

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude

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

Option : Sécurité Agro alimentaire et Assurance de Aualité

Thème

**Évaluation multicritère et statistique de
la conformité et de la qualité sanitaire
des fromages algériens**

Réalisé par :

BADACHE Hania

ZERGAOUI Riad

Devant les jury :

Dr BOUCHAKOUR R.	MCA	Présidente	Université de Blida 1
Dr NABI I.	MAA	Examinatrice	Université de Blida 1
Dr MEZIANE Z.	MCB	Promotrice	Université de Blida 1

Année universitaire : 2024-2025



Remerciements

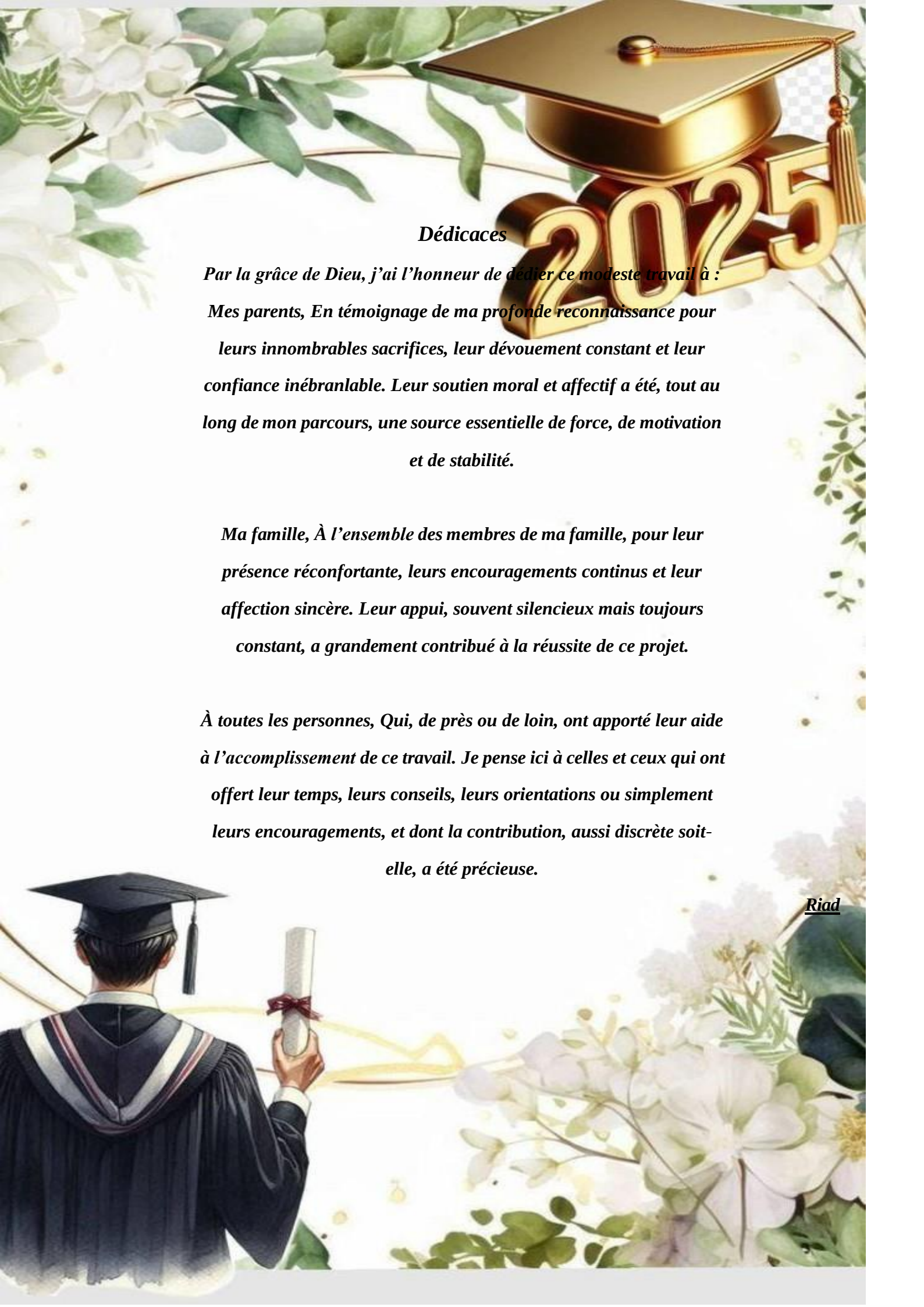
Nous débutons ces remerciements en rendant grâce à Dieu, le Tout-Puissant, source de toute force et de toute inspiration. C'est par Sa bienveillance que ce parcours a pu être accompli et que ce mémoire a pu être mené à terme.

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent tout d'abord à notre promotrice, **Dr MEZIANE Z.**, pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité constante, ses conseils avisés et ses relectures rigoureuses. Sa rigueur scientifique et ses encouragements ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

*On remercie également les membres du jury, **Dr BOUCHAKOUR R. et Dr NABI I.**, d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire. Leurs observations pertinentes et leurs remarques constructives constitueront sans nul doute un apport précieux pour nos travaux futurs.*

*Notre gratitude va également au laboratoire **Qualipro**, à sa **responsable** ainsi qu'à **l'ensemble de son personnel**, pour l'accueil qui nous a été réservé, pour les conditions de travail mises à notre disposition, ainsi que pour l'accès aux données et ressources nécessaires à la réalisation de ce mémoire.*

Enfin, on adresse nos vifs remerciements à l'ensemble des enseignants de Master 2 pour la richesse et la qualité de leurs enseignements, qui ont nourri notre réflexion et contribué au développement de nos compétences tout au long de ces deux années de formation.



Dédicaces

*Par la grâce de Dieu, j'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :
Mes parents, En témoignage de ma profonde reconnaissance pour
leurs innombrables sacrifices, leur dévouement constant et leur
confiance inébranlable. Leur soutien moral et affectif a été, tout au
long de mon parcours, une source essentielle de force, de motivation
et de stabilité.*

*Ma famille, À l'ensemble des membres de ma famille, pour leur
présence réconfortante, leurs encouragements continus et leur
affection sincère. Leur appui, souvent silencieux mais toujours
constant, a grandement contribué à la réussite de ce projet.*

*À toutes les personnes, Qui, de près ou de loin, ont apporté leur aide
à l'accomplissement de ce travail. Je pense ici à celles et ceux qui ont
offert leur temps, leurs conseils, leurs orientations ou simplement
leurs encouragements, et dont la contribution, aussi discrète soit-
elle, a été précieuse.*

Riad





Dédicaces

Je dédie ce travail à mes deux chères mamans, Farou et Zarou, pour leur amour infini, leur confiance inébranlable et leurs encouragements constants. Je sais que je ne vous ai pas toujours donné la fierté que vous méritez, ni la joie que je voulais tant vous offrir, mais sachez que tout ce que j'ai accompli, je l'ai fait en pensant à vous. Vous êtes et resterez mon moteur.

À mes sœurs adorées : Nassima, Koka, Florem, Lilia, Amel et Sirine, qui ont toujours été à mes côtés dans les bons comme dans les mauvais moments. Merci pour votre amour, votre présence et vos mots réconfortants. Je vous aime du fond du cœur.

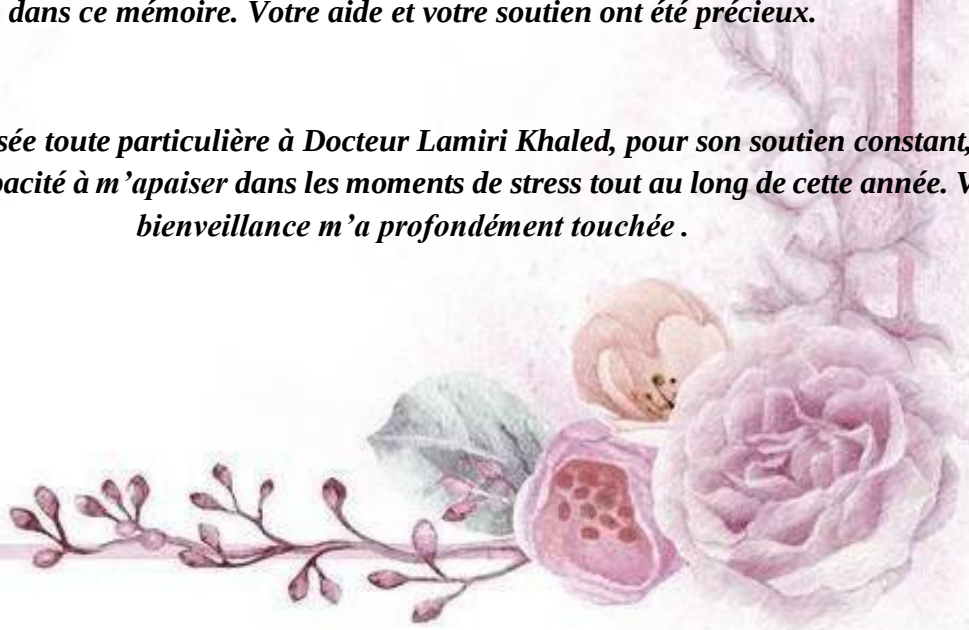
Une dédicace toute spéciale à ma sœur Yassmine, ma confidente, mon repère, ma force dans chaque étape difficile. Tu es ma sœur magique, celle qui comprend même mes silences, qui essuie mes larmes et partage mes joies. Je t'aime infiniment.

À mon très cher ami Gherib Mohamed, le meilleur des amis, avec qui j'ai partagé cinq années de rires, de complicité, de soutien et de calme dans les tempêtes. Merci pour ton amitié précieuse et ton humour unique.

Un grand merci à Imène, pour sa présence, et à la meilleure, Meriem, qui m'a grandement aidée dans ce mémoire. Votre aide et votre soutien ont été précieux.

Enfin, une pensée toute particulière à Docteur Lamiri Khaled, pour son soutien constant, son écoute et sa capacité à m'apaiser dans les moments de stress tout au long de cette année. Votre bienveillance m'a profondément touchée .

Hania



Résumé:

L'objectif de notre étude vise à comparer la qualité physico - chimique (pH, le taux d'humidité, la matière sèche) , nutritionnelle protéines, lipides, acides gras saturés, sucres, fibres et sel) et microbiologique (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*) de trois types de fromages transformés selon une approche multicritère pondérée et statistique pour classer les produits selon leur qualité globale. Au total, 30 échantillons ont été analysés, représentant deux marques locales (*Yakourène* et *La Bonne Vache*) et trois catégories de fromages transformés : fondu, à tartiner et préparation fromagère. Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité des produits alimentaires "QUALIPRO " (Alger). De plus, les résultats obtenus ont été analysés d'outils statistique notamment l'ANOVA et le test de Tukey afin de comparer les moyennes entre les différents produits. Par ailleurs une évaluation multicritère pondérée a permis d'établir une classification globale des échantillons analysés en fonction leur valeur nutritionnelle et leur conformité sanitaire. L'analyse comparative des fromages transformés "Yakourène" et "Bonne vache" a révélé des différences significatives sur les plans physico-chimique et nutritionnels. Les fromages de la marque "Yakourène" se distinguent par une teneur plus élevée en protéines (10,99 g dans le fromage fondu), mais également par des valeurs supérieures en lipides (19,48) et en acides gras saturés (7,53 g). Par ailleurs , les produits de la "Bonne vache" se distinguent par une meilleure qualité globale avec une teneur plus faible en matière grasse (7,50 g), une plus grande richesse en fibres (1,68 g pour le fromage à tartiner, contre 0,79 g chez Yakourène), ainsi qu'une réduction du sucre et du sel (2,12 g contre 1,56 g chez Yakourène pour le sel). La Bonne Vache propose des produits plus favorables à la santé, tandis que Yakourène privilégie des produits plus riches et plus énergétiques. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse statistique(ANOVA et Test Turkey) qui met en évidence une variabilité multicritère entre les produits selon leurs qualités nutritionnelles selon une approche multicritère. Le meilleur score global a été attribué à la préparation fromagère de "La Bonne Vache " grâce à son équilibre en fibres, faible teneur en acides gras saturés et une moyenne valeur énergétique. La bonne vache offre des produits plus satisfaisant sur le plan nutritionnel et plus favorable à la santé humaine. Cette étude ainsi mis en évidence l'intérêt d'une évaluation multicritère pour analyser la qualité globale des fromages transformés. A l'avenir , il serait pertinent d'intégrer une analyse sensorielle afin d'améliorer le classement global des produits alimentaires.

Mots clés : Yakourène, La Bonne Vache ; Fromage fondu ; Préparation fromagère ; Fromage à tartiner ; analyse multicritère.

Abstract:

The objective of our study was to compare the physicochemical (pH, moisture content, dry matter), nutritional (proteins, lipids, saturated fatty acids, sugars, fiber, and salt), and microbiological (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*) quality of three types of processed cheeses using a weighted and statistical multi-criteria approach to classify the products according to their overall quality. A total of 30 samples were analyzed, representing two local brands (Yakourène and La Bonne Vache) and three categories of processed cheeses: processed, spreadable, and cheese preparations. The analyses were carried out at the "QUALIPRO" food quality control laboratory (Algiers). In addition, the results obtained were analyzed using statistical tools, including ANOVA and the Tukey test, in order to compare the averages between the different products. In addition, a weighted multi-criteria evaluation made it possible to establish an overall classification of the samples analyzed according to their nutritional value and health compliance. The comparative analysis of the processed cheeses "Yakourène" and "Bonne vache" revealed significant differences in physicochemical and nutritional aspects. The cheeses of the "Yakourène" brand are distinguished by a higher protein content (10.99g in the processed cheese), but also by higher values in lipids (19.48) and saturated fatty acids (7.53g). In addition, the "Bonne vache" products are distinguished by a better overall quality with a lower fat content (7.50g), a greater richness in fiber (1.68g for the spreadable cheese, compared to 0.79g for Yakourène), as well as than a reduction in sugar and salt (2.12g compared to 1.56g for Yakourène for salt). La Bonne Vache offers healthier products, while Yakourène favors richer and more energy-dense products. These results were confirmed by statistical analysis (ANOVA and Turkey Test), which highlights multi-criteria variability between products based on their nutritional qualities using a multi-criteria approach. The best overall score was awarded to the cheese preparation from "La Bonne Vache" thanks to its balanced fiber content, low saturated fatty acid content, and average energy value. La Bonne Vache offers products that are more nutritionally satisfying and more beneficial to human health. This study thus highlighted the value of a multi-criteria evaluation to analyze the overall quality of processed cheeses. In the future, it would be relevant to integrate sensory analysis to improve the overall classification of food products.

Keywords: Yakourène, La Bonne Vache; Processed cheese; Cheese preparation; Spreadable cheese; multi-criteria analysis.

