santé, et sont faciles à utiliser grâce à leur emballage pratique. Les FA non laitiers, faits de protéines et de matières grasses végétales, représentent une opportunité pour le marché des fromages végétaliens, bien que la substitution de la caséine par des protéines végétales puisse altérer leur texture (Masotti et *al.*, 2018)

II.2. Définition de fromage végétale (analogue)

Le terme "Fromage Analogue" (FA) désigne un produit similaire au fromage, fabriqué en remplaçant partiellement ou totalement des composants tels que le lait, les matières grasses du lait ou les protéines du lait, et en intégrant des substances végétales ainsi que des additifs tels que des sels émulsifiants, des hydro-colloïdes, des conservateurs, de agents acidifiants et parfois des agents aromatisants (comme le chlorure de sodium, les arômes de fromage, etc.). En fonction de la matrice concernée et des ingrédients utilisés dans la formulation, ces substituts de fromage peuvent être classés en produits laitiers (caséine, caséinates, matières grasses du lait, etc.), produits laitiers partiels (caséine, caséinates, huile de soja, etc.) et substituts de fromage non laitiers (protéine de maïs, protéine de soja, huile de soja, etc.). L'intérêt récent pour les produits végétaux et les alternatives saines a suscité un intérêt accru pour le développement des substituts de fromage. (Kamath et *al.*, 2022).

II.4. Propriétés du fromage végétal

Les fromages analogues (FA) doivent posséder des caractéristiques spécifiques pour leur application finale, influençant leur acceptation par les consommateurs et les fournisseurs de services alimentaires.

Leur fonctionnalité dépend de leur microstructure et macrostructure, influencées par les conditions de traitement et la composition. Les ingrédients (graisses, protéines, sels émulsifiants) et les propriétés physico-chimiques (agrégation des protéines, hydratation, distribution des gouttelettes d'huile) ainsi que les rapports entre composants (protéines-graisses, calcium-SC) déterminent la rhéologie et les fonctionnalités du produit final. Les FA non chauffés doivent être facilement dispersables, friables, tranchables et déchirables, tout en ayant

des propriétés sensorielles pour la consommation directe et indirecte. Les propriétés de cuisson, telles que le ramollissement, la fluidité, le brunissement, le dégagement d'huile et l'extensibilité, sont également importantes. Les fonctionnalités des FA, qu'ils soient chauffés ou non, sont étroitement liées à leurs caractéristiques physiques telles que la dureté, l'élasticité et la friabilité (Masotti et *al.*, 2018)

II.5. Composition nutritionnelle

En 2020, toutes les alternatives végétales au fromage lancées étaient dans la catégorie du fromage transformé. Les FAV fournissent plus d'énergie que les fromages laitiers, bien que la teneur totale en graisses soit similaire. L'huile de coco est un ingrédient clé des FAV, mais des alternatives comme la pâte d'amande et l'huile d'arachide émergent en raison de leur teneur plus faible en acides gras saturés (AGS). Les FAV présentent des niveaux plus élevés d'AGS en raison de l'utilisation d'huiles végétales riches en AGS, comme l'huile de palme, bien que certains produits soient exempts d'huile de palme. Les huiles végétales hydrogénées, utilisées pour obtenir la fermeté, augmentent les niveaux d'AGS et de formes trans, augmentant ainsi le risque de maladies cardiovasculaires.

Ingrédients	Produits véganes	Produits laitiers
Protéines	Protéine de pois, protéine de soja, protéine de lentille	Protéine de lactosérum, hydrolysat de protéine de lait, caséine Lait, lait
Graisse	Huile de coco, pâte d'amande, huile de tournesol, huile d'olive	écrémé, babeurre, lait à haute teneur en matière grasse, crème douce, yaourt solide, fromage, huile de palme
Glucides	-modifiés (pomme de terre, maïs, manioc) -natifs (féculé de maïs, manioc, pomme de terre, tapioca) -farine de maïs, farine de riz	Amidon modifié, féculé de maïs, farine de blé, amidon de pomme de terre modifié
Arômes	Extraits de levure, paprika, persil, poudre d'ail, vinaigre d'alcool, feuilles de basilic	Extrait de paprika, levure de boulanger
Émulsifiants	Carraghénane, fibre d'avoine, gomme de caroube, gomme xanthane, cellulose	Polyphosphates de sodium, citrates de sodium, inuline (fibre de racine de chicorée), sels émulsifiants (triphosphates, polyphosphates)
Vitamines	B12, vitamine C	

Tableau 01 : principaux ingrédients de fromage fondu

III. Les ingrédients de formulation

III.1 Pomme de terre

La pomme de terre, scientifiquement désignée sous le nom de *Solanum tuberosum*, appartient à la famille des solanacées, incluant de nombreux membres communément appelés *solanum* (Hijmans, 2003). Elle joue un rôle essentiel dans plusieurs pays en raison de sa haute valeur nutritive, avec une faible teneur en matières grasses et une richesse en vitamines essentielles telles que l'acide ascorbique, la vitamine B6, la vitamine B9, la vitamine B1, ainsi que divers macro-minéraux et micro-minéraux comme le potassium, le fer, le cuivre, le manganèse et le phosphore. La pomme de terre se distingue par sa composition riche en fibres, en protéines de qualité, en vitamines et en minéraux. Cultivée à grande échelle, elle représente une culture alimentaire majeure après le maïs, le riz et le blé (Ayvaz et al., 2016).

III.1.1. Apports en nutriments

III.1.1.1. Macronutriments

Les pommes de terre sont une bonne source de glucides (19 g pour 100 g), principalement sous forme d'amidon, et contiennent peu de lipides (0,1 g pour 100 g).

III.1.1.2. Micronutriments

Elles sont riches en vitamines, notamment en vitamine C (36% des AJR pour 173 g de pommes de terre rouges), B1 (0,03 à 0,2 mg pour 100 g), B2 (0,01 à 0,07 mg pour 100 g), B6 (0,13 à 0,42 mg pour 100 g) et B9 (1,1 mg pour 100 g). On y trouve également des minéraux essentiels tels que le potassium, le phosphore, le magnésium, le calcium et le fer.

III.1.1.3. Autres composés : Les pommes de terre contiennent des composés phénoliques

III.1.2. Avantages pour la santé des pommes de terre

Les pommes de terre, étant des légumes tuberculeux, sont riches en potassium, ce minéral joue un rôle crucial dans la régulation de la tension artérielle. En effet, il aide à dilater les vaisseaux sanguins et à excréter l'excès de sodium par les reins, contribuant ainsi à une tension artérielle saine. Les composés phénoliques agissent comme antioxydants, neutralisant les radicaux libres qui peuvent endommager les cellules et contribuer aux maladies cardiaques (Camire et *al.*, 2009)

Les caroténoïdes, un pigment naturel de la pomme de terre, sont de puissants antioxydants présents sous différentes formes (lutéine, zéaxanthine et violaxanthine). Les anthocyanes, quant à elles, sont des pigments végétaux naturels qui sont directement liés à la prévention des cellules cancéreuses. (Lim et *al.*, 2013)

Les antioxydants sont des composés qui peuvent protéger les cellules contre les dommages causés par le stress oxydatif, également connu sous le nom de radicaux libres. Le mécanisme implique que les antioxydants, y compris le bêta-carotène, le lycopène et les vitamines C, E et A, réagissent avec les radicaux libres et les stabilisent. Ainsi, les cellules corporelles peuvent prévenir les dommages causés par les radicaux libres. (Hamid et *al.*, 2010)

III.2. L'haricot

Les légumineuses, également connues sous le nom de fabacées, constituent une famille de plantes dicotylédones qui se distinguent par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries rhizobiennes. Cette caractéristique unique les rend essentielles pour la fertilité des sols et leur confère une place importante dans l'agriculture durable (Aykroyd et Doughty, 1982)

II.2.1. Intérêt nutritionnel des légumineuses

Les légumineuses sont remarquables sur le plan nutritionnel en raison de leur composition distinctive :

Elles offrent une richesse en protéines tout en fournissant des glucides à digestion lente et des fibres (Combe et *al.*, 1990). Les protéines trouvées dans les légumineuses sont des protéines végétales sans gluten, ce qui les rend particulièrement adaptées aux personnes souffrant de la maladie cœliaque. En outre, du fait de leur absence de cholestérol et de la présence d'acides gras insaturés, consommer des légumineuses est un choix bénéfique pour la santé cardiovasculaire, contribuant ainsi à réduire les risques associés (Cayot et Osson, 1997)

III.3. Kéfir

Le kéfir de fruit, souvent appelé "kéfir d'eau", est une boisson fermentée légèrement pétillante, composée d'eau sucrée et de grains de kéfir. Ces derniers ne sont pas des grains céréaliers, mais des cultures symbiotiques de levures et de bactéries s'apparentant à des petits cristaux gélatineux. Lorsque ces grains sont ajoutés à un liquide sucré, ils fermentent le sucre pour produire une boisson qui est légèrement alcoolisée, riche en probiotiques et bénéfique pour la santé digestive. Le kéfir de fruits peut aussi être aromatisé avec des fruits pour en améliorer le goût. (Marshall et Cole, 1985)

III.3.2. Origine et distribution du kéfir sucré

L'origine historique des grains de kéfir sucré n'est pas bien connue. Le premier rapport scientifique a été publié par Beijerinck (1889), qui a associé les grains de kéfir aux plantes de bière au gingembre que les soldats anglais ont ramenées de la guerre de Crimée en 1855. Plus tard, Lutz (1899) a décrit un système similaire appelé "Tibi", qui provenait de fruits de cactus en poire de la cactus au Mexique. En France, Vayssier (1978) a été le premier à attribuer le nom "grains de kéfir sucré" pour les différencier des grains fermentant le lait. Ainsi, l'idée de

multiples sources de kéfir sucré semble plausible. D'autres noms sont généralement utilisés pour désigner les grains de kéfir cultivés dans des solutions sucrées, tels que "tibico", "tibi", "abeilles californiennes", "abeilles africaines", "noix d'ale", "baume de Galaad", "Bébées" et "graines de bière japonaise ». Bien que structurellement similaires au kéfir de lait, les grains de kéfir sucré sont plus transparents, mucilagineux et moins résilients.

Actuellement, une augmentation de la consommation de kéfir sucré a été signalée en raison de ses propriétés sensorielles spécifiques ainsi que des avantages pour la santé associée à sa consommation. Les pays où la consommation de boisson de kéfir sucré est la plus élevée comprennent les États-Unis d'Amérique, le Mexique et le Canada en Amérique du Nord; le Japon, la Thaïlande et la Malaisie en Asie; la France, la Grèce, la Turquie, la Roumanie, la Russie, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Norvège, la Suède, l'Espagne et le Portugal en Europe; et le Brésil, le Chili, le Pérou et l'Argentine en Amérique latine. (Fiorda et *al.*, 2017)

III.3.3. Les bienfaits de kéfir de fruit

Les probiotiques présents dans le kéfir de fruits sont une composante essentielle de l'écosystème intestinal et ont un impact significatif sur la santé générale. La consommation régulière de ces micro-organismes vivants dans le cadre d'une alimentation équilibrée aide à stabiliser et améliorer l'équilibre du micro-biome intestinal, ce qui renforce l'immunité et améliore les fonctions digestives.

Sur le plan nutritionnel, les probiotiques agissent comme de "petites usines" dans l'intestin, produisant des vitamines essentielles, y compris les vitamines du complexe B telles que la niacine, le folate, la biotine, et la vitamine K, qui jouent des rôles clés dans le corps comme aider à la formation de nouvelles cellules et la coagulation du sang.