ملخص:

هدفت دراستنا إلى مقارنة الجودة الفيزيائية والكيميائية: الرقم الهيدروجيني، ومحتوى الرطوبة، والمادة الجافة، والقيمة الغذائية البروتينات، والدهون، والأحماض الدهنية المشبعة، والسكريات، والألياف، والملح، (والجودة الميكروبيولوجية) المكورات العنقودية الذهبية، والسالمونيلا، والليستيريا المستوحدة (لثلاثة أنواع من الجبن المُصنَّع، باستخدام نهج متعدد المعايير مرجح وإحصائي لتصنيف المنتجات وفقًا لجودتها الإجمالية. تم تحليل 30 عينة، تمثل علامتين تجاريتين محليتين) ياكورين ولا بون فاش (وثلاث فئات من الجبن المُصنَّع: المُصنَّع، والقابل للدهن، وتحضيرات الجبن. أجريت التحاليل في مختبر مراقبة جودة الأغذية ("QUALIPRO" الجزائر). بالإضافة إلى ذلك، تم تحليل النتائج باستخدام أدوات إحصائية، بما في ذلك تحليل التباين (ANOVA) واختبار توكي (Tukey)، لمقارنة المتوسطات بين المنتجات المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، أتاح تقييم متعدد المعايير ومرجح وضع تصنيف عام للعينات التي تم تحليلها وفقًا لقيمتها الغذائية وامثالها للشروط الصحية. كشف التحليل المقارن للجبنين المُصنَّعين "ياكورين" و"بون فاش" عن اختلافات جوهرية في الجوانب الفيزيائية والكيميائية والتغذية. يتميز أجبان "ياكورين" بمحتوى بروتين أعلى (10.99) غرام في الجبن المُصنَّع، بالإضافة إلى قيم أعلى للدهون (19.48) غرام (والأحماض الدهنية المشبعة 7.53) غرام. (كما تتميز منتجات "بون فاش" بجودة إجمالية أفضل، مع محتوى دهني أقل (7.50) غرام، وغنى أكبر بالألياف (1.68) غرام للجبن القابل للدهن، مقارنةً بـ 0.79 غرام للياكورين)، بالإضافة إلى انخفاض في كمية السكر والملح (2.12) غرام مقارنةً بـ 1.56 غرام للياكورين. (تقدم "لا بون فاش" منتجات صحية أكثر، بينما تفضل "ياكورين" منتجات أغنى وأكثر كثافة في الطاقة. وقد تأكدت هذه النتائج من خلال التحليل الإحصائي) تحليل التباين واختبار الديك الرومي، الذي يُبرز التباين متعدد المعايير بين المنتجات بناءً على خصائصها الغذائية باستخدام نهج متعدد المعايير. وقد مُنحت أفضل درجة إجمالية لجبن "لا بون فاش" المُحضَّر بفضل محتواها المتوازن من الألياف، وانخفاض محتواها من الأحماض الدهنية المشبعة، ومتوسط قيمتها الغذائية. تقدم "لا بون فاش" منتجات أكثر إشباعًا من الناحية الغذائية وأكثر فائدة لصحة الإنسان. وبالتالي، أبرزت هذه الدراسة أهمية التقييم متعدد المعايير لتحليل الجودة العامة للأجبان المصنعة. وفي المستقبل، سيكون من المهم دمج التحليل الحسي لتحسين التصنيف العام للمنتجات الغذائية.

الكلمات المفتاحية: ياكورين، "لا بون فاش"، الجبن المُحضَّر، تحضير الجبن، الجبن القابل للدهن، تحليل متعدد المعايير.

Liste des figures

Figure 1 : Différents types de fromages	5
Figure 2 : Fromages non affinés.....	6
Figure 3 : Ffromages affinés	6
Figure 4 : Etapes de fabrication de fromage	8
Figure 5 : Schéma des fabrications laitières traditionnelles les plus populaires en Algérie	14
Figure 6 : Présentation du laboratoire de qualité "Qualipro "	28
Figure 7 : Fromage de la marque "yakourène "	29
Figure 8 : Fromage de la marque " La bonne vache "	29
Figure 9 : Résultat positif pour Echerichia coli	37
Figure 10 : Résultats du test catalase.....	39
Figure 11 : Résultat du Test coagulase	40
Figure 12 : pH des différents types de fromages prélevés dans les entreprises "Yakourène " et "la bonne vache "	45
Figure 13 : Taux d'humidité des trois types de fromage étudié.....	47
Figure 14 : Teneur en matière sèche des différents types de fromage utilisés	49
Figure 15 : Valeurs énergétiques de six types de fromages	52
Figure 16 : Teneur en protéines des différents six fromages étudiés	53
Figure 17 : Teneur en lipides des six types de fromages.....	56
Figure 18 : Teneur en acides gras saturés des six fromages étudiés.....	58
Figure 19 : Teneur en sucres des six fromages étudiés.....	61
Figure 20 : Teneur en fibres des six fromages étudiés	63
Figure 21 : Teneur en sel des six fromages étudiés.....	65
Figure 22 : Scores nutritionnels par produit.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux constituants du fromage et leurs caractéristiques.....	7
Tableau 2 : Différents caractéristiques des fromages.....	15
Tableau 3 : Types de fromages, volume et usage principal.....	16
Tableau 4 : Principaux acteurs et parts de marché fromager en Algérie	17
Tableau 5 : FAO/WHO et codex alimentarius	25
Tableau 6 : Présentation des fromages étudiés.....	29
Tableau 7 : Répartition des échantillons analysés par marque et type de fromage.....	30
Tableau 8 : pH des différents fromages prélevés des entreprises "Yakourène " et " La bonne vache "	44
Tableau 9 : Taux d'humidité des différents fromages des deux entreprises choisies	46
Tableau 10 : Teneur en matière sèche des trois fromages étudiés	48
Tableau 11 : Les résultats de la valeur énergétique des six types de fromages	50
Tableau 12 : Références et données nutritionnelles Européennes des fromages.....	51
Tableau 13 : Teneur en protéines des six types de fromages	53
Tableau 14 : Teneur en lipides des six types de fromages étudiés	55
Tableau 15 : Teneur en acides gras saturés des six types de fromages étudiés	52
Tableau 16 : Teneur en sucres des six fromages étudiés.....	57
Tableau 17 : Teneur en fibres des six fromages étudiés.....	62
Tableau 18 : Teneur en sel des six fromages étudiés	64
Tableau 19 : Résultats de l'analyse statistique (ANOVA) des paramètres physicochimiques selon le type de fromage	66
Tableau 20 : Résultats de l'analyse ANOVA des résultats physicochimiques selon le type de fromage et la marque	67
Tableau 20 : Evaluation multicritère nutritionnelle	68
Tableau 21 : Résultats de l'analyse microbiologique pour tous les fromages étudiés	71

Liste des abréviations

al: Nombre d'Ecoli de la première dilution

Abs: Absence

ACP: Méthodes d'analyse multicritère

AgNO: Nitrate d'argent

AGS: Acide gras saturé

AFNOR: Association Française de Normalisation

ANOVA: Analyse de variance

AOAC: Association of Official Analytical Collaboration

BPF: Bonnes Pratiques de Fabrication

BPH: Bonnes Pratiques d'Hygiène

CACQE : Centre algérien de contrôle de la qualité et de l'emballage)

CXC: Codex Alimentarius Commission Standard

d: Facteur de dilution

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FDA: Food and Drug Administration

FF1 : Fromage fondu échantillon 1

G : Teneur en glucides (g/100g)

HACCP : Hazard Analysis and Critical Control Points

IANOR: Institut Algérien de Normalisation

INAO: Institut National de l'Origine et de la Qualité

IDF: Fédération Internationale du Lait

JORF: Journal Officiel de la République Française

MCD: Méthodes d'évaluation multicritères

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

ONIL: Office National Interprofessionnel du Lait et des produits laitiers

SARL: Société à Responsabilité Limitée

UFC: Unité Formant Colonie

PCA : analyse en composantes principales

ISO (Organisation internationale de normalisation

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie I: Synthèse bibliographique

Chapitre I: Le fromage : aspects fondamentaux, classifications et cadre réglementaire

1.1. Définition et classification des fromages.....	5
1.2. Composition du fromage.....	7
1.3. Processus de fabrication du fromage.....	7
1. 4.Importance de la qualité sanitaire des fromages	8
1.5.Principaux dangers sanitaires associés au fromage.....	9

Chapitre II : La qualité sanitaire et la conformité des fromages algériens

2.1. Le secteur du fromage en Algérie	13
2.2. Caractéristiques des fromages algériens.....	13
2.3. Qualité sanitaire , conformité et réglementations en Algérie	17

Chapitre III :Évaluation multicritère et statistique de la conformité sanitaire des fromages

3.1. .Méthodes d'évaluation multicritères et statistiques	20
3.2. Normes de conformité applicables au fromage	24

Partie II: Étude expérimentale

Chapitre IV : materiel et methodes

4.1. Objectif de l'étude.....	28
4.2 Lieu de stage.....	28
4.3. Matériel et méthodes.....	29

4.4. Méthodes expérimentales	30
4.5. Analyses microbiologiques.....	37
4.6. Traitement statistique des données	42

Chapitre V: Résultats et discussion

5.1. Résultats des analyses physico - chimiques	44
5.2. Résultats des analyses physico nutritionnelles	50.
5.3. Analyse Statistique et évaluation Multicritère.....	66
5.4. Analyses microbiologiques.....	70

VI. Conclusion	74.
-----------------------------	------------

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Le fromage est un produit laitier obtenu par la coagulation des protéines(notamment caséine) et des matières grasses du lait. Il s'agit d'un aliment ancestral aux usages variés, consommé dans de nombreuses cultures à travers le monde (**Elramly et al .,2019**).

La diversité des fromages s'explique par la variété des techniques de fabrication , du type de lait utilisé , les procédés de fermentation,ainsi que les additifs ou ingrédients ajoutés.Tous ces facteursnon seulement la texture, la saveur et l' arôme emais également sa composition nutritionnelle. (**Todaro et al., 2013**).

En Algérie, le secteur des produits laitiers a connu une évolution significative au cours des dernières années, marquée une variabilité croissante de types de produits. Parmi eux le fromages, figure parmi les plus consommés et occupe une place importante dans l'alimentation quotidienne du consommateurs, en particulier chez les enfants et les jeunes adultes (**Ghozlane et Chabane , 2020**). Cette popularité s'explique principalement par son goût apprécié, sa longue durée de conservation et sa facilité d'utilisation.

Parmi les produits les plus consommés , le fromage fondu, la préparation fromagère, ainsi que le fromage à tartiner connaissent une large diffusion, aussi bien au niveau des ménages ainsi qu'au niveau des collectivités (restauration scolaire, hôpitaux, etc.) (**Benhacine et Boudalia , 2018**). Cependant cette expansion de consommation s'accompagne d'une exigence croissante en matière de qualité et de sécurité sanitaire.

La réglementation algérienne en matière de qualité des denrées alimentaires impose le respect des normes strictes, tant sur le plan microbiologique que physico-chimique, afin de garantir la santé des consommateurs.En ce sens, les produits fromagers transformés doivent impérativement répondre à des critères stricts de conformité physico-chimique et microbiologique, clairement définis qu'ils soient issus des normes algériennes (**IANOR,2010**) ou des référentiels internationaux . Ces exigences visent non seulement à assurer la sécurité sanitaire mais aussi à renforcer la transparence nutritionnelle, la maitrise des procédés de fabrication et la compétitivité des industries agroalimentaires locales.

Dans ce contexte, une évaluation scientifique rigoureuse des fromages commercialisés sur le marché algérien s'avère indispensable.

Introduction

Elle permet d'identifier les produits répondant aux exigences nutritionnelles et sanitaires tout en orientant les efforts d'amélioration de la qualité dans l'industrie laitière nationale. Une problématique essentielle s'impose : **les fromages appartenant à une même catégorie technologique mais issus de différents fabricants présentent-ils des différences significatives en terme de composition nutritionnelle, de qualité physico-chimique et de la conformité réglementaire ?**

L'objectif principal de cette étude est de comparer la qualité globale de trois catégories de fromages transformés — à savoir le fromage fondu, la préparation fromagère, et la préparation à tartiner — produits par deux entreprises algériennes : Yakouren et La Bonne Vache.

Pour ce faire, une approche méthodologique combinée a été adoptée, reposant d'une part sur une analyse physico-chimique approfondie (pH, matière grasse, matière sèche, humidité, composition nutritionnelle) et une analyse microbiologique, et d'autre part sur un traitement statistique rigoureux à travers des tests de conformité (ANOVA, test de Tukey) et une évaluation multicritère de la qualité nutritionnelle.

Notre méthodologie s'est appuyée sur la collecte du laboratoire d'un ensemble d'échantillons représentatifs (n=5 par type de fromage et d'entreprise), soumis à des analyses physico-chimiques et microbiologiques. Les résultats obtenus ont été traités à travers le calcul de moyennes et des écarts types ainsi que des tests statistiques tels que "ANOVA" et le "test de Turkey" pour la comparaison des moyennes.

En parallèle, une analyse multicritère nutritionnelle pondérée a été menée, permettant de classer les produits en fonction de leur performance globale en matière de qualité nutritionnelle tout en tenant leur impact potentiel sur la santé du consommateur.

Ce mémoire s'articulera autour de plusieurs axes :

- ✧ Une revue de la littérature sur les fromages transformés et les critères d'évaluation de leur qualité ;
- ✧ Une description détaillée de la méthodologie d'échantillonnage et d'analyse
- ✧ Une présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion critique ;

✧ Et enfin, une conclusion soulignant les écarts observés, les recommandations possibles pour l'industrie fromagère, et les perspectives d'amélioration continue.

Partie I: Etude bibliographique

Chapitre

1

Le fromage : aspects fondamentaux, classifications

et

cadre réglementaire



Chapitre I: Le fromage : aspects fondamentaux, classifications et cadre réglementaire

Le fromage, aliment apprécié depuis des millénaires, est aujourd'hui présent dans presque toutes les cultures. Sa grande diversité résulte d'un savoir-faire ancien et évolutif. Mais au-delà de son goût et de ses qualités nutritionnelles, le fromage soulève des enjeux sanitaires importants. Sa richesse en nutriments favorise le développement de micro-organismes, ce qui rend le contrôle de sa qualité indispensable. Ce chapitre pose les bases nécessaires pour mieux comprendre le fromage, sa fabrication et surtout l'importance de garantir sa sécurité pour la santé des consommateurs.

1.1. Définition et classification des fromages

1.1. Définition

Traditionnellement, le fromage est obtenu par la coagulation du lait sous l'action de la présure (un mélange d'enzymes), suivie d'un égouttage partiel pour retirer le lactosérum. Ce processus aboutit à la formation d'un caillé, base du fromage (Eck et Gillis, 1997).



Figure 1 : Différents type de fromage : fromage pâte dure, pâte molle à croûte fleurie, pâte persillée, Pâte lavée, fromage de chèvre, et fromage enrobé de cire rouge. (1)

Selon la définition du *Codex Alimentarius* (Norme FAO/OMS), Le fromage est un produit obtenu par coagulation des protéines du lait, principalement la caséine, suivie d'un égouttage partiel. Riche en protéines, il présente des caractéristiques physiques et organoleptiques variées selon son affinage et sa texture (molle à extra-dure).

1.1.2. Classification

La classification des fromages repose principalement sur le procédé d'affinage, mais peut également tenir compte de la texture de la pâte et du type de croûte. On distingue généralement deux grandes catégories :

- ✧ **Fromages non affinés (ou frais)** : Ils ne subissent pas ou très peu de maturation. Ils ont une texture souple et une saveur douce.

Exemples : fromage blanc, ricotta, faisselle.



Figure 2: Fromages non affinés (2)

- ✧ **Fromages affinés** : Ils nécessitent une période de maturation sous des conditions contrôlées (température, humidité), permettant le développement de caractéristiques biochimiques (protéolyse, lipolyse) et sensorielles (arômes, textures) spécifiques.



Figure 3: Fromages affinés (3)

Parmi les fromages affinés, on distingue plusieurs sous-groupes selon la présence ou non de moisissures et la texture de la pâte :

- ❖ **Fromages à pâte molle** : à croûte fleurie (*Brie*, *Camembert*) ou lavée (*Munster*, *Époisses*), avec une pâte souple et une croûte développée lors de l'affinage.
- ❖ **Fromages à pâte pressée** :
 - Pressée non cuite (*Cantal jeune*, *Reblochon*, *Saint-Nectaire*) : la pâte est pressée sans cuisson, donnant une texture ferme mais souple.
 - Pressée cuite (*Comté*, *Beaufort*, *Emmental*) : la pâte est chauffée avant le pressage, ce qui favorise une plus longue conservation et des arômes complexes.
- ❖ **Fromages à pâte persillée (ou bleus)** : ils sont affinés avec des moisissures spécifiques (*Penicillium roqueforti*) qui se développent à l'intérieur de la pâte.
Exemples : *Roquefort*, *Bleu danois*.
- ❖ **Fromages affinés aux moisissures de surface** : certaines croûtes (comme celles des croûtes fleuries ou lavées) développent des moisissures spécifiques pendant l'affinage, jouant un rôle essentiel dans la texture et les arômes.

1.2. Composition du fromage

La composition du fromage varie selon le type de lait, le procédé de fabrication et le degré d'affinage. Elle comprend les éléments illustrés dans le tableau 1:

Tableau 1: Principaux constituants du fromage et leurs caractéristiques (Irudayara et al., 1999; Amalfitano et al., 2024).

Composant	Caractéristiques	Valeurs indicatives
Eau	Teneur variable selon le type de fromage. Diminue avec l'affinage.	- 80 % (fromage frais) - 50 % (pâte molle) - 35 % (pâte dure)
Glucides	Majoritairement éliminés avec le lactosérum (petit-lait) lors de la fabrication. Teneur très faible.	< 1 %
Lipides	Présents dans la plupart des fromages. Absents ou faibles dans les fromages maigres.	- 23 % (pâte molle) - 30 % (pâte dure)
Protéines (caséine)	Élément essentiel du fromage, même maigre. Coagule avec la présure.	- 18 % (pâte molle) - 19 % (fromage blanc écrémé) - 24 % (pâte ferme)
Minéraux	Riche en calcium et phosphore. Rapport Ca/P $\approx$ 1,26. Teneur en sel variable selon le mode de fabrication (salage, lavage, etc.).	Élevé en Ca, P, NaCl (sel) variable
Vitamines	Vitamines B produites par les moisissures (fromages fermentés). Vitamines A, D, E liées à la teneur en matières grasses.	Variables selon le type de fromage

1.3. Processus de fabrication du fromage

La fabrication du fromage repose sur deux phénomènes essentiels :

- L'agglomération des protéines du lait, principalement la caséine.
- L'écoulement de la phase liquide (le lactosérum) lors de la synérèse (Luquet, 1990).

Ce processus global comprend trois grandes étapes principales : la coagulation, l'égouttage (et salage), puis l'affinage.

• Coagulation

C'est une transformation du lait en gel (coagulum) par acidification ou enzymes (ex. Présure) (Brule et al. (1997)).

- **Égouttage & Salage**

Cette opération consiste à l'élimination du lactosérum (phase liquide) → formation du caillé. Le sel renforce la conservation et prépare l'affinage (**Ramet, 1985**).

- **Affinage**

L'affinage permet la maturation du caillé sous l'action des enzymes et des micro-organismes et le développement des arômes, texture, goût (**Eck et Gillis, 1997**). La figure 4 présente les différentes étapes de fabrication du fromage.

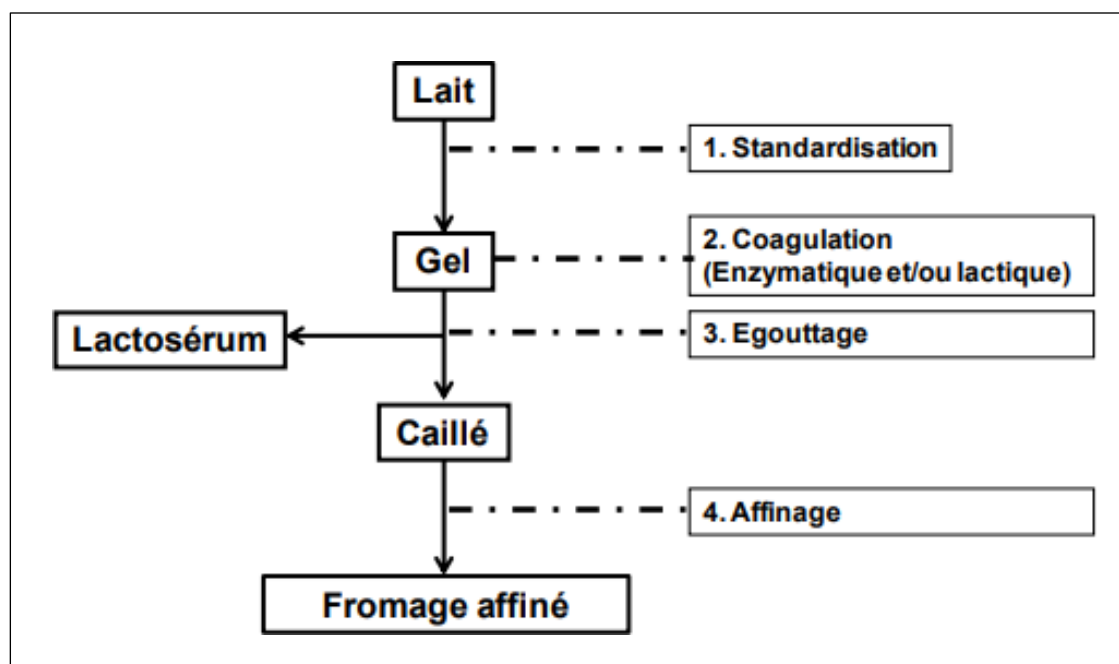


Figure 4 : Etapes de fabrication de fromage (**Eck, & Gillis, 1997**).

1.4. Importance de la qualité sanitaire des fromages

Les fromages, bien que produits traditionnels appréciés, sont des aliments d'origine animale exposés à plusieurs risques sanitaires. Assurer leur qualité sanitaire est primordial pour la sécurité du consommateur et la fiabilité de la chaîne agroalimentaire.

1.4.1. Principaux dangers sanitaires associés au fromage :

■ Dangers microbiologiques :

Parmi les germes provoquant des dangers microbiologiques pour le fromage:

✧ *Listeria monocytogenes* peut se développer à froid, notamment dans les fromages à pâte molle (**Tompkin, 2002**).

✧ *Salmonella spp.* et *E. coli shiga-toxigéniques* sont souvent responsables de toxi-infections d'origine fromagère (**Farber & Peterkin, 1991**).

■ Dangers chimiques :

Pour les fromages , les dangers chimiques se résument par la présence:

✧ Des résidus d'antibiotiques dans le lait peuvent altérer la fermentation(**Makovec & Ruegg, 2003**).

✧ Des Toxines fongiques (aflatoxines), produites par des moisissures, peuvent contaminer le lait et s'accumuler dans le fromage (**Bullerman & Pitt, 1999**)..

■ Dangers physiques :

Des fragments de métal ou de plastique introduits lors de la fabrication ou l'emballage peuvent provoquer blessures ou étouffements (Codex Alimentarius Commission, 2003) peuvent provoquer des dangers pour le fromage.

1.4.2. Mesures de maîtrise recommandées

Afin d'assurer la sécurité sanitaire des fromages, plusieurs mesures préventives et de contrôle sont recommandées tout au long de son processus de fabrication.

■ **Méthode HACCP** : Cette méthode permet l'identification des points critiques (températures, hygiène, conditionnement) pour prévenir les contaminations (**Mortimore & Wallace, 2013**)..

■ **Bonnes Pratiques d'Hygiène et de Fabrication (BPH/BPF)** : Le nettoyage, la désinfection, et le contrôle des équipements et des températures sont essentiels pour limiter les risques (**Le Loir & Gautier, 2003**). .

■ **Traçabilité** : est un système permettant le suivi rigoureux des lots et composants pour réagir rapidement en cas de problème sanitaire (**Regattieri, Gamberi & Manzini, 2007**)..

En Algérie, l'amélioration progressive des pratiques sanitaires dans les laiteries et fromageries permet de réduire les risques pour le consommateur grâce à la conformité avec les normes internationales.

1.5. Normes et régulations sanitaires sur les produits laitiers et fromagers

En Algérie, la sécurité sanitaire des produits laitiers est encadrée par des textes législatifs, dont le décret exécutif n°05-458 (2005), qui impose des contrôles de qualité pour les produits importés et locaux. Les laiteries doivent appliquer les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) et de Fabrication (BPF). Un taux de conformité de 62,2 %, mettant en évidence des lacunes dans la qualité sanitaire a été observé dans lors d'une étude menée dans une laiterie d'Alger.

À l'échelle internationale, des normes comme le *Codex Alimentarius* (CXC 55-2004), ISO 22000 (gestion de la sécurité alimentaire) et les règlements européens (CE 178/2002) sont utilisées comme référentiels.

L'état algérien soutient la filière avec une politique de subvention (production, collecte, élevage), mais celle-ci présente des contradictions :

- ✧ Les subventions à la consommation rendent le lait en poudre importé plus attractif que le lait cru local.
- ✧ L'application uniforme des aides, sans distinction de performance des éleveurs, limite leur efficacité.

1.5.1. Contraintes majeures du secteur fromager algérien :

Le secteur fromager en Algérie fait face à plusieurs obstacles majeurs qui limitent son développement :

- ✧ Disponibilité insuffisante du lait cru de qualité, en raison d'une production laitière locale faible et instable.
- ✧ Préférence pour le lait en poudre importé, plus économique mais pénalisant pour la production locale.
- ✧ Petites exploitations agricoles, souvent familiales, avec peu de moyens et de vaches laitières.
- ✧ Faible niveau de formation des producteurs et manque de respect des normes d'hygiène (BPH, BPF).
- ✧ Infrastructures de transformation limitées, surtout en équipements modernes pour le fromage.
- ✧ Coûts de production élevés, réduisant la compétitivité des fromages locaux.
- ✧ Forte présence du secteur informel, échappant aux contrôles sanitaires.
- ✧ Dépendance à l'importation d'ingrédients essentiels (présure, ferments, additifs).

1.5.2. Vers une meilleure qualité fromagère

Pour améliorer la qualité sanitaire des produits laitiers et renforcer la production locale, plusieurs mesures peuvent être envisagées :

- Former les producteurs et transformateurs aux Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) et de Fabrication BPF).
- Renforcer les contrôles sanitaires dans les unités de production, notamment dans le secteur informel.
- Améliorer les infrastructures de collecte, de stockage et de transformation du lait cru.
- Réviser la politique de subvention en ciblant les producteurs performants et en réduisant la dépendance au lait en poudre.
- Sensibiliser les consommateurs à l'importance des fromages certifiés et contrôlés.

Le fromage est un produit complexe dont la qualité sanitaire dépend de multiples facteurs liés à sa fabrication et à sa conservation. Cette compréhension générale nous permet désormais d'aborder plus spécifiquement la question de la qualité sanitaire et de la conformité des fromages produits en Algérie.

Chapitre

2

La qualité sanitaire

et

la conformité des fromages algériens



Chapitre II

La qualité sanitaire et la conformité des fromages algériens

Ce chapitre aborde les enjeux liés à la qualité sanitaire et à la conformité des fromages traditionnels algériens. Il met en lumière les défis de production, de réglementation et de valorisation de ces produits, souvent fabriqués selon des méthodes artisanales.

2.1. Le secteur du fromage en Algérie

L'Algérie possède un patrimoine fromager traditionnel d'une grande richesse, témoignage vivant de sa diversité culturelle et de ses traditions agro-pastorales. Ces fromages, souvent élaborés dans les foyers ruraux, sont le fruit d'un savoir-faire transmis de génération en génération. Pourtant, malgré leur importance culturelle, ils ont encore du mal à s'imposer dans le paysage agroalimentaire national. Dans un pays où la consommation de produits laitiers ne cesse de croître, l'offre locale reste insuffisante. L'Algérie dépend encore largement des importations de lait en poudre, ce qui la rend vulnérable aux fluctuations du marché mondial. La crise de 2014 en est un exemple marquant, révélant les limites de notre autonomie en la matière (**Kacimi El Hassani, 2013**).

Les pratiques de transformation artisanale du lait, bien qu'enracinées dans nos traditions, sont aujourd'hui menacées. Elles sont souvent méconnues, rarement documentées, et progressivement oubliées à mesure que les jeunes générations quittent les campagnes ou adoptent de nouveaux modes de consommation. L'exode rural, la perte de transmission orale et le désintérêt grandissant pour les traditions alimentaires contribuent à cette érosion culturelle.

Et pourtant, un véritable trésor culinaire persiste. Grâce au savoir-faire patient et intelligent – souvent détenu par les femmes – des produits laitiers adaptés au climat chaud ont vu le jour : **Lben, Klila, Bouhezza, Jben**... Des produits simples, durables, mais riches en goût et en histoire. Ils ne sont pas seulement nourrissants : ils incarnent une mémoire collective, une identité régionale et un potentiel économique encore sous-exploité (**Bencharif, 2001 ; Lahssaoui, 2009**).

2.2. Caractéristiques des fromages algériens

Depuis l'indépendance, l'Algérie n'a pas hérité d'une véritable industrie laitière structurée. Jusqu'aux années 1970, seules de petites unités privées, souvent liées à des intérêts étrangers, assuraient la production laitière. Les normes sanitaires et techniques y étaient généralement peu respectées. Parallèlement, une richesse fromagère artisanale s'est perpétuée dans les zones rurales, constituant un patrimoine alimentaire local encore mal valorisé (**Hallel, 2001**).

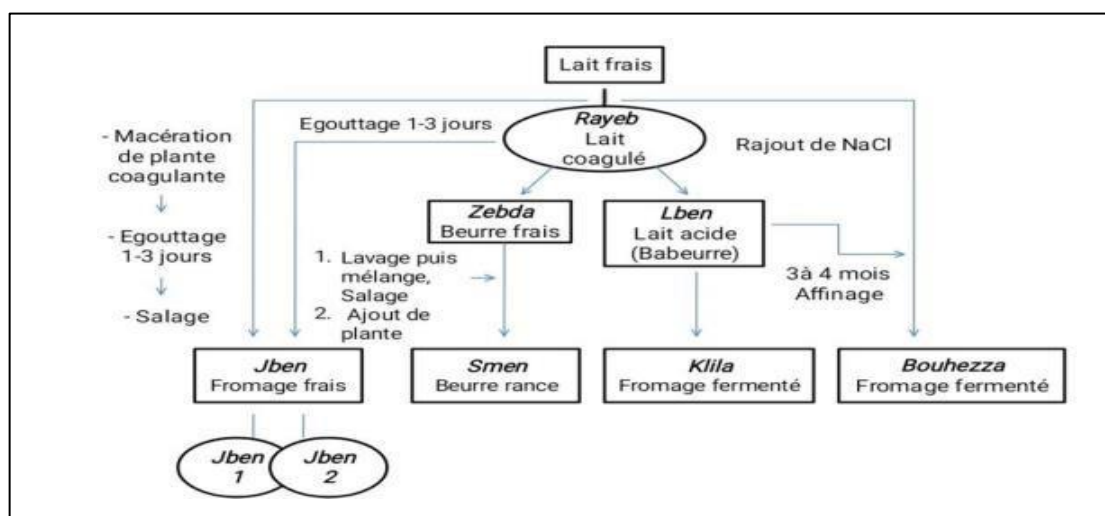


Figure 5 : Schéma des fabrications laitières traditionnelles les plus populaires en Algérie (Lahssaoui,2009)

2.1.1. Fromages artisanales

Les fromages artisanaux algériens se distinguent par leur diversité, leur adaptation au climat local, et leur fabrication manuelle. Leur typicité est liée à la race des animaux, à leur alimentation, et aux conditions de production. Plusieurs études ont caractérisé leurs propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles (Dahou & Belhadj, 2020 ; Derouiche & Zidoune, 2015).