En plus de leurs avantages digestifs, les probiotiques ont également des effets bénéfiques sur le système immunitaire ; ils aident à former une réponse immunitaire équilibrée, ce qui améliore la capacité du corps à combattre les maladies. Les probiotiques contribuent à réguler la réponse immunitaire en renforçant les composants immunologiques utiles, tels que les anticorps et les globules blancs, qui jouent un rôle fondamental dans la défense du corps contre les agents pathogènes.

Des études ont également montré que certaines souches probiotiques ont la capacité de lutter contre l'inflammation dans le corps et de fournir une protection contre certains types de bactéries pathogènes. De cette manière, le kéfir peut réduire l'incidence des inflammations

occasionnelles et des maladies qui y sont associées, telles que les inflammations intestinales et les maladies cardiaques. (Marco et *al.*, 2017)

Les grains de kéfir sont le cœur de la boisson kéfir de fruits. Ils sont composés de polysaccharides, principalement du kéfiran, qui forment une matrice pour les bactéries lactiques et les levures (Farnworth, 2005). Les souches exactes de levures et de bactéries peuvent varier mais sont généralement des lactobacilles, streptocoques/lactocoques, acétobacter, et différentes levures comme *Saccharomyces*, *Candida*, *Kluyveromyces*, entre autres (Leite et *al.*, 2013)

III.3.4. Processus de Fermentation

III.3.4.1. Description du processus de fermentation étape par étape

La fermentation du kéfir de fruits se produit en plusieurs étapes. Tout d'abord, les grains de kéfir sont ajoutés à l'eau sucrée dans un récipient, souvent avec des fruits ajoutés pour le goût. Les microorganismes présents dans les grains commencent à métaboliser le sucre en produisant des acides organiques, de l'alcool (en quantité très faible), et du dioxyde de carbone, donnant à la boisson son pétillant naturel (Fiorda et *al.*, 2017). Après fermentation, les grains sont filtrés de la boisson et peuvent être utilisés pour la prochaine fournée. Le kéfir de fruits peut ensuite être consommé immédiatement ou laissé pour une seconde fermentation sans les grains pour renforcer le pétillant et la saveur (Gulitz et *al.*, 2011).

III.3.4.2. Facteurs influençant la fermentation : température, temps de fermentation, proportion des ingrédients

La température, le temps de fermentation, et la proportion des ingrédients sont des facteurs cruciaux dans la fermentation du kéfir. La température optimale pour la fermentation du kéfir de fruits se situe généralement entre 20 et 25°C. Les températures plus élevées peuvent accélérer la fermentation mais aussi risquer de favoriser la croissance de micro-organismes indésirables (Laureys, Vuyst, 2014). La durée de la fermentation peut varier de 24 à 72 heures, selon la température et la consistance désirée. Enfin, la proportion des ingrédients affecte l'intensité de la fermentation et le goût de la boisson ; un rapport plus élevé de sucre peut conduire à une boisson plus douce et plus alcoolisée, tandis qu'un ratio plus faible peut produire un kéfir plus aigre (Marsh et *al.*).

IV. FERMENTATION

IV.1. Définition

La fermentation est une technique ancienne utilisée principalement pour la préservation, l'amélioration de la disponibilité des micronutriments et l'amélioration des propriétés sensorielles et des bienfaits pour la santé, en favorisant la santé intestinale et le système immunitaire, de nombreux produits alimentaires. Les alternatives au fromage à base de légumes peuvent être produites avec ou sans fermentation. Les principaux démarreurs utilisés sont les bactéries lactiques (LAB), les bacilles et les levures (par exemple, *Saccharomyces*). Par l'hydrolyse enzymatique, la saveur de haricot est atténuée, la teneur en phytates est réduite grâce à la phytase endogène des graines, de la levure ajoutée et d'autres micro-organismes utiles, tandis que la digestibilité des protéines est améliorée. (Mefleh et *al.*, 2022)

IV.2. Applications de fermentation

La fermentation du lait végétal avec LAB peut être utilisée pour fabriquer des produits analogues aux produits laitiers fermentés, tels que le fromage, le yaourt et les boissons fermentées. Ces produits peuvent être fabriqués à partir d'une large gamme de laits végétaux. En revanche, les fromages à base de plantes ne sont pas considérés comme une source importante de probiotiques, et les produits similaires au fromage sont très souvent fabriqués sans cultures. Il est également plus difficile de définir ces produits comme étant fabriqués avec un lait végétal spécifique, car les ingrédients de base sont souvent des huiles végétales et/ou des amidons. Les produits alternatifs au fromage fermentés sont rares. Seuls quelques produits à base de fromage végétal fermenté peuvent être trouvés dans le commerce, principalement à base de laits de noix, et quelques autres ont été développés expérimentalement. Le nombre de produits de fromage végétal qui n'utilisent pas la fermentation est beaucoup plus grand, il existe donc clairement un grand fossé dans les connaissances actuelles sur la manière d'utiliser avec succès la fermentation du lait végétal pour le développement des alternatives au fromage sans produits laitiers. Les tendances actuelles orientent les consommateurs vers des produits "clean-label", c'est-à-dire des produits avec moins d'ingrédients et des ingrédients perçus comme "plus naturels". La fermentation avec LAB offre un avantage à cet égard, car elle peut conférer des propriétés désirables aux produits fermentés sans avoir besoin d'ajouter des ingrédients à l'étiquette. La décomposition des protéines en peptides plus petits, en acides aminés libres et en composés organiques volatils peut conférer des saveurs désirables et des avantages potentiels

pour la santé à un produit sans avoir besoin d'aucun additif, et la formation d'exopolysaccharides par LAB peut introduire des propriétés épaississantes.

Le fromage végétal peut être généralement classé en deux catégories : ceux qui recourent à la fermentation et ceux qui n'y ont pas recours. Les variétés non fermentées ne sont généralement pas basées sur du lait végétal en raison de leur faible teneur en matières grasses et en protéines, mais plutôt sur des huiles (comme l'huile de coco ou l'huile de palme) et des amidons (tels que l'amidon de pomme de terre ou de tapioca). Ces ingrédients confèrent au produit une texture et une structure similaires à celles du fromage, permettant ainsi d'imiter dans une certaine mesure sa texture et sa capacité à fondre. Bien que les huiles imitent la capacité de fonte du fromage, elles ne reproduisent pas son étirement et son écoulement, tandis que les amidons ajoutent une certaine extensibilité au produit. Ce type de fromage végétal est le plus répandu sur le marché, avec 80 % des fromages végétaux au Royaume-Uni étant à base d'huile de coco ou de palme. Cependant, peu d'évaluations de ces types de fromages sont disponibles dans la littérature.

Les fromages végétaux fermentés utilisent des bactéries lactiques pour fermenter la base végétale jusqu'à l'obtention d'une texture désirée. Parmi les fromages végétaux fermentés, de nombreux produits commerciaux sont à base de noix de cajou, tandis que le soja est la base de la plupart des fromages fermentés mentionnés dans la littérature. (Harper et *al.*, 2022)

IV.3. Bienfaits de fermentation

Le processus de fermentation joue un rôle crucial dans l'amélioration des alternatives laitières à base de plantes. L'une des raisons principales de la résistance à l'adoption du lait végétal est la présence de saveurs indésirables rappelant "le goût de légumineuses" ainsi qu'une texture désagréable. Ces saveurs indésirables peuvent être largement attribuées aux aldéhydes, principalement l'hexanal mais aussi le 3-Z-hexénal, ainsi qu'aux alcools tels que le n-hexanol, le n-pentanol et le n-heptanol, et aux cétones telles que l'éthyl vinyl cétone et les furanes tels que le n-pentyl furane et le 2-(1-pentényl) furane.

La fermentation par une variété de bactéries lactiques peut totalement éliminer l'hexanal et réduire la concentration d'autres composés organiques volatils contribuant aux saveurs indésirables dans le lait végétal. (Harper et *al.*, 2022)



PARTIE EXPERIMENTALE

Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est de développer un fromage végétal. Notre travail consiste à réaliser deux formules : la première est un fromage à base de pomme de terre et de haricot blanc, et la deuxième est un fromage à base de pois chiche et de pomme de terre. Nous effectuerons des analyses physico-chimiques et microbiologiques pour évaluer la qualité de nos produits.

Cette recherche expérimentale est menée dans deux endroits différents : le laboratoire de biochimie et de microbiologie de la Faculté des Sciences de l'université Djilali Bounaama à Khemis Miliana, et le laboratoire de Laiterie ARIB.

I. Matières premières

I.1. Haricot blanc

Nous avons utilisé les haricots blancs comme ingrédient principal dans la fabrication du fromage en raison de leurs avantages nutritionnels et fonctionnels. Les haricots blancs, que nous avons obtenus du dépôt de l'Association agricole de Khemis Miliana, sont riches en protéines, ce qui contribue à fournir une texture distinctive. De plus, ils sont une source riche en fibres, en vitamines et en minéraux essentiels pour la santé. L'utilisation des haricots blancs permet de produire des alternatives de fromage saines et exemptes de produits d'origine animale, répondant ainsi aux besoins des personnes suivant un régime végétalien ou souffrant d'allergies aux produits laitiers, et renforçant ainsi les options alimentaires saines et durables.

I.2. Pomme de terre

La pomme de terre utilisée dans la fabrication du fromage végétal est de la variété Spunta, très populaire en raison de son excellente tolérance à la sécheresse et à la chaleur. Cette variété contient une proportion élevée d'amidon, ce qui aide à obtenir la texture distinctive et crémeuse du fromage végétalien. De plus, la pomme de terre blanche ajoute une saveur douce et délicieuse au fromage végétalien, lui donnant une texture similaire au fromage traditionnel. L'utilisation de la pomme de terre blanche permet de produire des alternatives au fromage sans produits d'origine animale, répondant ainsi aux besoins des personnes suivant un régime végétalien ou souffrant d'allergies aux produits laitiers.

I.3. Pois chiche

Le pois chiche que nous avons utilisé du dépôt de l'Association agricole de Khemis Miliana est une addition importante et efficace dans la fabrication du fromage végétalien pour plusieurs raisons. Commenant par sa composition riche en protéines, le pois chiche est considéré comme un excellent complément alimentaire, assurant ainsi une haute valeur nutritive dans le fromage végétalien produit. De plus, le pois chiche se distingue par sa texture crémeuse et excellente, ce qui contribue à obtenir une texture distinctive et une sensation riche pour le fromage végétalien, le rendant ainsi similaire à la texture du fromage traditionnel.

En ce qui concerne les aspects délicieux de l'utilisation du pois chiche dans la fabrication du fromage végétalien, il apporte une saveur distinctive et équilibrée, enrichissant ainsi l'expérience gustative pour les consommateurs. De plus, le pois chiche est considéré comme un choix sain et durable, étant donné ses multiples bienfaits nutritionnels et en tant que source riche en protéines et en fibres. En utilisant le pois chiche dans la fabrication du fromage végétalien, les besoins des personnes suivant un régime végétalien ou souffrant d'allergies aux produits laitiers peuvent être satisfaits, ce qui élargit leurs options alimentaires et contribue à améliorer leur santé et leur bien-être.

II. Méthodes

II.1. Préparation des différentes formules de fromage végétal

II.1.1. Préparation de fromage (pomme de terre et haricot blanc)

Après avoir trempé les haricots pendant 12 heures, ils ont été cuits dans de l'eau pendant 20 minutes, puis épluchés. En même temps, les pommes de terre ont été épluchées et bouillies dans de l'eau pendant 20 minutes. Ensuite, 146 g de haricots cuits (en poudre) +146 g de pommes de terre + les autres ingrédients ont été mis avec l'ajout de 584 ml dans un mixeur de haute précision pendant 10 à 15 minutes jusqu'à ce que le mélange soit homogène.

Après avoir versé le mélange pour éliminer les résidus, le ferment est ajouté et le tout est mixé pendant 30 secondes maximum. Le lait est ensuite versé dans un récipient hermétique et laissé à température ambiante pendant 24 heures pour fermenter. Le produit est ensuite filtré à travers une étamine fine pour séparer le fromage du petit-lait et égoutté au réfrigérateur pendant 6 heures. Le fromage est finalement versé dans un moule adapté et conservé au réfrigérateur pour raffermir sa texture.

II.1.2. Préparation de fromage (pomme de terre et pois chiche)

En suivant le même processus de fabrication du fromage de pomme de terre et d'haricot blanc précédemment mentionné, nous remplacerons les haricots blancs par des pois chiches.

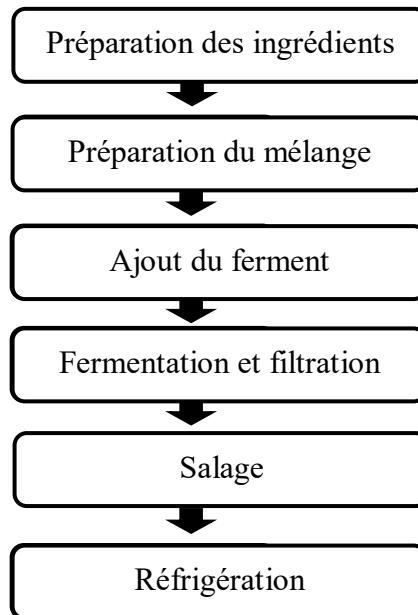


Figure 01 : Processus de fabrication de fromage végétal

III. Les analyses physico-chimiques effectuées

III.1. La détermination du Potentiel d'Hydrogène (PH)

Le pH d'une substance est déterminé par sa concentration en ions H^+ . Pour évaluer le pH du lait végétal, un pH-mètre est employé à une température de $20^{\circ}C$. Avant cette évaluation, l'électrode du pH-mètre est préalablement ajustée en utilisant des solutions tampons présentant divers pH connus. (Munier, 1973)

III.1.1. Principe

La détermination du pH consiste à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes immergées dans la boisson végétale.

III.1.2. Mode opératoire

-Calibrer le pH-mètre en utilisant de l'eau distillée après avoir vérifié son bon fonctionnement:

- Prélever un petit volume de l'échantillon dans un bécher, en quantité suffisante pour immerger l'électrode.
- Pour la mesure du pH de l'échantillon prélevé, lire directement la valeur affichée sur l'appareil.
- Réaliser deux mesures sur un même échantillon. Entre chaque mesure, nettoyer la sonde à l'eau distillée et la sécher avec un papier absorbant.

III.1.3. Expression des résultats

La valeur du pH est lue directement sur l'appareil, prendre la moyenne arithmétique de deux déterminations, dans le cas où la différence est très grande on effectue une autre détermination

III.2. Détermination de l'acidité titrable « Titrimétrie »

La mesure de l'acidité titrable dans les laits végétaux, tels que le lait d'amande, de soja ou d'avoine, vise à évaluer la concentration totale d'acides présents. Contrairement au lait d'origine animale, les laits végétaux ne contiennent généralement pas d'acide lactique. La méthode utilisée pour mesurer cette acidité est similaire à celle employée pour le lait animal, elle implique une titration avec une solution alcaline afin de quantifier la quantité d'acide dans le lait végétal, exprimée ensuite en unités appropriées. L'acidité titrable représente la somme des acides minéraux et organiques libres dans le lait végétal.

III.2.1. Principe

La mesure de l'acidité implique un titrage acido-basique où une quantité de 10 g de l'échantillon est titrée avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0.1 N en présence d'un indicateur coloré, la phénolphthaléine à 0.1%. Le point d'équivalence est atteint lorsque la couleur de l'échantillon vire au rose persistant. (BALIGA et *al.*, 2011)

III.2.2. Mode opératoire

- Introduire 10 g de lait végétal et 5 gouttes de l'indicateur coloré « phénolphthaléine » dans un bécher.
- Rincer la burette de 25 ml avant de titrer avec une solution NaOH à 0.1N.
- Titrer jusqu'au virage du milieu au « rose persistant », facilement perceptible par comparaison avec le témoin constitué de la même boisson.

- Considérer que le virage est atteint lorsque la coloration rose persiste pendant une dizaine de secondes.

- Lire ensuite le volume de NaOH titré sur la burette.

III.2.3. Expression des résultats

Les résultats sont calculés selon la formule suivante :

$$ATg = CNaOH \times VNaOH \times 0,64 \times 100/P$$

Avec :

C NaOH : concentration de la solution de soude (0,1 mol/l).

V NaOH : volume (ml) de soude ajoutée.

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

0,064 : facteur conventionnel établi pour l'acide citrique d'échantillons.

L'acidité titrable est exprimée en équivalent g d'acide citrique par 100 g

III.3. Détermination d'extrait sec

L'extrait sec d'une boisson végétale se réfère à la proportion d'eau qu'elle renferme par rapport à sa masse totale ou à son volume total, généralement exprimée en pourcentage. Plusieurs techniques sont disponibles pour évaluer la quantité d'eau dans les produits alimentaires, classées en différentes catégories. Les méthodes directes visent à mesurer précisément la teneur en eau. Parmi celles-ci, les approches physiques quantifient la quantité d'eau extraite ou la perte de masse observée après la séparation de l'eau des autres composants du produit. Les méthodes chimiques reposent sur des réactions spécifiques de l'eau dans l'échantillon.

Teneur en eau influe sur diverses caractéristiques de l'échantillon, notamment sa densité. Lorsque des résultats approximatifs sont adéquats et que la composition du produit est simple, avec des variations principalement dues à la teneur en eau, il est possible d'établir un étalonnage en fonction de la densité pour estimer la teneur en eau. De même, la polarimétrie et la réfraction peuvent être utilisées comme méthodes pour les solutions dont les principales différences résident dans leur teneur en eau (Isengard ,2001).

III.3.2. Principe

L'échantillon est soumis à une chauffe dans une étuve ventilée à $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à ce que sa masse reste constante. La perte de poids observée est attribuable à l'évaporation de l'eau.

III.3.2. Mode opératoire

- Peser un creuset vide : masse m_0 .
- Déposer 5 g d'échantillon à analyser dans le creuset et peser le creuset plein : masse m_1 .
- Placer le creuset dans une étuve à $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à ce que le poids reste stable.
- Laisser refroidir le creuset dans un dessiccateur pour préserver l'échantillon déshydraté de l'humidité.
- Peser le creuset après déshydratation : masse m_2 .

III.3.3. Expression des résultats

$$\%H = (m_1 - m_2 / m_1 - m_0) \times 100$$

I.4. Détermination du taux de cendres

Les cendres totales représentent les résidus minéraux restants après avoir incinéré un échantillon contenant des substances organiques d'origine animale, végétale ou synthétique (AUBRY, 2013).

I.4.1. Principe

Un chauffage intense dans un four à moufle à 550°C pendant 4 heures assure la destruction complète et l'élimination des matières organiques, lesquelles sont totalement dégradées. Ce processus laisse dans le creuset uniquement les sels minéraux, sous forme de cendre blanche.

III.4.2. Mode opératoire

- Peser le creuset vide : P_0 .
- Mettre le creuset contenant 5g d'échantillon dans un four à 550°C pendant 4 heures : P_1 .
- Laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser le creuset contenant les cendres : P_2 .

III.4.3. Expression des résultats

$$\text{Taux de cendre (\%)} = [(P_2 - P_0) / (P_1 - P_0)] \times 100$$

III.5. Détermination de la densité

La densité est déterminée en divisant le poids d'un objet spécifique par le poids du même volume d'eau pure à la même température (Bouzidi et Aribi ,1998).

III.5.1. Principe

La densité est mesurée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre. Le procédé implique l'immersion du densimètre dans une éprouvette contenant 250 ml de la boisson végétale à analyser. Une fois stabilisé, une lecture directe nous fournit le résultat.

III.5.2. Mode opératoire

- Homogénéiser l'échantillon de boisson végétale.
- Verser dans une éprouvette de 250 ml.
- Plonger le thermo-lactodensimètre avec un moment de rotation et attendre la stabilisation.
- La lecture de la valeur de densité se fait au bord supérieur en fonction de la température.

III.5.3. Expression des résultats

La valeur de la densité est lue directement sur le thermo-lactodensimètre. Si la détermination de la densité n'a pas été réalisée à la température exacte de 20 °C, le résultat doit être ajusté selon les étapes suivantes :

- Si la température est supérieure à 20 °C, la densité corrigée est égale à la densité lue plus 0,2 fois la différence entre la température du liquide et 20 °C.
- Si la température est inférieure à 20 °C, la densité corrigée est égale à la densité lue moins 0,2 fois la différence entre la température du liquide et 20 °C.

I.6. Détermination de la teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse des différentes formules de lait végétal a été évaluée en utilisant la Méthode « Acido-butyrique de GERBER ».

III.6.1. Principe

La matière grasse de la boisson est libérée grâce à un traitement acide approprié, puis elle est séparée et recueillie dans une colonne graduée par centrifugation (Jean,1974)

III.6.2. Mode opératoire

- Utiliser une pipette graduée pour introduire 10 ml d'acide sulfurique (91%) dans un butyromètre, en plaçant le point de la pipette inclinée au contact avec la base du col du butyromètre, afin de dissoudre les constituants de l'échantillon autres que la matière grasse.
- Ajouter 5 ml de l'échantillon en le laissant s'écouler à travers les parois du butyromètre, puis ajouter 1 ml d'alcool iso-amylique (C₅H₁₁OH) pour dissoudre la matière grasse de l'échantillon. Cette dernière se sépare et monte au sommet du butyromètre. Ensuite, boucher soigneusement le butyromètre.
- Travailler sous une hotte. Agiter soigneusement jusqu'à ce que les protéines se dissolvent complètement sous l'action de l'acide sulfurique (jusqu'à disparition totale des grumeaux), puis tourner le butyromètre de haut en bas (ce qui provoque une augmentation de température due à la réaction exothermique).
- Mettre à centrifuger pendant 5 minutes.

III.6.3. Expression des résultats

Après 5 minutes de centrifugation, maintenir le butyromètre verticalement avec la pointe vers le haut, puis effectuer une lecture rapide sur l'échelle du butyromètre.

IV. Les analyses physicochimiques de fromage

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées selon les normes algériennes publiées dans le journal officiel de la république Algérienne (JORA ,1998).

IV.1. Mesure du pH

Une quantité de 10 g de fromage frais broyé dans 90 ml d'eau distillée, puis homogénéisée, a été utilisée pour mesurer le pH à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné avec des solutions tampons.