Parmi les fromages les plus représentatifs, on trouve :

➤ **Bouhezza** : fromage affiné de la région des Chaouias, fabriqué à partir de Lben dans une peau de chèvre appelée *Chekoua*. Il se conserve naturellement grâce à l'action du sel et de la microflore indigène(Leksir, 2018; Boudalia et al., 2020).

➤ **Jben** : fromage frais répandu dans les zones steppiques et sahariennes. Il présente une acidité marquée et une grande variabilité selon les méthodes artisanales utilisées (Bouadjaib, 2013;Abid, 2015).

➤ **Takammart** : fromage saharien à base de lait de chèvre ou de brebis, obtenu avec de la caillette et séché sur des nattes aromatiques de fenouil (Mahamedi, 2015).

➤ **Mechouna** : produit dans la région de Tébessa à partir de lait bouilli mélangé à du Lben salé. Il peut être agrémenté d'épices et consommé en accompagnement de plats traditionnels(Derouiche et Zidoun, 2015).

➤ **Klila** : obtenu par chauffage du Lben. Il peut être consommé frais ou séché, avec un goût intense et une texture ferme (Leksir et Chemmam, 2015).Le tableau 2 présente les caractéristiques des différents fromages traditionnelles algériens:

Tableau 2: Différentes caractéristiques des fromages (**Derouiche & Zidoune , 2015** et **Dahou Belhadj , 2020**).

Fromage	Teneur en eau (%)	Matières grasses (MS) (%)	Protéines (MS) (%)	pH	Microflore dominante	Profil sensoriel
J'ben	65,2 ± 2,1	18,5 ± 1,0	47,8 ± 1,3	4,15 ± 0,05	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> (10 ⁷ –10 ⁸ UFC/g) (Dahou & Belhadj., 2020)	Texture crémeuse, arômes frais lactiques, légère acidité
Klila	6,8 ± 0,5	30,2 ± 1,5	58,0 ± 2,0	5,2 ± 0,1	<i>Streptococcus thermophilus</i> (prédominance environnementale) (Hallel, 2001)	Très ferme, saveur concentrée, notes légèrement fumées
Michouna	42,0 ± 3,0	24,8 ± 1,2	46,3 ± 1,5	6,04 ± 0,02	<i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Enterococcus faecium</i> (Derouiche & Zidoune, 2015)	Texture granuleuse, goût doux et beurré, pointe salée
Takammar	28,5 ± 2,0	32,0 ± 1,8	55,5 ± 2,1	5,5 ± 0,1	<i>Lactobacillus casei</i> , spores de <i>Bacillus subtilis</i> (Takammar, 2003)	Texture dense, arômes terreux, légère amertume
Bouhezza	40,0 ± 2,5	28,0 ± 1,3	45,0 ± 1,7	5,8 ± 0,1	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , levures apiculi (Benkheira & Douadi, 2018)	Texture souple, goût épicé (piment), notes fumées et tanniques

Ces fromages sont fermentés naturellement, sans contrôle industriel, ce qui entraîne des variations importantes entre producteurs. Leur diversité sensorielle et leurs qualités nutritionnelles en font des produits uniques à fort potentiel patrimonial et économique

2.1.2. Le fromage industriel

La filière fromagère industrielle algérienne repose sur trois grandes familles de produits, chacune répondant à des usages spécifiques :

- ❖ **Les fromages fondus**, avec une production annuelle de 80 000 à 90 000 tonnes, dominent largement le marché. Appréciés pour leur longue conservation et leur polyvalence (sandwiches,

snacking, pizzas), ils sont obtenus par fusion de pâtes lactiques additionnées d'émulsifiants et d'arômes.

- ❖ **Les fromages à pâte molle** (Camembert, Brie) sont produits à hauteur de 7 000 à 8 000 tonnes/an. Ils nécessitent un affinage maîtrisé, offrant une texture crémeuse et une croûte fleurie, adaptés à une consommation gastronomique.
- ❖ **Les fromages frais** (comme les petits suisses), produits à raison de 6 000 à 7 000 tonnes/an, sont consommés au petit-déjeuner ou en dessert. Ils présentent une texture onctueuse et un goût acidulé.

Tableau 3: Types de fromage , volume et usage principal (**Anonyme, 2022**)

2.1.2.1. Dynamique de production (2015–2023)

Type de fromage	Volume moyen (tonnes/an)	Usages principaux
Fromages fondus	85 000	Sandwiches, snacking, sauces, pizzas
Pâtes molles	7 500	Plateaux, gastronomie, restauration
Fromages frais	6 500	Petit-déjeuner, desserts, pâtisserie

L'industrie fromagère a connu une croissance soutenue :

- ❖ **Les fromages fondus** ont progressé de 4 %/an, grâce au développement de la restauration rapide et des grandes surfaces.
- ❖ **Les fromages à pâtes molles** ont crû de 6 %/an, soutenues par des investissements dans l'affinage et l'émergence de marques locales.
- ❖ **Les fromages frais** ont augmenté de 5 %/an, portés par la valorisation du lait local et le commerce de proximité.

2.1.2.2. Facteurs clés d'expansion

L'essor de la production de fromages en Algérie repose sur plusieurs leviers techniques, structurels et commerciaux:

- **Modernisation industrielle** : Cuves de cuisson sous vide, émulsifiants optimisés et emballages aseptiques ont permis d'améliorer la qualité et réduire les pertes (**Ginidex, 2021**).
- **Renforcement de la filière lait** : Centres de collecte (notamment à Tizi Ouzou et Bouira) et assistance technique aux éleveurs (**Anonyme₁, 2022**).
- **Marketing ciblé** : Gammes adaptées à chaque segment – portions familiales pour les fondus, positionnement haut gamme pour les pâtes molles, formats individuels pour les frais.

- **Soutien public-privé** : Formations, subventions et services industriels pour les jeunes entreprises (Anonyme₂, 2023).

2.1.2.3. Principaux acteurs et parts de marché

Le secteur des fromages est structuré autour de quelques grandes entreprises. Le tableau 4 présente les principaux acteurs et parts du marché fromager:

Tableau 4: Principaux acteurs et parts de marché fromager en Algérie

Entreprise	Part de marché	Spécificité
Unibel SA	18 %	Leader avec <i>La Vache qui rit</i> et une distribution étendue
Falait SARL	≈ 12 %	Spécialisée dans les fromages fondus à bas prix
Production Industrielle	≈ 10 %	En partenariat avec des coopératives
Lactalis Algérie	≈ 8 %	Segment primordial, savoir-faire français

Le marché se caractérise par un dualisme concurrentiel : d'un côté, les acteurs locaux misant sur le volume et le prix ; de l'autre, les groupes internationaux valorisant l'image de marque, la qualité et l'innovation. Les alliances (licences, co-entreprises) permettent une montée en compétence des producteurs algériens.

2.1.2.4. Tendances de consommation et perspectives

Les fromages à tartiner (crèmes à base de fromage fondu) connaissent un succès grandissant, en particulier auprès des jeunes . Selon les prévisions du marché algérien, les ventes au détail des fromages devraient croître de 9 %, pour atteindre 248 milliards DZD d'ici 2028, (Anonyme₃ 2024). Cette croissance est portée par :

- L'urbanisation et le développement des hypermarchés,
- L'augmentation du pouvoir d'achat,
- Sensibilisation accrue via le marketing digital et l'éducation nutritionnelle.

2.3. Qualité sanitaire , conformité et régulations en Algérie

En Algérie, la fabrication de fromage ne se fait pas au hasard : elle est strictement encadrée par des lois, normes et contrôles pour garantir la sécurité alimentaire et la qualité des produits que consomment les citoyens.

✧ **Des règles claires pour fabriquer du bon fromage**

Un arrêté de 2022 définit les critères que doivent respecter tous les fromages produits ou vendus en Algérie : composition (teneur en matière grasse, taux de lactose...), étiquetage précis (origine du lait, ingrédients...), et informations nutritionnelles sont obligatoires. Ces règles permettent aux consommateurs de savoir exactement ce qu'ils mangent.

✧ **Des contrôles contre les fraudes**

Depuis un décret de 1992 a été mis à jour récemment, les autorités peuvent contrôler la conformité des produits laitiers, qu'ils soient fabriqués localement ou importés. Des sanctions sont prévues en cas de fraude.

✧ **Des normes alignées sur les standards internationaux**

L'IANOR, organisme officiel de normalisation, édite des normes techniques sur les fromages et les méthodes de détection des substances indésirables (antibiotiques, contaminants...), en conformité avec les recommandations mondiales du *Codex Alimentarius*.

✧ **Hygiène stricte et traçabilité : des impératifs**

Les usines doivent appliquer les bonnes pratiques d'hygiène (BPH) : désinfection régulière des locaux, respect de la chaîne du froid, prévention des contaminations croisées... Les plus grandes structures doivent aussi mettre en œuvre un plan HACCP, un système rigoureux d'analyse des risques pour garantir la sécurité du fromage à chaque étape de sa fabrication.

✧ **Un lait sous haute surveillance**

Le lait utilisé dans la production fromagère doit être sain et sans résidus de médicaments ou pesticides. Cette exigence, valable aussi bien pour l'export que pour la vente locale, assure une base propre et sûre à la chaîne de fabrication.

✧ **Des inspections régulières et rigoureuses**

Deux acteurs principaux sont chargés des contrôles : le CACQE (Centre algérien de contrôle de la qualité et de l'emballage) et les services vétérinaires locaux. Ils inspectent les usines, vérifient les dossiers de fabrication, font des prélèvements et des analyses en laboratoire. Les grandes entreprises sont contrôlées deux fois par an, tandis que les petits artisans le sont environ tous les trois mois.

A travers ce chapitre, l'analyse de la qualité sanitaire des fromages algériens a révélé des écarts de conformité liés à plusieurs facteurs de production et de contrôle. Afin d'approfondir cette

évaluation, le chapitre suivant propose une approche multicritère et statistique pour mieux cerner les niveaux de conformité sanitaire observés.

Chapitre

3

Évaluation multicritère et statistique
de la conformité sanitaire des fromages

Chapitre III

Évaluation multicritère et statistique de la conformité sanitaire des fromages

Le fromage, produit d'origine animale est souvent transformé de manière artisanale, fait l'objet d'une attention particulière ces dernières années. Sa composition et ses conditions de fabrication peuvent favoriser le développement de micro-organismes pathogènes, ce qui rend nécessaire une évaluation rigoureuse de sa conformité aux normes sanitaires.

Dans ce contexte et où la sécurité sanitaire des aliments représente une priorité de santé publique, ce chapitre présente une revue des approches multicritères et statistiques utilisées dans la littérature pour évaluer la qualité sanitaire des fromages.

3.1. Méthodes d'évaluation multicritères et statistiques

Pour évaluer la qualité et la conformité des fromages, il est primordial d'associer plusieurs types de critères. Les méthodes multicritères et les outils statistiques permettent une analyse globale, rigoureuse et objective des produits.

3.1.1. Définition

Les méthodes d'évaluation multicritères (MCDA) sont des outils d'aide à la décision qui permettent d'évaluer, comparer ou classer des alternatives (produits, procédés, options) sur la base de plusieurs critères simultanés, souvent de nature différente (sensorielle, physico-chimique, économique, microbiologique, etc.). Elles consistent à analyser un produit ou un processus en tenant compte simultanément de plusieurs paramètres ou critères, souvent de nature différente (physico-chimique, sensorielle, nutritionnelle, économique, etc.).

Ces méthodes permettent d'apprécier la performance globale d'un produit en croisant les données issues de différentes analyses (**Belton et Stewart , 2002**).

Dans le secteur fromager, les méthodes d'évaluation multicritères servent à apprécier la qualité globale d'un produit (ex. : arôme, texture, coût, sécurité) et quantitatives (ex. : teneur en matière grasse, rendement) pour évaluer la conformité sanitaire (**Galli et al., 2012**).

3.1.2. Importance des méthodes statistiques dans l'évaluation de la qualité sanitaire

L'évaluation de la qualité sanitaire des fromages repose sur l'analyse des données fiables obtenues à partir de différents contrôles (microbiologiques, physico-chimiques, hygiéniques).

Les méthodes statistiques sont essentielles car elles permettent de repérer les éventuelles défauts , de comprendre les liens entre plusieurs paramètres, et de s'assurer que les résultats obtenus

représentent bien l'ensemble de la production. Des outils (logiciels statistiques) comme l'analyse de variance (ANOVA), les tests de normalité ou les analyses multivariées aident ainsi à vérifier la qualité et la fiabilité des produits (**Bourges et Faur-Brasquet, 2003**). Ils mettent en évidence des différences entre types de fromage, des relations entre variables, voire pour automatiser le contrôle qualité en temps réel.

3.1.3. Critères d'évaluation multicritères des fromages

Pour évaluer la qualité globale d'un fromage, plusieurs types de critères sont à nécessaire à prendre en compte. Ces critères, à la fois objectifs et sensoriels, permettent d'apprécier non seulement les aspects sanitaires et nutritionnels, mais aussi les caractéristiques perçues par le consommateur. L'approche multicritère offre ainsi une vision complète du produit, en combinant des données issues d'analyses microbiologiques, physico-chimiques, sensorielles et réglementaires (**Cozzolino, 2016 ; Galli et al., 2012**).

3.1.3.1. Critères sensoriels

Les critères sensoriels d'un fromage regroupent l'ensemble des perceptions liées aux cinq sens : goût, odeur, texture, aspect visuel et parfois sonorité. Leur évaluation permet d'apprécier la qualité organoleptique du produit. L'intérêt pour la qualité sensorielle des aliments remonte aux années 1940–1950, notamment avec des recherches menées par l'armée américaine pour améliorer l'acceptabilité des rations militaires (**Meiselman et Schutz, 2003**).

Malgré l'existence de descriptions sensorielles dans les ouvrages spécialisés sur les fromages, peu de variétés ont fait l'objet d'une normalisation rigoureuse selon les méthodes de la science sensorielle. Cette absence de standardisation rend les comparaisons entre études difficilement exploitables (**Lefebvre et Bassereau, 2003**).

Les critères sensoriels du fromage jouent un rôle central dans l'évaluation de sa qualité, car ils influencent directement la perception du consommateur.

- ✧ L'aspect visuel — incluant la couleur, la présence de moisissures ou de trous, la forme et l'emballage — crée les premières attentes gustatives (**Murray et Delahunty, 2000**). Par exemple, une teinte plus colorée est souvent associée à une saveur plus intense.
- ✧ Le goût, quant à lui, repose sur des sensations en bouche provoquées par des composés comme les acides, sels ou acides aminés, qui déclenchent les saveurs sucrées, salées, acides ou amères (**Drake et McMahon, 2007**).
- ✧ La texture est perçue par le toucher, la vue et parfois l'audition, et elle décrit des sensations telles que la fermeté, l'élasticité ou l'onctuosité du fromage (**Foegeding et al., 2011**).