IV.2. Mesure de l'extrait sec total

La matière sèche est le résidu obtenu après dessiccation d'un échantillon de 3 g de fromage dans une étuve à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Elle est exprimée en pourcentage de la masse fraîche selon la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = [(m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

Dont :

m_0 : poids de la capsule

m_1 : poids de la prise d'essai avant dessiccation

m_2 : poids de la prise d'essai après dessiccation

IV. Mesure de Matière Grasse

-Homogénéiser 3 g de fromage avec de l'acide sulfurique non concentré dans un butyromètre.

-Placer la solution dans un bain-marie à 65°C .

-Ajouter 1 ml d'alcool.

-Centrifuger pendant 5 minutes.

-Procéder à la lecture des résultats.

V. Les analyses microbiologiques de fromage frais

Le contrôle microbiologique est essentiel pour garantir la sécurité sanitaire et la qualité des boissons végétales, comme le nouveau lait à base de pomme de terre enrichi en spiruline et haricot blanc développé dans cette étude. En effet, ces produits à base de végétaux peuvent être sujets à une contamination par des bactéries pathogènes telles que Salmonella ou E. coli, ainsi que par des moisissures et des levures pouvant altérer leur qualité et leur durée de conservation. Une analyse microbiologique rigoureuse permet donc de détecter la présence éventuelle de micro-organismes indésirables, d'identifier leur nature et leur niveau de contamination, et de vérifier que les procédés de fabrication et les conditions de stockage permettent de maîtriser la qualité microbiologique du produit final, assurant ainsi la sécurité des consommateurs et la conformité du nouveau lait végétal aux exigences attendues.

Le contrôle microbiologique de la nouvelle formulation de fromage végétal poursuit deux objectifs principaux :

- ❖ Assurer la sécurité hygiénique et la qualité marchande du produit. Cela passe par l'évaluation de la présence et de la nature des micro-organismes présents dans le produit fini. En effet, la sécurité alimentaire et la durée de conservation du fromage végétal dépendent directement de la charge microbienne.
- ❖ Favoriser un bon rendement de production en minimisant les pertes liées à d'éventuelles conditions de fabrication inadéquates. L'objectif est de limiter au maximum la proportion de produits non conformes ou impropres à la consommation, afin d'optimiser les rendements et les coûts de production.

Ainsi, l'analyse microbiologique permet de s'assurer que la nouvelle formulation de fromage végétal répond aux exigences sanitaires et de qualité, tout en optimisant le processus de fabrication pour une production efficace et rentable. C'est un élément clé dans le développement d'un nouveau produit alimentaire innovant et durable (Jean., 1996).

Les analyses microbiologiques ont été réalisées selon les normes algériennes publiées dans le journal officiel de la république Algérienne (JORA ,2017).

V.1. Recherche et dénombrement de *Salmonella* et *E. coli*

Le genre *Escherichia*, nommé d'après le pédiatre allemand Theodor Escherich, se compose de bacilles Gram-négatifs anaérobies facultatifs appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. La principale espèce du genre, *Escherichia coli*, est largement répandue, étant le principal anaérobie facultatif habitant le gros intestin des humains et des animaux à sang chaud (Gomes,2016).

Les *Salmonella* sont des bâtonnets droits, de taille moyenne, non sporulés, mesurant environ (0,7 - 1,5 × 2,0 - 5,0 µm), Gram-négatifs, non capsulés, non acidorésistants, mais les cellules peuvent être facilement colorées avec des colorants courants, tels que le bleu de méthylène ou le carbol-fuchsine. Elles sont anaérobies facultatives, pouvant bien se développer dans des conditions aérobies et anaérobies (Rahman,2018).

La gélose Hektoen est un milieu utilisé pour l'enrichissement des entérobactéries et permet de différencier les entérobactéries pathogènes. Ce milieu neutralise l'effet inhibiteur des sels biliaires sur certains germes délicats, favorisant ainsi la culture des Shigella. Le pouvoir inhibiteur du milieu agit principalement sur *E. coli*.

V.1.1. Préparation

Une bouteille de gélose Hektoen solide déjà préparée a été placée dans un bain-marie pendant quelques heures jusqu'à ce qu'elle devienne liquide. Une bouteille de gélose Hektoen est nécessaire pour remplir 10 boîtes de Pétri. Après quelques minutes, le milieu redevient solide. Deux dilutions (10^{-1} , 10^{-2}) sont utilisées en ajoutant 1 ml de chaque dilution de E. coli et de Salmonella dans les boîtes par étalement avec une pipette Pasteur. On utilise 5 boîtes pour chaque dilution, ce qui fait 10 boîtes pour *Salmonella* et 5 boîtes pour E. coli.

V.1.2. Incubation

La durée d'incubation est de 24 heures.

V.1.3. Lecture des résultats

En général, lorsque la boîte de Pétri ou le milieu contient une grande quantité de bactéries, la boîte est divisée en quatre sections. Une section est prélevée, les colonies sont comptées, et le nombre obtenu est multiplié par quatre. Le résultat est ensuite exprimé en unités formant des colonies (UFC) par 100 ml d'échantillon.

V.2. Recherche des Staphylocoques

Staphylococcus aureus est une espèce Gram-positif et forme des amas irréguliers en grappes (du grec staphylc, grappe de raisin ; kokkus, baie). Il est non mobile, non sporulant et catalase positive. Il croît rapidement et abondamment en conditions aérobies. Son ADN génomique a une teneur en G + C de 36%. Le peptidoglycane de la paroi cellulaire contient de la lysine comme acide diaminé et le pontage est formé de cinq résidus de glycine, la cible enzymatique de l'enzyme lytique lysostaphine. La paroi cellulaire contient également de l'acide ribitol téichoïque substitué par de la N-acétylglucosamine (Foster ,2002).

Le milieu de Chapman à la mannite est un milieu sélectif utilisé pour la culture des staphylocoques. Cependant, d'autres germes peuvent exceptionnellement y croître ; ainsi, l'identification des *Staphylocoques* doit toujours être confirmée par un examen microscopique.

V.2.1. Préparation

Une bouteille de milieu Chapman solide déjà préparé a été placée dans un bain-marie pendant quelques heures jusqu'à ce qu'il devienne liquide. Une bouteille de milieu Chapman est nécessaire pour remplir 10 boîtes de Pétri. Après avoir attendu quelques minutes pour que le

milieu redevienne solide, deux dilutions (10^{-1} , 10^{-2}) sont utilisées. On ajoute 1 ml de chaque dilution dans chaque boîte (5 boîtes pour chaque dilution).

V.2.2. Incubation

Les résultats sont observés après une incubation de 24 à 48 heures à 37 °C.

V.2.3. Lecture des résultats

En général, lorsque la boîte de Pétri ou le milieu contient une grande quantité de bactéries, la boîte est divisée en quatre sections. Une section est alors prise et les colonies sont comptées. Le nombre obtenu est multiplié par quatre, et le résultat est exprimé en unités formant des colonies (UFC) par 100 g d'échantillon.

V.3. Recherche de *Listeria Monocytogène*

Listeria monocytogenes est un important pathogène alimentaire Gram positif responsable d'infections avec un taux de mortalité élevé chez les personnes âgées, les femmes enceintes, les nouveau-nés et les populations immunodéprimées (Ryser,2021).

Le milieu MH (**M**otility and **H**ydrolysis) est un milieu sélectif et différentiel utilisé pour la recherche de *Listeria monocytogenes* dans les aliments. Il contient des sels biliaires et des colorants qui permettent de différencier *Listeria Monocytogène* des autres bactéries.

V.3.1. Préparation

Homogénéiser le fromage dans un mélangeur stérile, puis peser 1 g de l'homogénéisât. Suspendre ce gramme d'homogénéisât dans 9 ml d'eau physiologique. Prélever 1 ml de cette suspension et l'étaler sur la surface d'une boîte de Pétri contenant du milieu MH. Répéter l'opération pour une autre boîte de Pétri.

V.3.2. Incubation

Incuber les boîtes de Pétri à 37°C pendant 48 heures.

V.3.3. Lecture

Après 48 heures d'incubation, observer les boîtes de Pétri sous une lampe à UV. Rechercher des colonies rondes, convexes, de couleur gris-bleu entourées d'une zone de précipitation.

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats et discussion

I. Caractéristiques physicochimiques des boissons végétales élaborées

I.1. Potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs de pH retrouvées pour les trois essais de boisson de pomme de terre et d'haricot sont représentées dans la figure suivante :

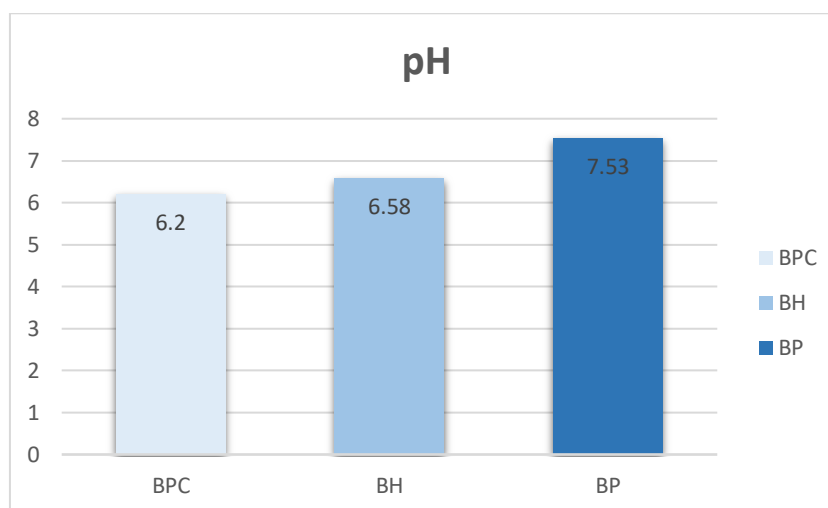


Figure 02 : Valeurs de pH des trois boissons végétales BCH, BH et BP

Les boissons à base de haricots et de pois chiches affichent des valeurs de pH de 6,58 et 6,20 respectivement, suggérant une légère acidité pour ces deux boissons. En revanche, la boisson à base de pomme de terre présente un pH de 7,53, supérieur aux autres boissons.

D'autre part, les résultats montrent que le lait de soja a un pH de $7,395 \pm 0,005$, indiquant une légère alcalinité, tandis que le lait d'amande a un pH de $6,920 \pm 0,010$, ce qui est proche de la neutralité (Preeti *et al.*, 2018). En revanche, la boisson au lupin (10 %) affiche un pH de 5,8, indiquant une acidité plus élevée. La boisson au pois chiche (10 %) présente un pH de 6,9 (Mariana *et al.*, 2020).

Ces résultats soulignent les différences de niveaux de pH entre les diverses boissons végétales, pouvant être attribuées à leur composition chimique et à la présence de certains ingrédients.

I.2. Acidité titrable

Les résultats obtenus indiquent une légère différence d'acidité entre les boissons à base de haricot (BH) et de pois chiche (BP). La boisson de pomme de terre présente une acidité estimée

à 0,5, tandis que les boissons à base de haricot et de pois chiche affichent des valeurs d'acidité de 1 et 1,2 respectivement. Cette différence reste néanmoins légère.

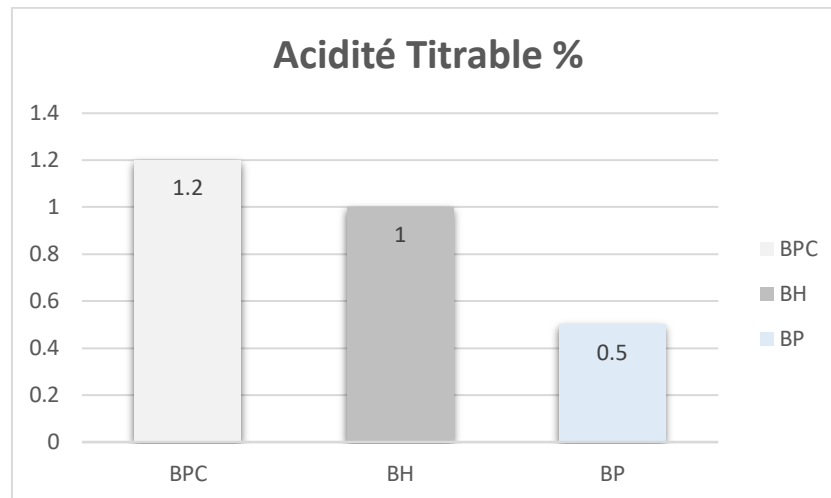


Figure 03 : valeurs de l'acidité titrable des trois boissons végétales BCH, BH et BP.

Cependant, il est important de noter que l'acidité titrable des boissons à base de haricot et de pois chiche est nettement plus élevée. Cette mesure indique une acidité plus prononcée par rapport à la boisson de pomme de terre. Cette augmentation de l'acidité peut être attribuée à des facteurs tels que des modifications dans la composition des haricots et des pois chiches.

En revanche, les résultats montrent que le lait de soja présente une acidité de $0,099 \pm 0,003$ %, tandis que le lait d'amande affiche une acidité de $0,390 \pm 0,003$ %, et le lait de vache a une acidité de $0,180 \pm 0,006$ %. Ces résultats mettent en évidence des différences claires dans les niveaux d'acidité entre le lait de soja et le lait d'amande (Preeti *et al.*, 2018).

I.3. Teneur en extrait sec

Les résultats de l'analyse indiquent que les boissons à base de haricots blancs et de pois chiches présentent des niveaux d'extrait sec similaires, avec des valeurs respectives de 3,80% et 3,81%. En revanche, la boisson à base de pomme de terre présente une valeur supérieure de 8,6%. Ces données suggèrent qu'il existe une différence significative en termes de taux d'extrait sec entre la boisson de pomme de terre et celles de haricots blancs et de pois chiches. Cependant, il est important de noter que les boissons de haricots blancs et de pois chiches présentent des valeurs d'extrait sec moins élevées que la boisson de pomme de terre. Cette disparité peut être attribuée aux caractéristiques intrinsèques des légumineuses.

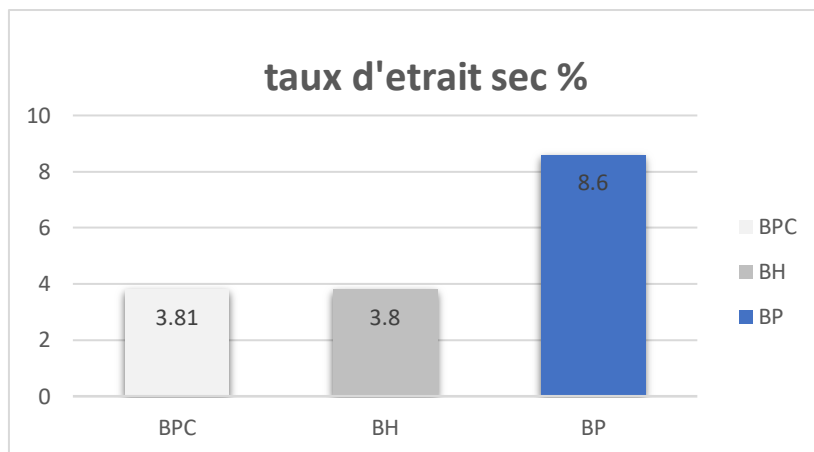


Figure 04 : Teneur en extrait sec des trois boissons végétales BCH, BH et BP.

Le lait de soja présente un taux d'extrait sec (8,11 %) presque similaire à celui observé dans BP, tandis que le lait d'amande affiche un taux nettement plus élevé ($27,96 \pm 0,301$ %) (Mariana *et al.*, 2015. Yetunde *et al.*, 2013).

I.4. Teneur en cendre

La boisson de pomme de terre a un taux de cendres de 3,20%, tandis que les boissons à base de haricots blancs et de pois chiches ont des taux de cendres proches, respectivement de 0,73% et 0,83%. Il est également à noter que la boisson de pomme de terre présente un taux d'extrait sec supérieur, comparé aux boissons à base de haricots blancs et de pois chiches, qui ont des taux de minéraux faibles.

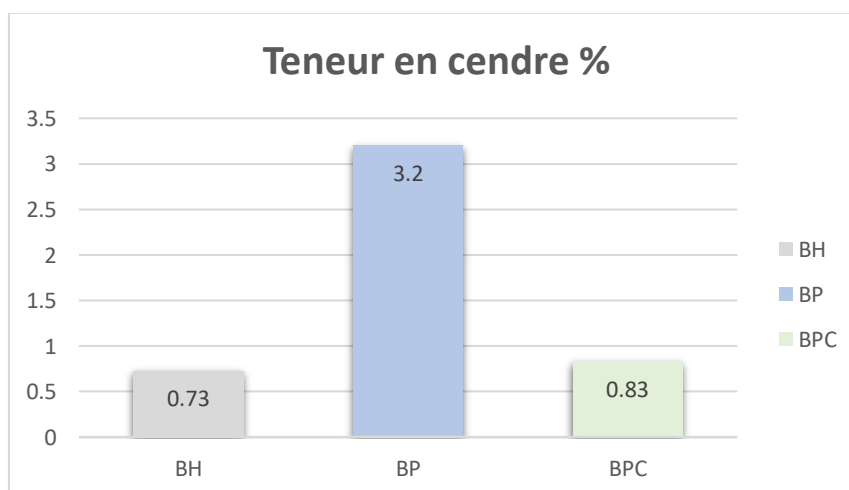


Figure 05 : Teneur en cendre des trois boissons végétales BCH, BH et BP.

D'après une étude comparative réalisée sur le lait de soja, qui a présenté un taux de cendres de $0,807 \pm 0,009$ %, le lait d'amande, qui a présenté un taux de cendres de $3,023 \pm 0,009$ %, et le

lait de vache utilisé comme témoin, qui a présenté un taux de cendres de 0,717 %, les résultats ont clairement indiqué que le témoin (lait de vache) présentait une teneur en minéraux plus faible par rapport aux autres laits végétaux (Yetunde,2013).

I.5 . Densité

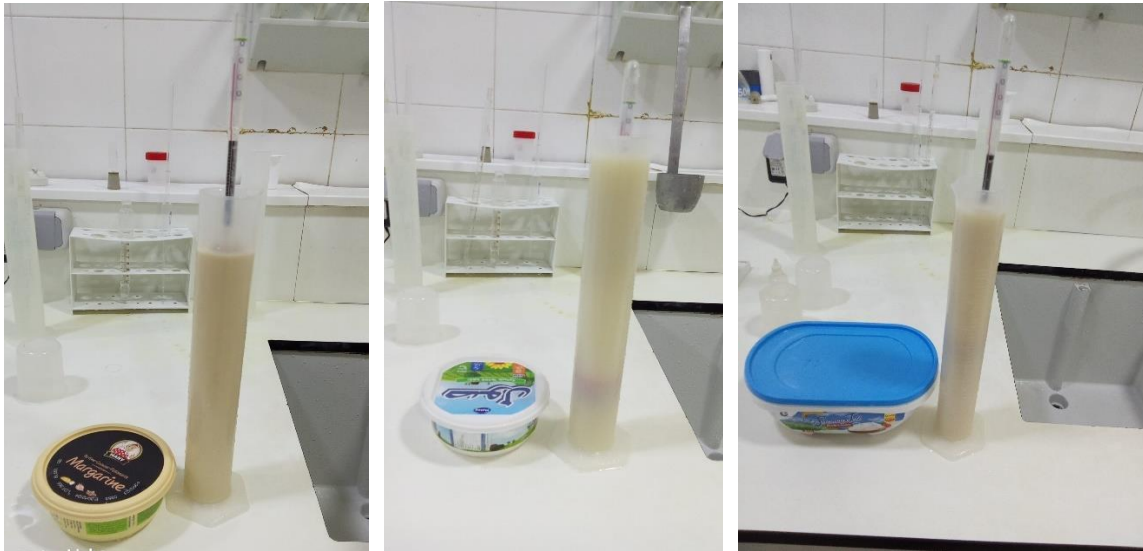


Figure 06: les densités des trois laits végétaux BCH,BH et BP

Les valeurs de densité obtenues pour les trois essais de boissons à base de pommes de terre, de haricots et de pois chiches sont présentées dans la figure 6. La boisson à base de pommes de terre présente une densité de 3,1, celle à base de pois chiches une densité de 3,0, et celle à base de haricots une densité de 2,9. Sur la base de ces résultats, il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois boissons en termes de densité. Toutefois, la densité de la boisson à base de haricots est légèrement inférieure à celles des boissons à base de pommes de terre et de pois chiches.

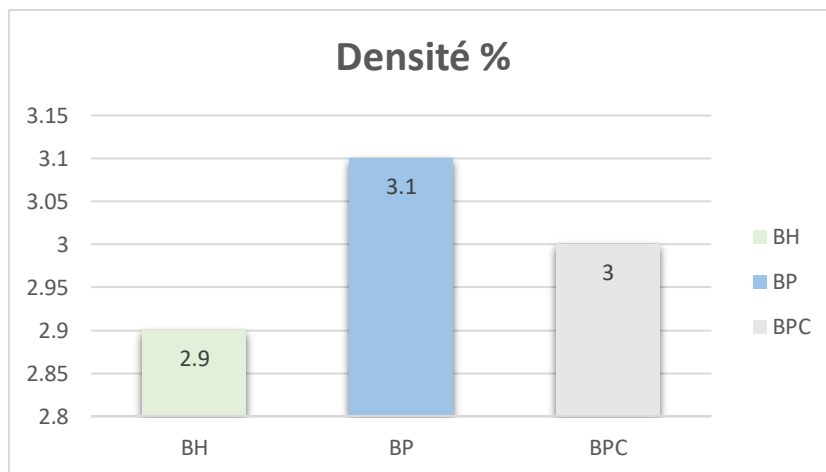


Figure 07 : Valeurs de densité des trois laits végétaux BCH,BH et BP.

En comparant les densités des trois boissons à base de pommes de terre, de haricots et de pois chiches avec celle du lait de vache, qui est de 1,032, on constate que les densités des boissons végétales sont généralement supérieures à celle du lait (Hana *et al.*, 2019. ALLOUI *et al.*, 2007).

I.6. Matière grasse

Selon les résultats obtenus, la teneur en matière grasse de la boisson de pommes de terre est de 1,35%, tandis que celle des pois chiches est de 2%. En comparaison, la boisson à base de haricots présente une teneur en matière grasse plus élevée, à savoir 3%. La teneur en matière grasse des haricots étant supérieure à celle des pois chiches et des pommes de terre, cela peut contribuer à une texture plus riche et crémeuse ainsi qu'à une saveur plus prononcée.