✧ Enfin, l'odeur est issue de composés volatils libérés avant ou pendant la consommation, et elle joue un rôle déterminant dans l'arôme global du produit. Ensemble, ces éléments permettent de juger de la qualité sensorielle d'un fromage de manière complète et cohérente (**Maarse et Visscher, 1989**).

3.1.3.1.1.Méthodes d'évaluation des critères sensorielles

De nombreuses recherches sur la fabrication, la composition et la microbiologie du fromage visent à améliorer ses qualités sensorielles, notamment l'apparence, la texture et la saveur. Toutefois, la comparaison des résultats reste difficile en raison de l'absence de standardisation complète des mesures sensorielles finales.

Dans l'industrie fromagère, la méthode d'évaluation la plus répandue reste la notation sensorielle. Celle-ci permet de classer les fromages selon leur potentiel de maturation et leur qualité au point de vente. Des systèmes de notation comme celui proposé par la Fédération Internationale du Lait (**IDF**) attribuent des scores allant de 0 (qualité minimale) à 5 (qualité optimale), en fonction de la présence ou non de défauts (**Gruppín, et Beuvier,1997**).

3.1.3.2. Critères microbiologiques

L'évaluation microbiologique des fromages est essentielle pour garantir leur qualité et leur sécurité. Elle repose sur l'analyse des différentes familles de micro-organismes présentes naturellement dans le lait ou ajoutées volontairement pendant la fabrication. Certaines bactéries, comme les lactobacilles, lactocoques ou streptocoques lactiques, jouent un rôle bénéfique en contribuant à la texture, au goût et à la bonne conservation du fromage (**Badis et al.,2005**). D'autres, comme les entérocoques, peuvent être utiles mais nécessitent une attention particulière en raison de leur potentiel pathogène. En parallèle, les ferments lactiques, souvent sélectionnés en laboratoire, sont utilisés pour diriger la fermentation et améliorer les qualités sensorielles(**Pillet et al., 2005; Jamet, 2009**).

Enfin, certains germes indésirables – issus du lait cru ou de l'environnement – comme *Listeria*, *Salmonella* ou *Staphylococcus aureus*, peuvent représenter un risque si les conditions d'hygiène et de fabrication ne sont pas strictement contrôlées(**Eck et Gillis , 2006**). Des paramètres comme le pH, l'humidité ou le taux de sel influencent directement leur développement. C'est pourquoi une surveillance microbiologique rigoureuse est indispensable pour produire des fromages sains, bons... et sûrs à consommer.

3.1.3.3. Critères physico-chimiques : ·

Les critères physico-chimiques sont essentiels pour caractériser un fromage, de sa texture à sa saveur, en passant par sa conservation.

- **Humidité** : Elle détermine si le fromage est moelleux ou sec, sa durée de conservation et son activité microbienne. Plus un fromage est humide, plus il est fragile et périssable.
- **Matière grasse** : Responsable de l'onctuosité, du goût et de la valeur énergétique. Une bonne teneur en matière grasse améliore la texture et les arômes.
- **Sel (NaCl)** : Il agit comme conservateur naturel, renforce le goût, régule la fermentation et influence la texture. Trop peu de sel rend le fromage fade, trop de sel le rend trop fort (Tamime,2006).
- **pH** : Il reflète l'acidité active. Le pH influence la coagulation, la texture, l'arôme et le développement microbien. Un pH plus bas inhibe les pathogènes (Fox et al.,2004).
- **Acidité titrable** : Complémentaire au pH, elle indique la quantité d'acides organiques. Elle joue un rôle dans le goût vif du fromage et son évolution pendant l'affinage.
- **Protéines totales** : Elles forment la structure du fromage et participent à la texture et au développement des arômes. Le fromage est une excellente source de protéines de qualité.
- **Densité** : Elle indique la compacité du fromage. Elle est utile pour le conditionnement et donne une idée de la texture (plus aérée = moins dense).

Ces critères sont mesurés par des méthodes précises (titration, séchage, pH-mètre, etc.) et varient selon le type de fromage (frais, à pâte molle, dure...). Ils permettent de garantir la qualité, la sécurité et la typicité de chaque produit.

3.1.4. Méthodes d'analyse multicritère (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique couramment utilisée pour mieux comprendre les données complexes. Dans le cas des fromages, elle permet par exemple de réduire un grand nombre de caractéristiques physiques à quelques axes essentiels (Frau et al.,2018). Ainsi, une étude a montré que deux composantes principales suffisaient à distinguer les fromages selon leur niveau d'affinage, en se basant sur l'eau disponible et la fermeté.

Cette approche est aussi utile pour relier la composition chimique ou microbienne des fromages à leur goût ou à leur odeur, notamment dans des analyses sensorielles (Raats et al.,2017).

Par exemple, dans l'étude des Emmentals français, la ACP permet de classer et différencier des fromages très proches, en s'appuyant sur des bases de données physico-chimiques détaillées.

3.1.5. Analyse de variance (ANOVA)

Les outils statistiques comme l'analyse de variance (ANOVA) ou les tests t sont couramment utilisés en technologie fromagère pour évaluer si différentes conditions de fabrication (type de lait, durée d'affinage, variété de fromage...) entraînent des variations significatives sur des paramètres

spécifiques. Ces tests permettent de quantifier rigoureusement les écarts observés et de valider leur signification statistique.

Par exemple, **Frau et al., (1999)** ont appliqué une ANOVA à sept types de fromages Mahón, différenciés par leur stade d'affinage. Leur analyse a mis en évidence des différences significatives en activité de l'eau et en couleur, montrant ainsi l'impact mesurable de la maturation sur les propriétés physiques du produit.

De telles approches statistiques sont fondamentales pour identifier les facteurs influents sur la qualité du fromage, optimiser les procédés de production, ou encore appuyer des critères d'étiquetage ou de certification. En complément, des tests post-hoc comme celui de **Tukey** peuvent affiner l'interprétation en comparant les groupes deux à deux.

3.2. Normes de conformité applicables au fromage

La fabrication et la commercialisation des fromages sont encadrées par des normes strictes, tant au niveau international que national. Ces normes visent à garantir la qualité sanitaire, la composition, l'étiquetage et la sécurité des produits pour le consommateur. Elles couvrent notamment les critères microbiologiques (absence de pathogènes), physico-chimiques (teneurs en matière grasse, humidité, résidus), ainsi que les exigences d'hygiène tout au long du processus de production. Cette section présente les principaux référentiels de conformité, tels que le *Codex Alimentarius*, les normes ISO, les réglementations européennes, ainsi que les textes législatifs algériens harmonisés avec ces standards.

3.2.1. Normes internationales

Les normes internationales assurent une harmonisation des critères de qualité et de sécurité pour les produits laitiers à l'échelle mondiale. Elles servent de référence pour le commerce, la réglementation et la protection des consommateurs. Parmi ces normes:

✧ **Codex Alimentarius (FAO/OMS)**

- CODEX STAN 283-1978 : norme générale pour les fromages.
- CODEX STAN 221-2001 : applicable aux fromages frais fermentés.
- Détermine les critères microbiologiques (*Listeria*, *Salmonella*), physico-chimiques (matières grasses, humidité), additifs autorisés, hygiène selon HACCP.

✧ **ISO (Organisation internationale de normalisation)**

- ISO 7218 : méthodes d'analyses microbiologiques.
- ISO 8261 : préparation des échantillons laitiers.
- ISO 14501 : détection des résidus d'antibiotiques.

Le tableau 5 synthétise les principales norme:

Tableau 5: Synthèse des principales normes

Norme	Organisme	Type de critères
Codex STAN 283-1978	Codex Alimentarius	Composition, hygiène, additifs
Règlement CE 2073/2005	Union Européenne	Microbiologie (<i>Listeria</i> , <i>Salmonella</i> ...)
ISO 7218	ISO	Méthodes microbiologiques
21 CFR Part 133	FDA (États-Unis)	Définitions des types de fromages
Décret AOP (France)	INAO / AFNOR	Cahier des charges et terroir

3.2.2. Normes algériennes

L'Algérie s'appuie sur un cadre réglementaire en constante évolution pour garantir la sécurité et la qualité des fromages produits ou importés. Ces normes s'inspirent largement des référentiels internationaux tout en tenant compte des spécificités locales.

- Harmonisation avec les normes internationales.
- Comité national Codex (Décret 05-67, 2005).
- Application des seuils Codex/UE si absence de norme locale (Décret 14-366, art. 9).
- Critères microbiologiques réglementaires (Arrêté 04/10/2016, JO n°39/2017)
- * *Listeria monocytogenes*: ≤ 100 UFC/g.
- * *Salmonella* spp. : absence sur 25 g.
- * *Staphylococcus aureus* : $\leq 10^5$ UFC/g (limite), $\leq 10^6$ UFC/g (seuil critique).
- * *Escherichia coli* : seuils entre 10^2 – 10^4 UFC/g selon type.
- Contaminants chimiques et résidus vétérinaires
- Décret 14-366 (2014) : cadre général des contaminants.
- Arrêté du 20 juin 2016 (JO n°68/2017) : LMR pour antibiotiques et autres résidus.
- Référence aux normes Codex ou UE pour métaux lourds et pesticides.

L'Algérie présente ses réglementations sur les standards internationaux (Codex, UE), en imposant des seuils stricts pour les agents pathogènes, les contaminants chimiques et les résidus d'antibiotiques, garantissant ainsi la sécurité sanitaire des fromages commercialisés.

Cette évaluation multicritère et statistique a permis d'identifier les principales non-conformités sanitaires ainsi que les variables influentes. Ces résultats fournissent une base solide pour la mise en place d'une étude expérimentale visant à confirmer les tendances observées et approfondir l'analyse sur le terrain.

CHAPITRE IV

4

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE IV: Matériel et méthodes

4.1. Objectifs de l'étude

Ce travail a pour objectif général d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de fromages algériens, à travers une analyse multicritère et statistique.

Les objectifs spécifiques consistent à :

- ✧ Analyser des échantillons de deux marques locales (Yakourène et La Bonne Vache) pour trois types de fromages (fromage fondu, préparation fromagère, et préparation à tartiner).
- ✧ Déterminer la composition nutritionnelle à travers plusieurs paramètres clés (protéines, matières grasses, glucides, fibres etc.).
- ✧ Contrôler la conformité microbiologique selon les normes en vigueur.
- ✧ Comparer les résultats entre les deux marques et produits à l'aide d'outils statistiques (ANOVA, test de Turkey).
- ✧ Établir un classement global de la qualité sanitaire des produits.

4.2. Lieu de stage

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire "QUALIPRO", situé dans la région de Douéra – Alger. Ce laboratoire privé est spécialisé dans le contrôle qualité et la sécurité sanitaire des produits agroalimentaires, cosmétiques et détergents.

QUALIPRO propose une large gamme d'analyses microbiologiques et physico-chimiques, dans le respect des normes nationales et internationales (ISO, AFNOR, *Codex Alimentarius*). Les prélèvements sont assurés par l'équipe technique du laboratoire, garantissant le respect de la chaîne de froid et des conditions de conservation des échantillons.



Figure 6:Présentation du laboratoire de contrôle "Qualipro"

4.3. Matériel et méthodes

• 4.3.1. Matériel analytique (voir annexe 1)

L'ensemble des ressources , matérielles mobilisées au laboratoire "QUALIPRO" sont représentés dans l'annexe 1.

4.3.2. Produits analysés et échantillonnage

L'échantillonnage des différents produits sur lesquels a porté notre étude a été réalisé par les entreprises laitières elles-mêmes qui ont déposé les échantillons de leurs produits au niveau du laboratoire QUALIPRO, dans le cadre de prestations de contrôle qualité.

Deux marques de fromages transformés algériens ont été choisies : Yakourène et La Bonne Vache, sélectionnées pour leur présence fréquente sur le marché local:



Figure 7 : Fromage marque "Yakourène" **Figure 8:** Fromage marque "La bonne vache"

Trois catégories de produits ont été choisies pour chaque marque de fromage :

Tableau 6:Présentation des fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage
Yakourène	Fromage fondu 
	Préparation fromagère 
	Fromage à tartiner. 
La bonne vache	Fromage fondu 
	Préparation fromagère 
	Fromage à tartiner. 

Le choix des échantillons s'est fait de manière aléatoire, directement à partir de lots commercialisés.

Un total de 30 échantillons a été collecté, soit 15 échantillons par marque, répartis équitablement entre les trois types de produits (5 échantillons par catégorie).

Chaque produit a été identifié, étiqueté, et transporté vers le laboratoire QUALIPRO dans le respect de la chaîne de froid, en vue des analyses physico-chimiques et microbiologiques. La date de péremption, le numéro de lot, la composition, et le lieu d'achat ont été relevés pour chaque échantillon.

Chaque échantillon (en emballage d'origine non ouvert) a été identifié par code (ex. FF1, PF2, PFT3...) et conservé à +4 °C jusqu'à l'analyse.

Le tableau représente la répartition des échantillons analysés par marque et type de fromage:

Tabau 7 :Répartition des échantillons analysés par marque et type de fromage

Marque	Fromage fondu	Préparation fromagère	Fromage à tartiner	Total
Yakourène	5	5	5	15
La Bonne Vache	5	5	5	15
Total	10	10	10	30

4.3.3. Caractéristiques des fromages étudiés

- **Fromage fondu** : produit obtenu par fonte de fromages avec ou sans ajouts d'ingrédients laitiers ou non laitiers.

- **Préparation fromagère** : produit similaire au fromage fondu mais contenant une proportion variable de matières grasses végétales ou de protéines d'origine non laitière.
- **Fromage à tartiner** : produit onctueux à base de fromage et de matières grasses, destiné à être consommé froid, souvent aromatisé.

4.4. Méthodes expérimentales

4.4.1. Méthode de prélèvement

Les prélèvements de nos échantillons de fromage ont été effectués sur des produits finis fournis par les entreprises dans le cadre d'un contrôle qualité. Pour garantir la fiabilité des résultats, nos échantillons destinés aux analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été prélevés à partir du même lot, de manière à conserver des conditions homogènes d'analyse.

Le lot a été choisi de façon aléatoire parmi les palettes de stockage disponibles au moment de la réception. Les opérations de prélèvement se sont déroulées dans une ambiance stérile, conformément aux bonnes pratiques d'hygiène en laboratoire.

L'ouverture des emballages a été réalisée à l'aide d'un couteau stérilisé, suivi du découpage aseptique des portions nécessaires. Les morceaux de fromage ont ensuite été placés dans des béchers stérilisés hermétiquement fermés, puis transférés immédiatement vers les zones d'analyse.

L'ensemble du matériel utilisé (couteaux, béchers, pinces) a été préalablement stérilisé, et toutes les manipulations ont été effectuées avec des gants et tenues de laboratoire adaptées afin d'éviter toute contamination.

4.4.2. Analyses physico-chimiques

4.4.2.1. Détermination du pH (NF V 04-316)

◆ Principe

Le principe fondamental de détermination du pH repose sur sa mesure directe à l'aide d'un pH-mètre.

◆ Mode opératoire

➤ Le pH-mètre est étalonné en utilisant des solutions tampons de pH 4 et pH 7 pour garantir la précision des mesures.

➤ broyer les morceaux dans un broyeur industriel pendant 1 minute ;

➤ Dissoudre 10g de fromage dans 100 ml d'eau distillée.

- l'électrode du pH-mètre est plongée dans l'échantillon de lait.

- la lecture et l'enregistrement de la valeur du pH affichée sur le pH-mètre après que la mesure soit stabilisée.