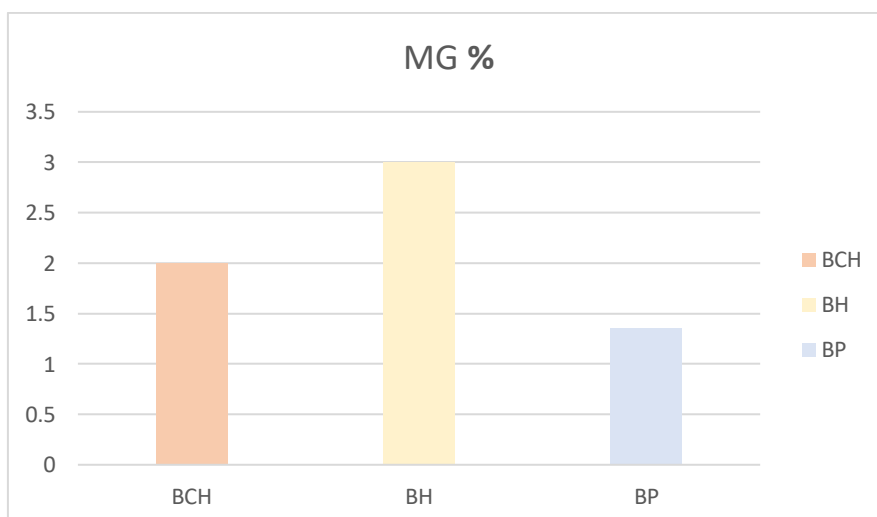


Figure 08 : Teneur en Matière grasse des trois boissons végétale BCH, BH et BP.

Il est important de noter que le lait, en tant que produit d'origine animale, contient également des matières grasses, avec une concentration de 38 g/l (MATHIEU,1998).

Le cholestérol est une substance liée aux graisses. Cependant, les boissons végétales contiennent une quantité négligeable, voire nulle, de cholestérol (Hoenselaar,2012. Malhotra,2013).

Les résultats obtenus montrent que les boissons végétales à base de pommes de terre, de haricots et de pois chiches ont une teneur en matière grasse plus faible que celle du lait de vache. Cela peut être avantageux pour les personnes cherchant à réduire leur consommation de graisses ou de cholestérol.

Les alternatives laitières, comme le lait d'avoine, le lait de noix de coco et le lait de soja, ont des teneurs en matières grasses plus faibles, avec respectivement 1,1 %, 2,1 % et 2,07 %. Ces valeurs sont similaires à celles observées pour BP, BH et BPC (ANSES).

II. Caractéristiques physico-chimique des fromages végétaux élaborés

II.1. Potentiel hydrogène (pH)

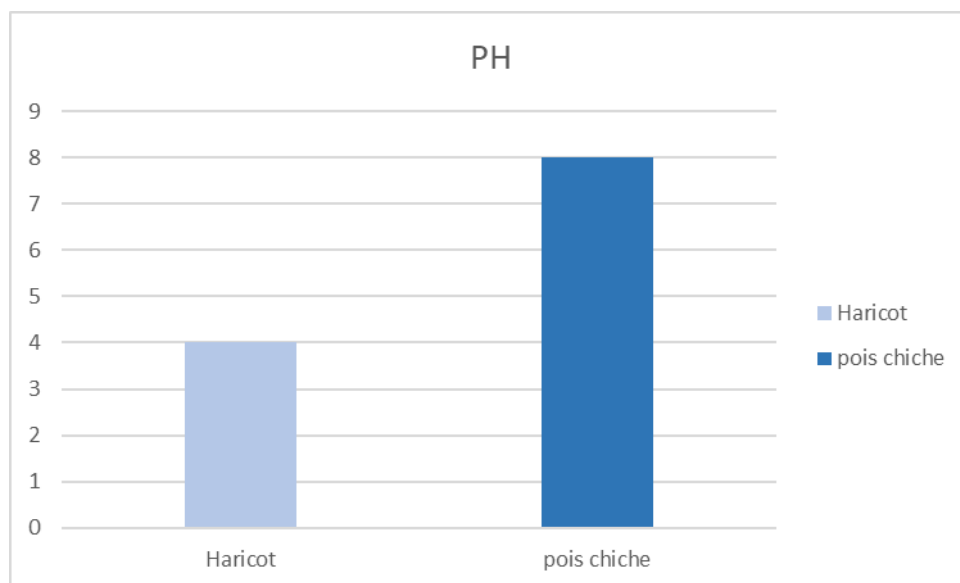


Figure 09 : Valeurs de pH des deux fromages

Les résultats de pH obtenus pour les fromages végétaux à base de haricots (4,95) et de pois chiches (4,67) sont très satisfaisants, car ils se situent dans la fourchette normative de 4,65 à 5,25 attendue pour ce type de produits (Oyeyinka,2019). Ce pH optimal permet d'assurer une bonne texture et consistance, de favoriser le développement des flores bactériennes souhaitées,

de prévenir la prolifération de microorganismes indésirables et de garantir une bonne stabilité et durée de conservation. La légère différence de pH entre les deux variantes montre que la source végétale utilisée peut influencer les caractéristiques finales du produit, ouvrant des perspectives d'ajustement des recettes et procédés pour optimiser les propriétés organoleptiques et la qualité globale des fromages végétaux. Dans l'ensemble, ces résultats très encourageants démontrent que les équipes de recherche et de développement ont réussi à développer des fromages végétaux conformes aux attentes de l'industrie en termes de sécurité et de qualité

II.2. L'extrait sec

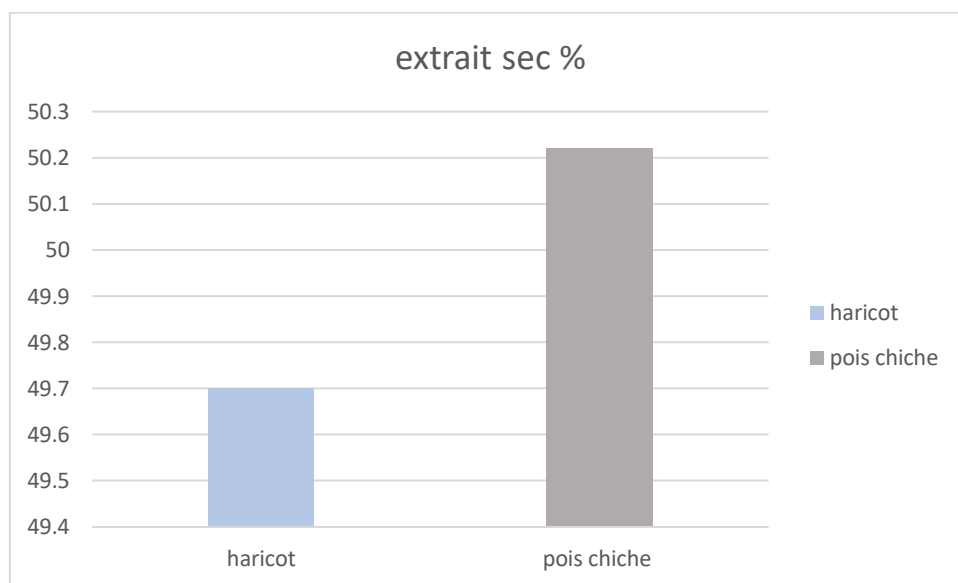


Figure 10 : Valeurs d'extrait sec des deux fromages

L'extrait sec du fromage de haricot est de 50,22 %, ce qui est également un résultat élevé par rapport à celui du fromage de pois chiche, qui est de 49,7 %. En général, les fromages végétaux ont une teneur en extrait sec inférieure à celle des fromages laitiers traditionnels (56,75 % à 64,13 %) en raison de leur composition différente (Aday *et al.*, 2014), notamment l'absence de matières grasses laitières. Les valeurs d'extrait sec observées pour les fromages végétaux semblent toutefois relativement élevées, ce qui indique probablement une bonne qualité de ces produits. La différence avec les fromages traditionnels s'explique par les différences de composition et de procédés de fabrication entre ces deux catégories de fromages.

II.3. Matière Grasse

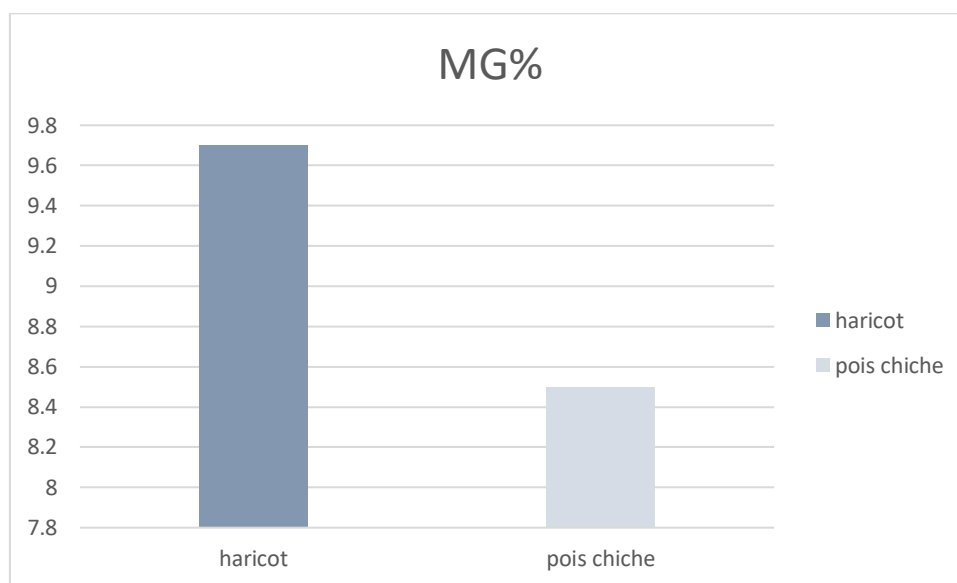


Figure 11 : Valeurs de MG des deux fromages

Les résultats présentés montrent que la teneur en matière grasse des fromages végétaux de haricot (9,7%) et de pois chiche (8,5%) est nettement plus faible que celle des fromages traditionnels, qui varie entre 25,25% et 33% (Aday *et al.*, 2014). Cette différence s'explique par la composition distinctive des fromages végétaux, qui n'ont pas la même composition en matières grasses que les fromages laitiers traditionnels. Cependant, les valeurs de matière grasse observées pour les fromages végétaux restent relativement élevées pour ce type de produits, indiquant probablement une formulation de qualité visant à se rapprocher des caractéristiques des fromages traditionnels. L'écart observé avec la fourchette des fromages traditionnels s'explique principalement par l'absence de matières grasses laitières dans la composition des fromages végétaux. Dans l'ensemble, ces résultats soulignent les différences de composition entre les fromages végétaux et les fromages traditionnels, tout en mettant en évidence la qualité des fromages végétaux étudiés. Les résultats obtenus montrent que les fromages végétaux à base d'haricots blancs et de pommes de terre, ainsi que ceux à base de pois chiches et de pommes de terre, ont une teneur en matière grasse plus faible que les fromages traditionnels. Cette caractéristique peut être bénéfique pour les personnes cherchant à réduire leur consommation de matières grasses ou de cholestérol.

III. Caractéristiques microbiologiques des fromages végétales élaborées

Les résultats de l'analyse microbiologique, présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 02 : les résultats des analyses microbiologiques des fromages végétaux

Micro-organisme	Fromage d'haricot et de pomme de terre	Fromage de pois chiche et de pomme de terre	Reference (JORA, 2017)	
			m	M
<i>E.coli</i>	Absence	Absence	10 ²	10 ³
<i>Staphylocoques aureus</i>	Absence	Absence	10 ²	10 ³
<i>Salmonella</i>	Absence	Absence	Absence dans un 25 g	
<i>Listeria Monocytogène</i>	Absence	Absence	100	

Ces résultats ont révélé l'absence d'*Escherichia coli*, de *Staphylococcus aureus*, de *Salmonella* et de *Listeria monocytogenes* dans les deux fromages végétaux : celui à base de haricots et pomme de terre, ainsi que celui à base de pois chiches et pomme de terre. Cela indique une qualité hygiénique satisfaisante de notre produit d'un point de vue microbiologique.

L'absence totale des germes recherchés s'explique par le respect rigoureux des bonnes pratiques d'hygiène lors de la fabrication et par l'efficacité du traitement thermique appliqué. De plus, les boissons fermentées utilisées pour ces fromages ont démontré une bonne qualité microbiologique, conformément aux spécifications réglementaires en vigueur, garantissant ainsi l'absence de risques sanitaires pour le consommateur.

IV. Caractéristiques sensorielles

Il serait réducteur de considérer l'analyse sensorielle comme une simple méthode de mesure, car elle constitue avant tout un outil de conception. Elle est essentielle pour contrôler la qualité d'un produit et joue un rôle crucial dans le développement et la conception de nouveaux produits. Lorsque la création d'une perception de différence est nécessaire, les tests d'évaluation sensorielle permettent de valider ou d'infirmer cette perception. Ils aident à orienter les efforts

de conception afin d'améliorer les stimuli perçus par le consommateur (Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 1997).

Une analyse sensorielle impliquant un panel de 20 dégustateurs a été réalisée, évaluant six attributs (goût, consistance, couleur, odeur, arôme et acceptabilité) de trois différentes formules de boissons végétales à base de pomme de terre. Le profil sensoriel de ces deux fromages est représenté dans une figure fournie dans le document de référence.

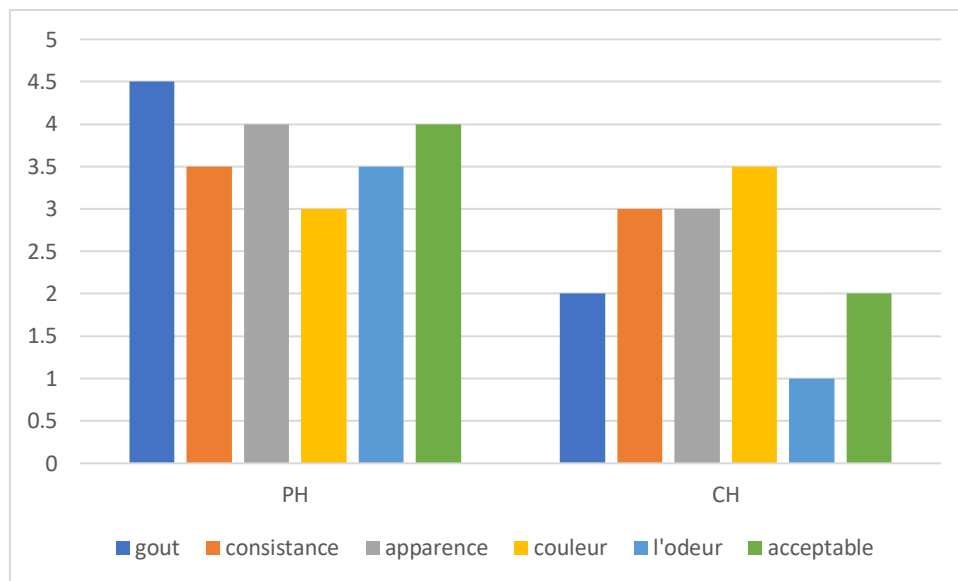


Figure 12 : Plan de comparaison des évaluations sensorielles de 2 fromage végétaux PH : fromage de haricot+pomme de terre /CH : fromage de pois chiche +pomme de terre

Les résultats présentés ont été analysés et l'étude sensorielle a révélé des différences dans la perception des divers attributs des deux produits à base de légumineuses testés, à savoir le fromage de pois chiche (CH) et le fromage d'haricots (PH). Le fromage d'haricots (PH) s'est particulièrement distingué en obtenant des scores exceptionnellement élevés pour la consistance, l'odeur, le goût et l'apparence, le plaçant ainsi en tête des produits testés.

Pour le produit CH, les évaluations ont été équilibrées entre les critères variés, avec une appréciation positive du goût, de l'odeur et de l'acceptabilité globale. De plus, l'apparence et la couleur ont été évaluées de manière favorable, soulignant sa capacité à répondre positivement aux attentes des dégustateurs.

Ces variations entre les caractéristiques sensorielles perçues et l'acceptabilité générale suggèrent que l'acceptation d'un produit alimentaire ne dépend pas uniquement de ses caractéristiques sensorielles, mais peut aussi être influencée par des préférences personnelles ou d'autres facteurs non évalués dans cette étude.

En résumé, cette analyse comparative met en lumière les points forts du fromage d'haricots, tout en mettant l'accent sur les domaines qui pourraient nécessiter des améliorations pour optimiser son acceptabilité générale. Ces résultats sont d'une importance capitale pour guider le développement de nouveaux produits à base de légumineuses, visant à répondre aux attentes des consommateurs tout en maintenant des normes élevées de qualité sensorielle.



CONCLUSION

Conclusion

En conclusion, cette étude de recherche a permis une exploration approfondie et minutieuse de la formulation d'une nouvelle recette de fromage à base de lait de haricots et de pommes de terre. Ce projet a exigé un investissement de temps considérable, avec une durée totale de cinq mois pour mener à bien l'ensemble des processus de développement et d'analyses. Malgré l'absence de certains matériaux nécessaires, les résultats obtenus au cours de cette étude sont encourageants.

Les analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles ont démontré la bonne qualité du fromage fabriqué. Cette nouvelle formule de fromage ouvre de nouvelles perspectives pour l'industrie alimentaire. Non seulement ce fromage offre une alternative intéressante aux produits laitiers traditionnels, mais il présente également des avantages nutritionnels grâce à la présence de haricots, une source riche en protéines. Enfin, cette recherche apporte une contribution significative à l'exploration de nouvelles sources d'aliments nutritifs.

Les résultats encourageants de cette étude incitent à approfondir la recherche pour optimiser davantage la formule de fromage à base de haricots et de pommes de terre, en vue de créer un produit encore plus nutritif et attractif pour les consommateurs. Cette initiative démontre la pertinence de la recherche dans le domaine de l'alimentation pour répondre aux besoins en constante évolution des consommateurs soucieux de leur santé et de l'environnement.



BIBLIOGRAPHIE

A

*ALLOUI-LOMBARKIA O., GHENNAM E-H., BACHA A., ABEDEDDAIM M. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques du lait de chamelle et séparation de ses protéines par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. Laboratoire de Technologie Alimentaire, Dépt. D'Agronomie, Faculté des Sciences, Université de Batna. Renc. Rech. Ruminants, 2007, 14.

* Aday, S., & Karagul Yuceer, Y. (2014). Physicochemical and sensory properties of Mihalic cheese. *International Journal of Food Properties*, 17(10), 2207-2227.

*Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). Official Method 991.20: Nitrogen (Total) in Foods. In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20th ed.).

*AUBRY M., 2013 : Détermination de la teneur en cendres. Agence fédérale pour la sécurité de la Chaîne alimentaire MET-LFSAL-006, revue : Cendres brutes.

*Augustin J, Johnson SR, Teitzel C, True RH, Hogan JM, Toma RB, Shaw RL, Deutsch RM. Changes in the nutrient composition of potatoes during home preparation: II. Vitamins. *Am. Potato J* 1978 ; 55 :653-662.

*Aykroyd et Doughty. (1982). Les graines de légumineuses humaines. Deuxième Edition

*Ayvaz H, Bozdogan A, Giusti MM, Mortas M, Gomez R, Rodriguez-Saona LE. Improving the screening of potato breeding lines for specific nutritional traits using portable midinfrared spectroscopy and multivariate analysis. *Food chem* 2016 ; 211:374-382.

*Amrouche, F. (2020). Les laits végétaux ou véganes. *Génie Alimentaire*. Retrieved 15 Mai 2023 from <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article294>

B

*BALIGA M., BALIGA B., KANDATHIL S., BHAT H et VAYALIL P., 2011 : A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L. *Food Research International*, 44, 1812-1822.

* Biesiekirski, J.R. ; Peters, S.L. ; Newnham, E.D. ; Rosella, O. ; Muir, J.G. ; Gibson, P.R. No effects of gluten in patients with self-reported non-celiac gluten sensitivity following dietary reduction of low-fermentable, poorly absorbed, short-chain carbohydrates. *Gastroenterology* 2013, 145, 320–328.

*Besançon. (1976). Besoins alimentaires et qualité nutritionnelle des aliments, in Cheftel.C., Chefter. H., Besançon. P ., introduction a la biochimie et à la technologie des aliments. Volume 2.Lavoisier Tee et Doc.Paris. 1979. pages: 87-134

*Biswas S, Sircar D, Mitra A, De B. Phenolic constituents and antioxidant properties of some varieties of Indian rice. *Nutr Food Sci.* 2011;41(2):123–135.

*Boukid, F., Lamri, M., Dar, B. N., Garron, M., & Castellari, M. (2021). Vegan Alternatives to Processed Cheese and Yogurt Launched in the European Market during 2020: A Nutritional Challenge? *Foods*, 10.

*Brown CR. Antioxidants in potato. *Am J Potato Res* 2005; 82:163-172.

*Brown CR. Breeding for phytonutrient enhancement of potato. *Am. J. Potato Res* 2008; 85:298.

C

*Camire ME, Kubow S, Donnelly DJ. Potatoes and human health. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2009; 49:823-840.

*Cayot N, Osson A. (1997). Farines et protéine de pois chiche : données récentes sur l'application en alimentation humaine. *Ind. Ali. Et Agri*, 114 ; n 29, pp20-28.

*CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 –Cond. 1.1, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015, 9 p.

*Chavan, R. S., & Jana, A. (2007). Cheese substitutes: An alternative to natural cheese-A review. *International Journal of Food Science, Technology & Nutrition*2, 25-39.

*Chen, Bingcan, David Julian McClements, et Eric Andrew Decker. 2013. « Design of Foods with Bioactive Lipids for Improved Health ». *Annual Review of Food Science and Technology* 4 (1) : 35_56. <https://doi.org/10.1146/annurev-food032112-135808>.

*Chen Z, Young TE, Ling J, Chang SC, Gallie DR. Increasing vitamin C content of plants through enhanced ascorbate recycling. *Proc. Natl. Acad. Sci* 2003; 100:3525-3530.

*Combe E., Achi T., Pion. (1991). Utilisation digestive et métabolique comparée de fève de la lentille et du pois chiche chez le rat. *Raportd Nutr Dere* 31 (6), pp631-646. Comelade E, 1990. *Technologie et hygiène alimentaire : les nutriments*. Paris : Editions JACQUES LANORE, 144p.

D

*Daniel BOURDON et Henri GIELFRICH Chimie, E.N.S.A. Rennes. OBSERVATIONS SUR LA MÉTHODE DE GABRIEL BERTRAND POUR LE DOSAGE DES SUCRES RÉDUCTEURS. SCIENCES AGRONOMIQUES RENNES, 1972.

*Davies CS, Ottman MJ, Peloquin SJ. Can germplasm resources be used to increase the ascorbic acid content of stored potatoes. *Am. J. Potato Res* 2002; 79:295-299.