4.4.2.2. Détermination de la Teneur en humidité (Méthode gravimétrique) :

◆ **Principe :**

La méthode gravimétrique est une technique classique utilisée pour déterminer la teneur en humidité d'un fromage. Cette méthode repose sur la perte de masse après évaporation de l'eau contenue dans l'échantillon.

◆ **Mode opératoire :**

1. Pesée de 5g d'échantillon homogénéisé dans une capsule en aluminium.
2. Séchage à 105 °C pendant 24 h dans une étuve jusqu'à masse constante.
3. Refroidissement en dessiccateur et pesée.

La teneur en humidité (%) est calculée selon la formule suivante:

$$\% \text{ Humidité} = (\text{Masse initiale} - \text{Masse après séchage}) \times 100 / \text{Masse initiale}$$

4.4.2.3. Détermination de la matière sèche (AFNOR NF V04-208)

◆ **Principe:**

La matière sèche correspond à la fraction du produit qui reste après élimination de toute l'eau par séchage. Elle concerne les protéines, lipides, glucides, minéraux, etc.

La teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage du poids initial de l'échantillon et le séchage est effectué à température contrôlée (généralement 102 ± 2 °C) jusqu'à obtention d'un poids constant.

◆ **Mode opératoire :**

- Tarrage de la capsule vide (P_0)
 - Chauffer la capsule vide à 102 °C pendant 30 min, refroidir dans un dessiccateur, puis peser.
 - Pesée de l'échantillon
 - Ajouter ~5 g de fromage bien homogénéisé dans la capsule. Peser (P_1).
 - Séchage
 - Placer la capsule ouverte dans l'étuve à 102 ± 2 °C pendant 4 à 6 heures ou jusqu'à poids constant.
 - Refroidissement
 - Transférer rapidement la capsule dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité, puis peser (P_2).
- **Calcul de la matière sèche (%) :**

$$\text{Matiere seche (\%)} = (P_2 - P_0) / (P_1 - P_0) \times 100$$

4.4.2.4. Détermination des protéines totales (Méthode de kjeldahl) (NF EN ISO 8968-1)

◆ Principe :

La méthode utilisée repose sur la digestion acide de l'échantillon, suivie d'une distillation de l'ammoniac et d'un titrage. Elle est proche de la méthode de Kjeldahl.

❖ Étapes principales :

1. **Digestion** de l'échantillon dans de l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), en présence d'un catalyseur (mélange de sulfate de potassium et de sélénium).
2. **Conversion** de l'azote organique en ion ammonium (NH_4^+).
3. **Distillation** alcaline avec soude pour libérer l'ammoniac (NH_3).
4. **Titrage** de l'ammoniac piégé dans l'acide borique avec de l'acide sulfurique ou chlorhydrique normalisé.

◆ Mode opératoire :

- Peser environ 0,5 à 1 g de fromage dans un tube Kjeldahl.
- Ajouter acide sulfurique (H_2SO_4) + catalyseur (CuSO_4 , K_2SO_4).
- Chauffer jusqu'à obtenir un liquide clair (minéralisation).
- Laisser refroidir, ajouter de la soude (NaOH) et distiller l'ammoniac dans un récepteur contenant acide borique (H_3BO_3).
- Titrer le distillat avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl) ou sulfurique (H_2SO_4) de concentration connue.
- Calculer la teneur en azote, puis en protéines

La teneur en azote est représenté par la formule ci dessous:

$$N = \frac{(m(V_b - V_e) \times N \times 14,007)}{m}$$

Avec :

- V_b = volume d'acide utilisé pour l'échantillon (mL)
- V_e = volume d'acide utilisé pour le blanc (mL)
- N = normalité de l'acide
- m = masse de l'échantillon (g)
- **14,007** = masse molaire de l'azote (g/mol)

- **6,38** = facteur de conversion spécifique aux produits laitiers.

La teneur en % des protéines est illustrée par la formule ci dessous:

$$\% \text{ Protéines} = N\% \times \text{facteur (6.38 pour les produits laitiers)}.$$

4.4.2.5. Détermination des matières grasses

♦ Principe :

La méthode du butyromètre repose sur l'extraction directe de la matière grasse par l'action de l'acide sulfurique concentré, qui dissout les protéines. L'ajout d'alcool isoamylique favorise la séparation des phases. Après centrifugation et chauffage, la matière grasse remonte dans le col calibré du butyromètre, où elle est lue directement en %.

♦ Mode opératoire :

Une masse de 3g de fromage est broyé dans le godet qu'on introduit dans le butyromètre de VAN GULIK.

- introduire par l'extrémité du butyromètre de l'acide sulfurique jusqu'à ce que le niveau de l'acide dépasse le godet de 2 mm ;
- placer le butyromètre dans le bain-marie jusqu'à la dissolution totale du fromage ;
- retirer le butyromètre, agiter puis introduire 7ml d'alcool isoamylique ;
- ajouter de l'acide sulfurique jusqu'à l'avant dernière graduation du butyromètre ;
- faire des retournements puis des agitations (2 fois) ;
- placer le butyromètre dans la centrifugeuse à 1200 tours / min pendant 6 minutes ;
- la teneur en matière grasse exprimée en g/100g de fromage est donnée par lecture directe sur le butyromètre.

4.4.2.6. Détermination des glucides (par différence)

Les glucides totaux ont été estimés indirectement selon la formule :

$$\% \text{ Glucides} = 100 - (\% \text{ Humidité} + \% \text{ Protéines} + \% \text{ Lipides} + \% \text{ Cendres})$$

Cette méthode est recommandée lorsque les sucres ne sont pas dosés par voie chromatographique.

✧ 4.4.2.7. Détermination des fibres alimentaires totales (AOAC 985.29)

Même si les produits laitiers sont généralement pauvres en fibres, certaines préparations fromagères industrielles peuvent contenir des ajouts d'amidons, gommes, ou fibres végétales (fibres d'inuline, cellulose modifiée, etc.).

◆ Principe :

Les fibres alimentaires sont les résidus non digestibles par les enzymes humaines. On simule la digestion enzymatique (amidon, protéines), puis on récupère le résidu insoluble, qu'on sèche, pèse, et corrige des protéines et cendres restantes. Les étapes principales consistent à :

1. Traitement enzymatique :
 - Amylase (α -amylase) : hydrolyse des amidons.
 - Protéinase : digestion des protéines.
 - Amyloglucosidase : hydrolyse complémentaire.
2. Filtration du résidu insoluble.
3. Séchage du résidu à 105 °C jusqu'à masse constante.
4. Dosage des cendres et protéines résiduelles pour corriger la masse brute.

Le pourcentage des fibres est calculé selon la formule suivante:

$$\% \text{ Fibres} = \frac{(\text{Poids du résidu} - \text{Protéines} - \text{Cendres})}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100$$

Cette méthode nécessite un équipement enzymatique de base et un four à moufle.

4.4.2.8. Détermination de la teneur en sel (NaCl)

◆ Principe :

La teneur en sel est un paramètre essentiel pour les produits fromagers, car elle influence la conservation, le goût, et la flore microbienne. Elle est généralement déterminée par titrage du chlorure (Cl^-) présent dans l'échantillon, après extraction dans l'eau.

❖ Méthode utilisée : Dosage par titrage au nitrate d'argent (méthode de Mohr)

Les ions chlorure (Cl^-) sont titrés par une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) en présence d'un indicateur chromatique (chromate de potassium). À l'équivalence, le précipité rouge-brun d' Ag_2CrO_4 indique la fin du titrage.

Réactifs :

- Solution titrante : AgNO_3 0.1 N

- Indicateur : **K₂CrO₄ (chromate de potassium, 5%)**
- Échantillon extrait dans de l'eau distillée ou acide acétique dilué.

♦ **Mode opératoire :**

- Peser 5 g d'échantillon.
- Diluer dans 50–100 mL d'eau distillée chaude.
- Ajouter quelques gouttes d'indicateur.
- Titrer lentement avec AgNO₃ 0.1N jusqu'à apparition d'un précipité rouge-brun persistant.

La teneur en sel est déterminée selon la formule ci dessous:

$$\% \text{NaCl} = \frac{V \times N \times 58.5 \times 100}{P \times 1000}$$

Où

- **V** = volume de AgNO₃ utilisé (mL)
- **N** = normalité du AgNO₃
- **P** = masse d'échantillon (g)
- **58.5** = poids moléculaire du NaCl

Cette méthode est fiable, économique, et largement utilisée dans le secteur laitier.

4.4.2.9. Détermination de la valeur énergétique

♦ **Principe :**

La valeur énergétique d'un fromage correspond à l'énergie fournie à l'organisme par la consommation de 100 g du produit. Elle s'exprime généralement en kilocalories (kcal) ou en kilojoules (kJ). Elle a été calculée de manière théorique, en appliquant les facteurs d'Atwater, qui attribuent à chaque macronutriment une valeur calorique moyenne :

- **Protéines** : 4 kcal/g
- **Glucides** : 4 kcal/g
- **Lipides** : 9 kcal/g
- Ces coefficients sont standards et utilisés dans le domaine de la nutrition pour estimer l'apport énergétique des aliments.

❖ **Formules utilisées :**

$$\text{Valeur énergétique (kcal/100g)} = (P \times 4) + (G \times 4) + (L \times 9)$$

Où :

- **P** : Teneur en protéines (g/100g)
- **G** : Teneur en glucides (g/100g)
- **L** : Teneur en lipides (g/100g)

La valeur est exprimée en kilocalories (kcal) pour 100 g de produit.

4.5. Analyses microbiologiques :

4.5.1. Recherche et dénombrement d'*Escherichia coli*:

L'*Escherichia coli* appartient au groupe des Coliformes thermotolérants pour cela la recherche et le dénombrement de ce micro-organisme se fait à partir des boîtes de 44 °C

✧ **Technique de recherche:**

-Identifier au moins 3 colonies caractéristiques des Coliformes thermotolérants sur chaque boîte retenue

-Aspirer la colonie à l'aide d'une pipette pasteur munie d'une poire

-Repiquer séparément chaque colonie et l'ensemencer dans Eau peptonée exempte de subert

-Incuber pendant 18-24 h à 44° C

-Mettre 4 à 5 gouttes de réactif Kovacs.

❖ **Dénombrement d'*Escherichia coli*:**

$$aI = b/A.c$$

Avec:

aI: Nombre d'Ecoli de la première dilution

c: Nombre total de coliformes thermo tolérants de la 1ère dilution

A: Nombre de colonies repiquées par boîte (A-3 ou 5)

N.B: Procéder de la même manière pour le calcul d'*a2* qui est égale au nombre d'Ecoli présent dans la deuxième dilution.

❖ **Lecture:**

Un résultat positif est indiqué par la présence d'un anneau rouge à la surface du bouillon.

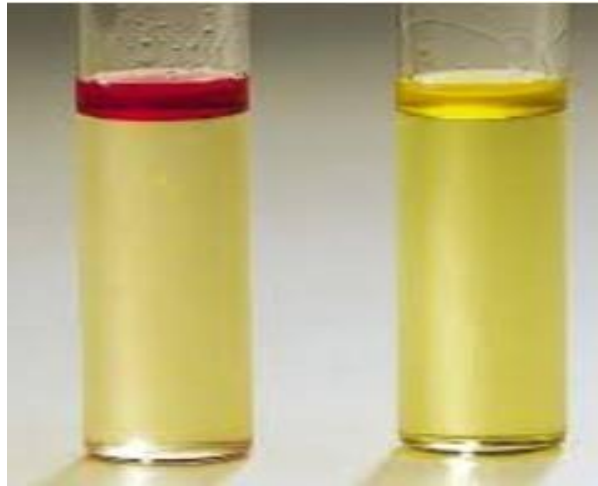


Figure 8 : Résultat positif pour *Echerichia coli*

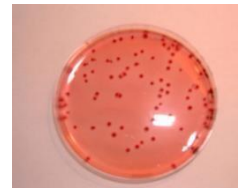
❖ **Dénombrement:**

Le dénombrement consiste à compter toutes les colonies ayant poussé sur les boites en tenant compte des facteurs de dilutions, de plus:

- ne dénombrer que les boites contenant entre 15 et 300 colonies,

Le dénombrement des colonies est réalisé selon la formule suivante:

$$N = \sum c / v(n1 + 0.1n2)d$$



$\sum c$: somme des colonies de toutes les boites.

Avec :

d: le facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenus.

v: volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte

n: nombre de boites positives de la première dilution.

n1: nombre de boites positives de la deuxième dilution.

N.B: Il est impossible de trouver plus de Coliformes fécaux que de Coliformes totaux.

A partir des dilutions décimales

- ✓ L'incubation de Coliformes totaux se fait à 37 °C de 24 h à 48 h
- ✓ L'incubation des Coliformes fécaux (*E.Coli*) se fait à 44 °C de 24 h à 48 h
- ✓ Ajouter auparavant environ 20 ml de gélose VGBL
- ✓ Laisser solidifier sur paillasse
- ✓ Dénombrer les colonies rouges ayant poussé en masse.

4.5.2. Recherche de *Staphylococcus aureus*.

◆ **Principe :**

Selon la disponibilité des milieux de culture, différentes techniques sont recommandées pour la recherche de *Staphylococcus aureus* à savoir:

- ✓ méthode de Baird Parker
- ✓ méthode d'enrichissement sur milieu de Giolliti Cantonii

◆ **Mode opératoire :Méthode de Baird Parker :**

✧ **Préparation du milieu :**

Au moment de l'emploi faire fondre un flacon contenant la gélose Baird Parker, le refroidir ensuite dans un bain d'eau à 45°C, puis ajouter la solution de jaune d'œuf au Tellurite de potassium.

Mélanger soigneusement et aseptiquement, puis répartir le milieu en boîtes de pétri à raison de 15 à 18 ml par boîte

Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis les sécher en les plaçant retournées couvercle en bas (bord de la boîte sur le bord du couvercle) dans une étuve de séchage réglée entre 45 à 55°C.

✧ **Ensemencement.**

A partir des dilutions décimales 10^{-5} dans le cas des toxi-infections alimentaires et à partir de 10^{-3} dans le cas des contrôles de routine, porter aseptiquement 0,1 ml de chaque dilution répartie en surface à raison de 3 fractions sensiblement égales dans trois boîtes contenant le milieu de Baird Parker puis étaler à l'aide d'un même étaleur en commençant par les boîtes de plus forte dilution.

✧ **Incubation.**

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

✧ **Lecture.**

Seront considérées comme positives, les boîtes contenant des colonies caractéristiques à savoir des colonies noires, brillantes, convexes entourées d'une zone de transparence qui peut être translucide.

Après 24 heures, peut apparaître dans cette zone transparente, un anneau opalescent immédiatement au contact des colonies.

Pour s'assurer qu'il s'agit bien de colonies de *Staphylococcus aureus*, effectuer les tests biochimiques rapides à savoir:

❖ **Test catalase.**

Ajouter quelques gouttes d'H₂O, sur une lame, puis additionner quelques colonies. Si on observe une formation de bulles de gaz, cela signifie que la bactérie est catalase positive.

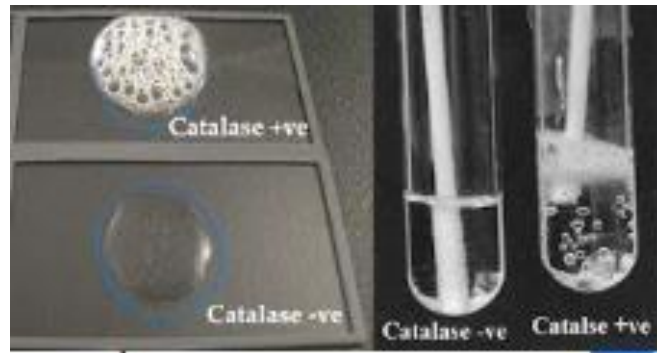


Figure 9: Résultat du Test Catalase

❖ **Test coagulase:**

Dans un tube à essai,ensemencer le bouillon cœur-cerveau (BHIB) avec une à deux colonies à tester, incuber le tube dans l'étuve à 37 °C pendant 24 h.