F

*Farnworth, E. R. (2005). Kefir—a complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2(1), 1-17. <https://doi.org/10.1616/1476-2137.13938>

*Fiorda, F. A., de Melo Pereira, G. V., Thomaz-Soccol, V., Rakshit, S. K., Pagnoncelli, M. G. B., de Souza Vandenberghe, L. P., & Soccol, C. R. (2017). Microbiological, biochemical, and functional aspects of sugary kefir fermentation-A review. *Food Microbiology*, 66, 86-95.

*Foster, T. J. (2002). *Staphylococcus aureus*. *Molecular medical microbiology*, 839-888.

*Friedman M. Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. *J. Chromatogr. A* 2004; 1054:143-155.

G

*Gibson S, Kurilich AC. The nutritional value of potatoes and potato products in the UK diet. *Nutr* 2013; 38:389-399.

*Gomes, T. A., Elias, W. P., Scaletsky, I. C., Guth, B. E., Rodrigues, J. F., Piazza, R. M., ... & Martinez, M. B. (2016). Diarrheogenic *Escherichia coli*. *Brazilian journal of microbiology*, 47, 3-30.

*Goyer A, Haynes KG. Vitamin B 1 content in potato: effect of genotype, tuber enlargement, and storage, and estimation of stability and broad-sense heritability. *Am J Potato Res* 2011; 88:374-385.

* Gulitz, A., Stadie, J., Ehrmann, M. A., Ludwig, W., & Schleifer, K. H. (2011). The microbial diversity of water kefir. *International Journal of Food Microbiology*, 151(3), 284-288.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.09.016>

H

* Haase NU. Healthy aspects of potatoes as part of the human diet. *Potato Res* 2008; 51:239-258.

* Hamid AA, Aiyelaagbe OO, Usman LA, Ameen OM, Lawal A. Antioxidants: Its medicinal and pharmacological applications. *Afr. J. Pure Appl. Chem* 2010; 4:142-151.

*Hana Youssef Learoussy, 1 Aly Yahya Dartige, Mohamed Sid' Ahmed Kankou, Brahim Ahmed Dick, Lotfi Aarab. Etude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait de chamelle. *Journal de la Société Chimique de Mauritanie. Proceeding des JIC2019 - Proceeding of the JIC2019 : 02 (2020) 37-42.*

* Harper, A. R., Dobson, R. C., Morris, V. K., & Moggré, G. J. (2022). Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 15(5), 1404-1421.

* Heinz-Dieter Isengard, Water content, one of the most important properties of food, *Food Control*, Volume 12, Issue 7, 2001, Pages 395-400.

*Hijmans RJ. The effect of climate change on global potato production. *Am. J. Potato Res* 2003; 80:271-279.

*Hoenselaar, R : Saturated fat and cardiovascular disease : the discrepancy between the scientific literature and dietary advice. *Nutrition* 2012 ;28 :118-123.

* <https://ciqual.anses.fr/#/aliments/18904/boisson-au-riz-nature-preemballee>.

*<https://ciqual.anses.fr/#/aliments/18905/boisson-a-base-d'avoine-nature-preemballee>

*Hutkins, R. W. (2006). *Microbiology and Technology of Fermented Foods*. Blackwell Publishing.

J

* Jean Tchango Tchango., 1996 : Qualité microbiologique des jus et nectars de fruits exotiques : croissance et thermo résistance des levures d'altération. Lille.434p

*Jean Pien. La détermination de la teneur en matière grasse des laits homogénéisés par la méthode Gerber. *Le Lait*, 1974, 54 (533_534), pp.153-164. Hal-00928648.

K

* Kamath, R., Basak, S., & Gokhale, J. (2022). Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues-a review. *LWT*, 155, 112991.

*Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern [New method for the determination of nitrogen in organic substances]. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22(1), 366-382.

L

*L'ingénierie centrée sur l'homme - Rapport issu des Technologies Clés, disponible au centre de documentation du Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 1997, pp 17-19, 29-49.

* Leite, A. M. O., Miguel, M. A. L., Peixoto, R. S., Rosado, A. S., Silva, J. T., & Paschoalin, V. M. F. (2013). Microbiological, technological and therapeutic properties of kefir: a natural probiotic beverage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(2), 341-349. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013005000031>

* Lim S, Xu J, Kim J, Chen TY, Su X, Standard J, Carey E, Griffin J, Herndon B, Katz B, Tomich J. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato p40 in colorectal cancer prevention. *Mol Nutr Food Res*. 2013; 57:1908-19017 .

*Laureys, D., & De Vuyst, L. (2014). The water kefir grain inoculum determines the characteristics of the resulting water kefir fermentation process. *Journal of Applied Microbiology*, 116(4), 862-877. <https://doi.org/10.1111/jam.12409>

M

*Malhotra, A : Saturated fat is not the major issue. *British Medical Journal* 2013 Oct 22 ;347 : f6340. doi : 10.1136/bmj. f6340.

*Marco, M.L., Heeney, D.D., Binda, S., Cifelli, C.J., Cotter, P.D., Foligné, B., Gänzle, M.G., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E.J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current opinion in biotechnology*, 44, 94-102.

*Marsh, A. J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2013). Sequence-based analysis of the microbial composition of water kefir from multiple sources. *FEMS Microbiology Letters*, 348(1), 79-85.

*Marshall, V. M., & Cole, W. M. (1985). Methods for making kefirs. *Journal of Dairy Research*, 52(3), 451-456. <https://doi.org/10.1017/S0022029900024124>

*Mariana Lopes, Chloé Pierrepont, Carla Margarida Duarte, Alexandra Filipe, Bruno Medronho, and Isabel Sousa. Legume Beverages from Chickpea and Lupin, as New Milk Alternatives. *Foods* 2020, 9, 1458.

*Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknyte, M., & Noni, I.D. (2018). Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science and Technology*, 74, 158-169.

*MATHIEU J, 1998. Initiation à la physico-chimie de lait. Paris : Lavoisier, 215p.

*Mathilde Burguière, Peter Vanrolleghem, Nicolas Dietrich. Fractionnement des Carbohydrates et des Lipides : Fractionnement des Carbohydrates et des Lipides. (2012).

*Mefleh, M., Pasqualone, A., Caponio, F., & Faccia, M. (2022). Legumes as basic ingredients in the production of dairy-free cheese alternatives: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(1), 8-18.

N

*N. Bouzidi et F. Aribi, 'Valorisation et Étude de la Qualité Nutritionnelle, Microbiologique et Organoleptique du Sirop de Dattes 'RUB' et son Utilisation', Projet de Fin d'Etude, Sciences Agronomiques, Spécialité Technologie Agro-Alimentaire, 1998.

O

* Oyeyinka, A. T., Odukoya, J. O., & Adebayo, Y. S. (2019). Nutritional composition and consumer acceptability of cheese analog from soy and cashew nut milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14285.

P

*P. Munier, Le Palmier Dattier, 1973.

* Page E, Hanning FM. Vitamin B6 and niacin in potatoes. Retention after storage and cooking. J Am Diet Assoc 1963; 42:42-45.

*Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., & Sharma, R. (2020). Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(18), 3005-3023.

*Preeti Kundu, Jyotika Dhankhar¹ and Asha Sharma. Development of Non Dairy Milk Alternative Using Soymilk and Almond Milk. *Current Research in Nutrition and Food Science*. ISSN: 2347-467X, Vol. 06, No. (1) 2018, Pg. 203-210.

R

*Rahman, H. S., Mahmoud, B. M., Othman, H. H., & Amin, K. (2018). A review of history, definition, classification, source, transmission, and pathogenesis of salmonella: a model for human infection. *Journal of Zankoy Sulaimani*, 20(3-4), 11-19.

*Ray, M. c. (2016). Les laits végétaux sont-ils bons pour la santé ? Futura. Consulté le 27/04/2024 from <http://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/nutrition-laits-vegetaux-sont-ils-bons-sante-6889>.

* Rietjens IM, Boersma MG, de Haan L, Spenkelink B, Awad HM, Cnubben NH, van Zanden JJ, van der Woude H, Alink GM, Koeman JH. The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Environ toxicol phar* 2002; 11:321-333.

*Ryser, E. T. (2021). Listeria. In *Foodborne Infections and Intoxications* (pp. 201-220). Academic Press.

S

* Said HM. Intestinal absorption of water-soluble vitamins in health and disease. *Biochem J* 2011 ; 437 :357-372.

*A. Z. (2005). Santé Canada. Fichier canadien sur les éléments nutritifs. Pois chiche.

* 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, 3408-3423.

* Skrabule I, Muceniece R, Kirhnere I. Evaluation of vitamins and glycoalkaloids in potato genotypes grown under organic and conventional farming systems. *Potato Res* 2013; 56:259-76.

T

*Tangyu M, Muller J, Bolten CJ, Wittmann C. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9263-9275.

*Thémavision, Les boissons végétales attaquent, le lait contre-attaque [en ligne]. (Consulté le 27/04/2024). http://www.themavision.fr/jcms/rw_458570/les-boissons-vegetales-attaquent-le-lait contre-attaque.

*Tripathi M. K, Mangaraj S, Kumar M, Sinha L. K, Giri S. K, Ali N. Effect of processing conditions on the quality and beany flavour of soymilk. *Current Science* : 109 : 1165-1169 : (2015).

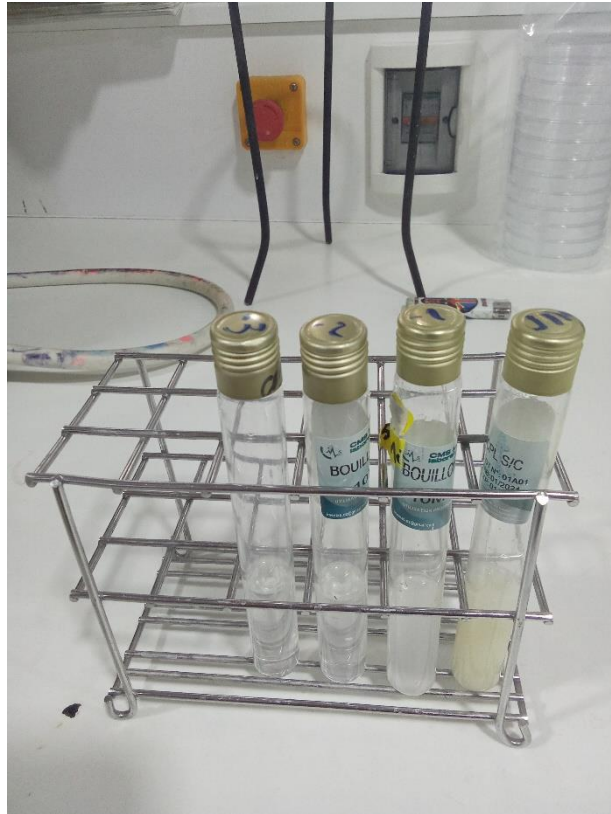
Y

*Yetunde A, Udofia E, Ukpong S. Nutritional and sensory properties of almond seed milk. *World Journal of Dairy and Food Sciences* : 10 : 117-121 : (2013).

Annexe

Annexe

Annexe 01 : Les dilutions décimales



Annexe 02 : Boissons et Fromage d'haricot blanc et de pomme de terre



Annexe 03 : fromage frais à base d'haricot blanc et de pomme de terre



Annexe 04 : les cendres de BCH, BH et BP



Annexe 05 : PH de laits végétaux de pomme de terre et de le haricot