Dans un tube, ajouter 0.5 ml de plasma de lapin et 0.5ml de culture en bouillon puis agiter le mélange et placer le tube à l'étuve à 37 °C pendant 24 h.

✧ **La lecture**

La lecture se fait à partir de 30 min jusqu'à 24 h. La bactérie est coagulase positive, si et seulement si, le plasma se coagule (au moins 1/3 du tube). Ce qui confirme la présence de *Staphylococcus aureus*.

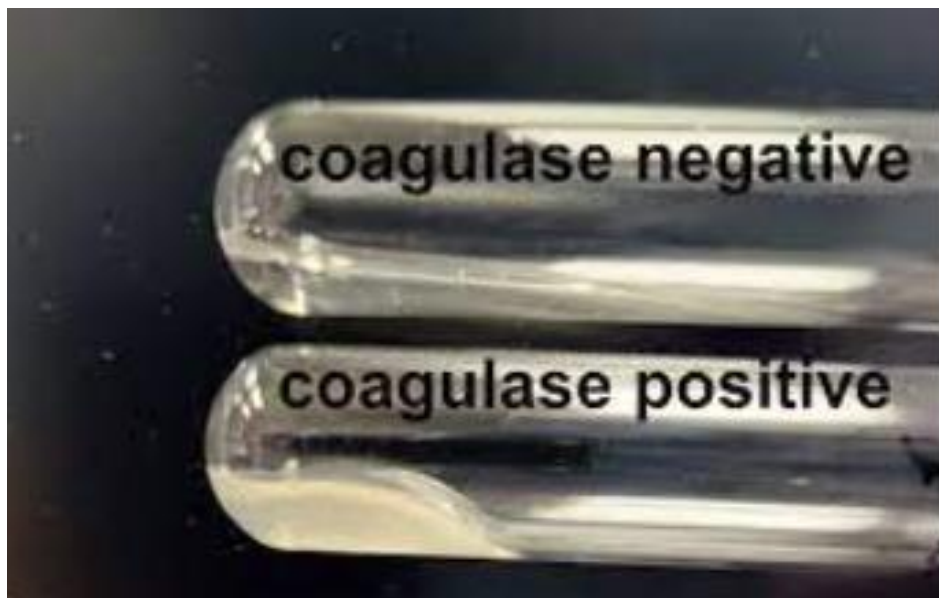


Figure 10: Résultat du test coagulase

◆ **Remarque:**

Les boîtes coulées avec de la gélose Baird Parker non séchées peuvent être conservées entre 0 et +5°C au maximum 24 heures.

Des colonies non caractéristiques peuvent apparaître sur les boîtes: il s'agit de colonies noires, brillantes, convexes ou gris noirâtres ayant parfois un aspect mat et une texture sèche, dépourvues de zone de transparence.

5.4.2. Recherche de *Salmonella*.

◆ Principe :

La recherche des *Salmonella* dans les denrées alimentaires se fait selon une technique de prés enrichissement en eau peptonée tamponnée, d'enrichissement sur le milieu de Rappaport Vassiliadis réparti à raison de 10 ml par tube et le milieu de Sélénite - Cystéine réparti à raison de 100 ml par flacon, enfin isolement sur milieu Hektoen.

◆ Mode opératoire :

La recherche des *Salmonella* nécessite une prise d'essai à part.

❖ Jour 1: Pré-enrichissement.

- Prélever 25 ml ou 25 gr de produit à analyser dans 1 sachet stérile de type Stomacher contenant 225 ml d'eau peptonée tamponnée.
- Broyer cette suspension dans un broyeur de type Stomacher, la transposer dans un flacon stérile qu'on incube à 37°C pendant 18 heures.

❖ Jour 2: Enrichissement.

L'enrichissement doit s'effectuer sur deux milieux sélectifs différents à savoir:

- le milieu de Rappaport Vassiliadis réparti à raison de 10 ml par tube.
- le milieu de Sélénite - Cystéine réparti à raison de 100 ml par flacon.

L'enrichissement proprement dit, se fait donc à partir du milieu de pré-enrichissement de la façon suivante:

- 0,1 ml en double pour les tubes de Rappaport Vassiliadis.
- 10 ml en double pour les flacons de Sélénite Cystéine.

❖ Incubation.

Le tube de Rappaport sera incubé à 37°C. 24 h.

Le flacon de Sélénite sera incubé à 37°C, 24 h.

❖ Jour 3: Isolement:

Chaque tube et chaque flacon fera l'objet d'un isolement sur deux milieux gélosés différents à savoir:

- le milieu gélosé Hektoen

- le milieu gélosé Bilié lactosé au vert brillant et au rouge de phénol.

Toutes les boîtes ainsiensemencées seront incubées à 37°C pendant 24 h.

❖ **J4 :Lecture des boîtes et Identification:**

❖ *Salmonella* se présentent de la façon suivante:

Les colonies roses entourées d'une zone rouge sur gelose BLVBRP.

les colonies le plus souvent gris bleu à centre noir sur gélose Hektoen.

❖ **Identification morphologique et biochimique:**

Les colonies caractéristiques et distinctes feront l'objet d'une identification morphologique et chimique qui se déroule comme suit:

- But frais (bacilles, mobilité),

- Coloration de Gram (bacilles Gram négatifs),

-Ensemencement d'un tube de Kligler (TSI) qui sera incubé à 37°C, 24 h (Lactose, Saccharose, Glucose, Gaz et HS),

-Ensemencement d'un tube de gélose nutritive inclinée qui sera incubé à 37°C. 24 h qui servira à l'agglutination sur lame.

❖ **Ensemencement:**

soit d'une galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Témoin, Urée, Indole, TDA. Citrate de Simmons, VP, RM),ou d'une galerie biochimique API 20.

❖ **Identification Antigénique:**

Cette dernière repose sur l'agglutination sur lame de verre, à partir des mêmes colonies isolées la veille sur GN inclinée en tubes, à l'aide des sérums de groupes d'abord OMA, OMB puis les autres après.

4.6. Traitement statistique des données

• Chaque mesure a été réalisée en triplicata pour assurer la reproductibilité.

• Les résultats sont présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type.

Le logiciel Microsoft Excel 2016 a été utilisé pour la mise en forme des tableaux, le calcul des moyennes et l'analyse graphique (histogrammes, courbes comparatives).

• L'analyse de variance (ANOVA à un facteur) afin de tester l'effet du facteur étudié (type de fromage, condition de fabrication, etc.) sur les variables mesurées.

• Pour la significativité, un test post-hoc de Tukey a été utilisé pour effectuer des comparaisons multiples entre les groupes. Le seuil de signification a été fixé à $p < 0,05$.

CHAPITRE

5

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V: Résultats et discussion

Ce chapitre présente et interprète les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques effectuées sur trois catégories de fromages : le fromage fondu, la préparation fromagère et le fromage à tartiner, produits par deux entreprises algériennes, Yakouren et La Bonne Vache. L'objectif est d'évaluer les différences de composition nutritionnelle entre ces produits, d'examiner leur conformité aux normes alimentaires en vigueur, et de procéder à une évaluation multicritère de leur qualité globale.

5.1. Résultats des analyses physico - chimiques

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les paramètres suivants :pH, taux d'humidité, matières sèches, valeur énergétique (kcal), teneur en protéines, lipides, acides gras saturés, sucres, fibres alimentaires, et sels.

Les résultats obtenus ont permis de comparer la composition nutritionnelle des produits selon le type de fromage et l'entreprise fabricante. Ils sont présentés sous forme de tableaux et d'histogrammes, facilitant la comparaison visuelle des différentes teneurs moyennes pour chaque paramètre analysé. Chaque graphique met en évidence les différences entre les trois types de fromage pour les deux marques étudiées, avec indication de la moyenne $\pm$ écart-type.

5.1.1. pH

Le Tableau 8 révèle les valeurs de pH avec les écarts-types des différents types de fromages prélevés dans les entreprises "Yakouren" et " Bonne Vache":

Tableau 8 : pH des différents types de fromages prélevés dans les entreprises "Yakouren" et "La Bonne Vache":

Entreprise	Type de fromage	PH
Yakouréne	Fromage fondu	5.57 $\pm$ 0.06 ^a
	Préparation Fromagère	5.30 $\pm$ 0.10 ^b
	Froamgeà tartiner	5.10 $\pm$ 0.10 ^c
Bonne vache	F.romage fondu	5.50 $\pm$ 0.10 ^a
	Préparation Fromagère	5.10 $\pm$ 0.10 ^c
	Fromage à tartiner	5.27 $\pm$ 0.15 ^b
Norme (JORA,2017)	5,65 - 5,85- conforme	

Les résultats présentés dans le tableau 12 montrent que les valeurs de pH se situent globalement entre 5,10 et 5,57 qui sont conformes à la norme nationale (**JORA, 2017**) ou le pH des fromages fondus se situe entre (5,65 - 5,85) . Au vu des écarts-types, la variabilité des pH semble limitée (0,06,0,10 et 0,15).

Les préparations fromagères et les fromages à tartiner de la Bonne Vache et Yakouren ont des pH plus faibles , donc ces fromages sont plus acides. La figure 8 représente respectivement le pH selon le type de fromage et d'entreprise.

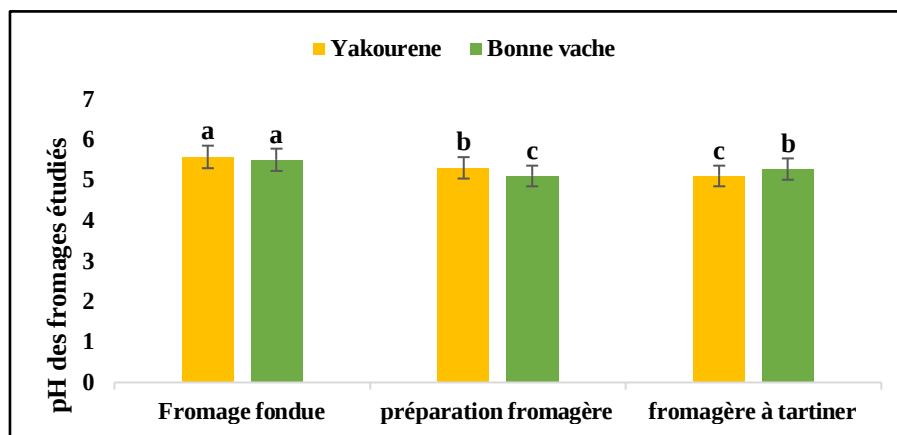


Figure 12: pH des fromages différents types de fromages prélevés dans les entreprises "Yakouren" et "La Bonne Vache"

D'après les résultats de la figure 8 ,le pH le plus élevé a été observé dans le fromage fondu de l'entreprise Yakouren (5.57 ± 0.06), suivi de près par le fromage fondu de Bonne Vache (5.50 ± 0.10). À l'inverse, les pH les plus faibles ont été enregistrés dans les préparations fromagères et les fromages à tartiner de Bonne Vache et Yakouren, avec des valeurs comprises entre 5.10 et 5.30, traduisant une acidité légèrement plus marquée.

Le pH intervient aussi de manière significative sur la qualité de la microstructure et les interactions protéiques dans les fromages fondus résultant de la fabrication.

Une analyse de la variance (ANOVA) appliquée à l'ensemble des échantillons a mis en évidence une différence hautement significative entre les groupes ($p < 0.001$). Le test post-hoc de Tukey HSD a permis de classer les produits en groupes homogènes selon leur pH :

- **Groupe a** : Yakouren fondu, Bonne Vache fondu (pH élevé, fromages peu acides)
- **Groupe b** : Yakouren préparation, Bonne Vache tartiner (pH intermédiaire et modérément acidifiés)
- **Groupe c** : Yakouren tartiner, Bonne Vache préparation (pH plus bas, fromages plus acides).

Ainsi, les comparaisons entre ces différentes familles technologiques ont démontré que les trois types de fromages fraîches se différenciaient par leur pH plus élevé, modéré et faible.

Les fromages fondus, en particulier ceux de Yakouren, sont statistiquement moins acides que les autres types de fromages analysés. Cela peut être attribué à la nature du procédé technologique utilisé : la fusion implique l'ajout de sels de fonte alcalins (comme le citrate de sodium ou les phosphates) qui ont pour effet de remonter le pH du produit final, tout en assurant une texture homogène (**Tamime , 2006**).

D'un point de vue technologique, le pH est un critère déterminant pour la stabilité et la sécurité du produit. Un pH compris entre 5,0 et 5,6 permet de limiter la croissance de certains pathogènes comme *Listeria monocytogenes*, tout en assurant une bonne onctuosité (**Fox et al.,2017**). Toutefois, un pH trop bas peut entraîner une acidité excessive et une dégradation des propriétés organoleptiques ; à l'inverse, un pH trop élevé (> 6) pourrait compromettre la stabilité microbiologique.

5.1.2. Taux d'humidité

L'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des produits alimentaires. Son contrôle permet de réduire plusieurs risques des aliments.

Les résultats rapportés dans le tableau 8 révèlent que le taux d'humidité des fromages analysés varie significativement entre les échantillons, avec des valeurs comprises entre 49,5 % et 57,4 %. Ces différences reflètent directement la nature du fromage, sa formulation (teneur en matières grasses, additifs, taux de matière sèche), et la technologie de fabrication employée.

Ces résultats répondent aux exigences de la norme **JORA (2017)** avec un taux variant entre 42-67 %. Le taux d'humidité des différents fromages des deux entreprises choisies sont illustrés dans le tableau 9:

Tableau 9: Taux d'humidité des différents fromages des deux entreprises choisies

Entreprise	Type de fromage	Taux d'humidité (%)
Yakouréne	Fromage fondu	51.43 ± 0.49 c
	Préparation Fromagère	49.50 ± 0.44 d
	Froamgeà tartiner	53.60 ± 0.10 bc
Bonne vache	F.romage fondu	54.20 ± 0.10 b
	Préparation Fromagère	56.27 ± 0.15 a
	Fromage à tartiner	57.37 ± 0.15 a
Norme (JORA,2017)	42 -67 % Conforme	

Le taux d'humidité le plus élevé a été observé dans le fromage à tartiner de Bonne Vache ($57.37 \pm 0.15 \%$), suivi par la préparation fromagère de la même entreprise ($56.27 \pm 0.15 \%$). À l'inverse, le fromage fondu de Bonne Vache présente la valeur la plus faible ($49.50 \pm 0.44 \%$), ce qui est typique des produits plus concentrés en matière sèche. Le taux d'humidité est un paramètre physico-chimique qui renseigne sur la consistance du fromage, il est inversement proportionnel à la dureté du fromage (Adjlane, 2018).

La figure 13 confirme les résultats apportés par le tableau 8 que l'analyse statistique par ANOVA a montré l'existence de différences très significatives entre les groupes ($p < 0.001$).

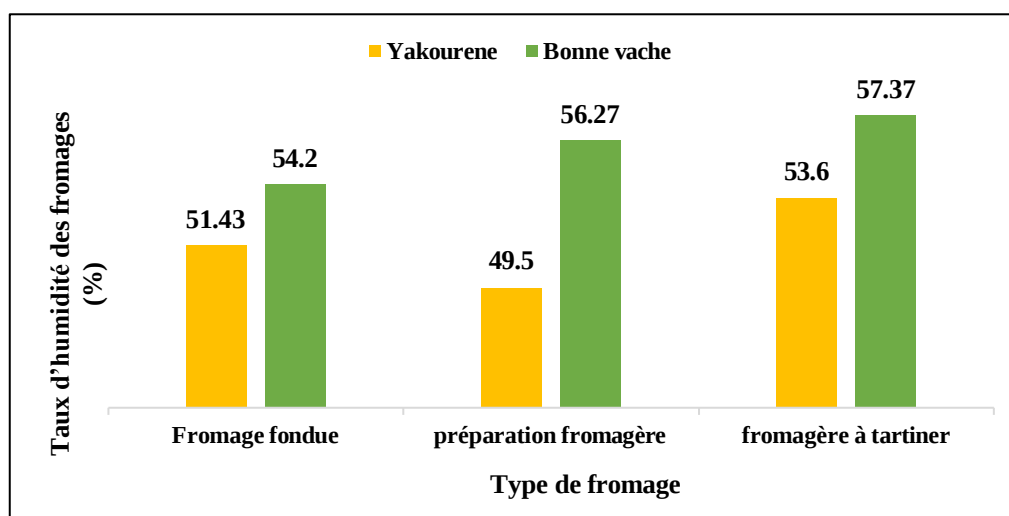


Figure 13: Taux d'humidité des différents types de fromages étudiés

Le test de Tukey HSD a permis de distinguer quatre groupes homogènes :

- **Groupe a:** Bonne vache fromage à tartiner, bonne vache préparation (humidité très élevée).
- **Groupe b:** Yakourene fromage à tartiner, Yakourene préparation fromagère (humidité élevée).
- **Groupe c:** Yakourene fromage fondu (humidité modérée).
- **Groupe d:** Bonne vache, fromage fondu (humidité relativement basse).

Ces résultats indiquent que les fromages à tartiner et préparations sont statistiquement plus humides que les fromages fondus, ce qui s'explique par la formulation plus légère, souvent enrichie en eau, protéines végétales ou texturants hydrophiles (carraghénanes, amidons) (Tamime, 2006).

Sur le plan technologique, un taux d'humidité élevé est lié à une texture plus molle et tartinable, mais aussi à une durée de conservation réduite si l'activité de l'eau est trop haute (Fox et al., 2017). En revanche, les fromages fondus contiennent plus de matière sèche, ce qui améliore la tenue à la coupe, la fondance à chaud et une stabilité plus longue.

De même, les fromages fondus étant destinés à la conservation, il est souhaitable de réduire la teneur en eau afin de ralentir toute activité microbienne (Ramet, 1997).

D'un point de vue sanitaire, l'humidité influence directement la croissance microbienne : plus un fromage est humide, plus il est sensible à la contamination (notamment par *Listeria monocytogenes* et *Pseudomonas spp.*). Toutefois, tous les échantillons se situent dans des plages normales pour leurs catégories respectives (*Codex Alimentarius*, 1978).

La variation du taux d'humidité observée est statistiquement significative et cohérente avec les attentes industrielles. Elle constitue un critère central pour la typologie du produit, ses propriétés sensorielles et sa stabilité microbiologique.

La différence d'humidité du fromage peut être due à la variation de température pendant le refroidissement ou le stockage, au pourcentage de sel (*Youniss et al.*, 2024).

5.1.3. Teneur en matières sèches

La matière sèche du produit est l'ensemble de ses constituants solides, sont la matière grasse, les protéines, les glucides, les minéraux (*Vignola*, 2002). Elle offre au fromage les caractères réologiques du gel (*Lenoir et al.*, 1997). Les résultats obtenus pour la matière sèche des six types de fromages étudiés sont présentés dans le tableau 10:

Tableau 10: Teneur en matière sèche des trois types fromages étudiés

Selon les	Entreprise	Type de fromage	Matière sèche (%)
	Yakouréne	Fromage fondu	52.23 ± 0.12a
		Préparation Fromagère	47.67 ± 0.15c
		Froamgeà tartiner	43.77 ± 1.01e
	Bonne vache	F.romage fondu	50.57 ± 0.15a
		Préparation Fromagère	46.23 ± 0.15d
		Fromage à tartiner	42.73 ± 0.15f
	Norme (JORA , 2017)		50,4 % conforme

résultats du tableau 9, les valeurs moyennes varient significativement entre les échantillons, avec des taux allant de 42.73 % à 52.23 %, confirmant des écarts technologiques notables entre les différentes formulations et procédés de fabrication. Ces résultats répondent aux exigences de la norme JORA (1998) et à celle citée par la législation française dans l'article (04) du décret n° 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères. Ces derniers définissent les fromages fondus comme suit : 40 gramme pour 100 gramme de produit fin (*JORF*, 2007) et ne dépasse pas les 50,4% (*JORA*, 1998).

Le taux le plus élevé est observé dans le fromage fondu de Yakouren ($52.23 \pm 0.12 \%$), suivi par celui de Bonne Vache ($50.57 \pm 0.15 \%$). À l'opposé, les fromages à tartiner, en particulier celui de Bonne Vache, présentent les valeurs les plus faibles ($42.73 \pm 0.15 \%$). Ces variations sont directement liées à la teneur en eau, inversement proportionnelle à la matière sèche, mais aussi à la densité des ingrédients solides (protéines, lipides, minéraux).

La figure 14 confirme les résultats illustrés par le tableau 9 que l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) appliquée aux données de matière sèche a mis en évidence une différence hautement significative entre les groupes ($p < 0.001$).

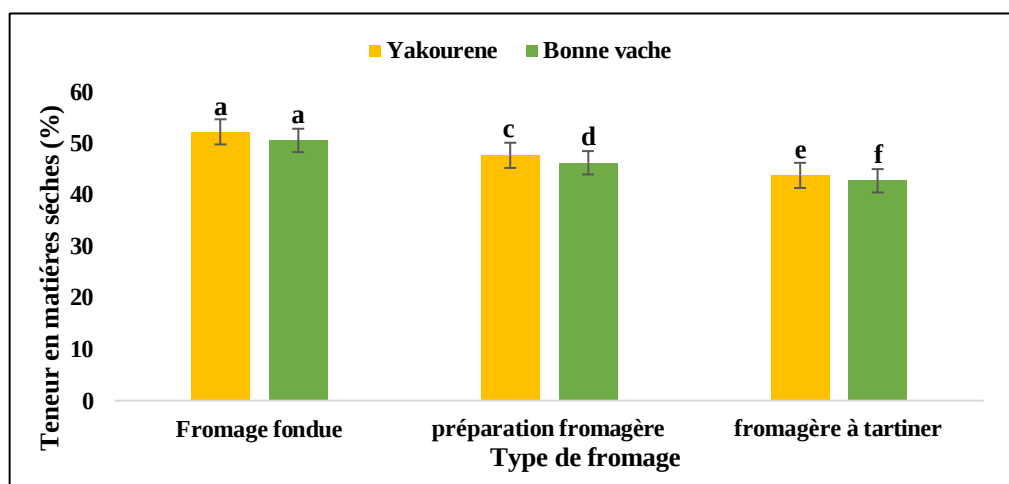


Figure 14: Teneur en matières sèches des fromages différents types de fromages étudiés

Le test post-hoc de Tukey HSD a permis de discriminer statistiquement les six produits en groupes homogènes :

- ✧ **Groupe a:** Yakouréne fromage fondu(Matière sèche la plus élevée)
- ✧ **Groupe b:** Bonne vache fromage fondu (Matière sèche élevée).
- ✧ **Groupe c:** Yakouréne préparation fromagère(Matière sèche modérée).
- ✧ **Groupe d:** Bonne vache préparation fromagère(Légèrement plus humide que le groupe c).
- ✧ **Groupe e:**Yakouréne fromage à tartiner(Teneur faible en matière sèche).
- ✧ **Groupe f:** Bonne vache fromage à tartiner(Teneur en matière sèche la plus basse et ultra tartinable).

Cette hiérarchisation met en évidence un gradient de concentration croissant, depuis les fromages à tartiner jusqu'aux fromages fondus . Ce dernier groupe se distingue par une formulation plus dense, souvent renforcée par l'ajout de sels de fonte, de protéines concentrées, ou par un traitement thermique plus intense, favorisant l'évaporation partielle de l'eau.ce qui permet de répartir les 6 types de fromages sur trois groupes à savoir:

- **Groupes a et b :** fromages les plus concentrés et stables, adaptés à la cuisson ou à la coupe

- **Groupes c et d** : produits intermédiaires, souples mais équilibrés, bonne tartinabilité.
- **Groupes e et f** : produits très humides, texture douce mais plus fragiles microbiologiquement.

D'un point de vue technologique, un taux de matière sèche élevé est généralement recherché dans les fromages fondus industriels, car il permet :

- ✧ Une meilleure tenue à la coupe;
- ✧ Une fondance maîtrisée à la chaleur;
- ✧ Une stabilité microbienne accrue (**Tamime, 2006**).

À l'inverse, les formulations à faible matière sèche (souvent < 45 %) sont associées à une texture plus crémeuse, souhaitée dans les fromages à tartiner, mais qui exige un contrôle strict des conservateurs et du pH pour maintenir la sécurité sanitaire du produit (**Fox et al., 2017**) . .

Ainsi, les résultats obtenus montrent que la matière sèche est un critère différenciateur fort entre types de fromages, mais aussi entre marques. Les différences observées sont statistiquement significatives et technologiquement justifiées, confirmant la pertinence de son usage comme critère de conformité et de qualité dans les évaluations multicritères.

5.2. Résultats des analyses nutritionnelles

5.2.1. Valeurs énergétiques des différents types de fromages

Les résultats de la valeur énergétique des six types de fromages sont représentés dans le tableau 11:

Tableau 11 : Valeur énergétique des six types de fromages

Les résultats du tableau 10 montrent que la valeur énergétique varie fortement selon le type de fromage et l'entreprise. Le fromage fondu de Yakouren est le plus calorique (264.64 kcal/100g), tandis que la

Entreprise	Type de fromage	Valeur énergétique (Kcal)
Yakouréne	Fromage fondu	264.64 ± 3.19 a
	Préparation Fromagère	178.91 ± 2.16 b
	Fromage à tartiner	173.84 ± 0.75 b
Bonne vache	Fromage fondu	150.14 ± 1.71 c
	Préparation Fromagère	116.32 ± 1.22 d
	Fromage à tartiner	124.36 ± 0.65 d
Norme (JORA, 2017)	330 kcal conforme	

préparation fromagère de Bonne Vache est la moins riche (116.32 kcal/100g). Ces résultats sont conformes à ceux de la norme **JORA (2017)** avec 330 kcal.

Ces différences s'expliquent surtout par la teneur en lipides : plus un fromage contient de graisses, plus il est énergétique. Les fromages fondus ont aussi une formulation plus dense, avec souvent plus de matière sèche, ce qui augmente les calories.

Pour les fromages fondus , Il n'existe pas une norme unique universelle pour la valeur énergétique , car elle dépend fortement de :

- ✧ la teneur en matières grasses,
- ✧ la quantité d'eau ajoutée,
- ✧ les ingrédients (amidon, protéines, lait écrémé ou entier),
- ✧ et les procédés technologiques utilisés.

Cependant, on peut se baser sur des données de référence reconnues par la littérature scientifique, le *Codex Alimentarius* et les données nutritionnelles européennes selon le tableau 12 :

Tableau 12: Références et données nutritionnelles Européennes des fromages

Catégorie	Énergie (kcal/100g)	Références
Fromage fondu classique	250 – 320 kcal/100g	Fox et al. (2017), Tamime (2006)
Fromage fondu allégé	160 – 220 kcal/100g	Codex Alimentarius
Préparations fromagères mixtes	130 – 190 kcal/100g	Étiquetage européen, produits commerciaux

L'analyse de la variance "ANOVA" a révélé une différence hautement significative entre les groupes ($p < 0.001$), confirmant que l'énergie fournie par 100 g de produit varie de manière significative selon le type de fromage et l'entreprise productrice , ce qui le confirme la figure .

Le test de Tukey a permis d'attribuer des lettres distinctes aux groupes statistiquement différents ($p < 0.05$). Les résultats sont résumés dans la figure 15 :

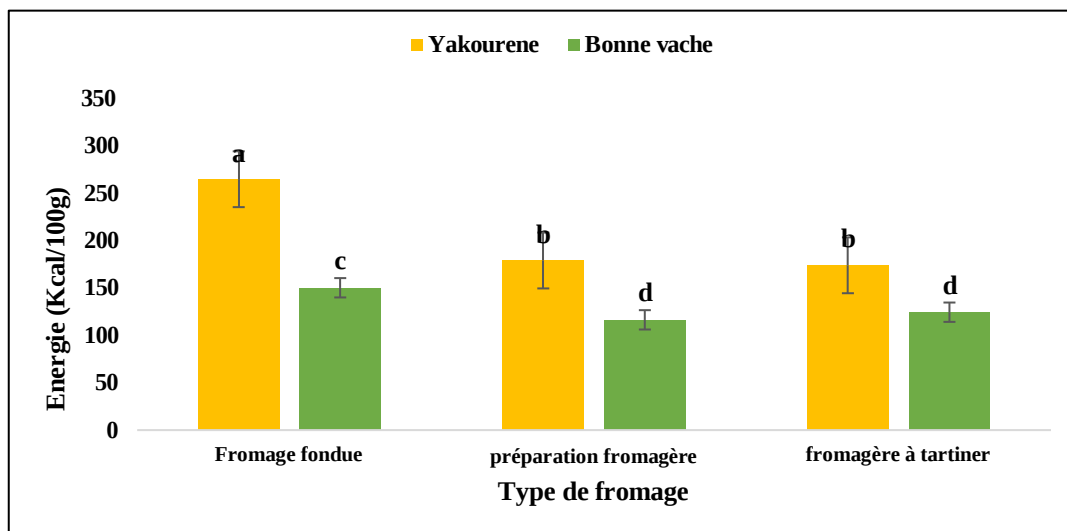


Figure 15 : Valeurs énergétiques de six types de fromages

L'analyse statistique (ANOVA + test de Tukey) a révélé des différences très significatives entre les produits. Les fromages ont été classés en quatre groupes distincts : ceux de Yakouren sont globalement plus caloriques que ceux de Bonne Vache:

Groupe a: Yakouréne -fromage fondu.

Groupe b: Yakouréne préparation fromagère -t Yakouréne fromage à tartine .

Groupe c:Bonne vache - fromage fondu.

Groupe d: Bonne vache préparation fromagère -Yakouréne fromage à tartiner.

Ces résultats montrent que le fromage fondu de Yakouren possède une valeur énergétique significativement plus élevée que tous les autres produits. À l'inverse, les préparations fromagères et à tartiner de Bonne Vache présentent les valeurs énergétiques les plus faibles, sans différence significative entre elles et sont moins caloriques. Les deux produits les moins allégés sont les moins caloriques.

Ces différences peuvent être attribuées principalement à la teneur en lipides, plus élevée chez les fromages fondus de Yakouren, et à la composition allégée des produits Bonne Vache.

5.2.2. .Teneur en protéines

La teneur en protéines est un indicateur nutritionnel clé dans l'évaluation de la qualité des produits laitiers transformés. Elle reflète à la fois la nature des matières premières utilisées (fromage, lait, protéines laitières concentrées) et la technologie de fabrication (dilution, ajouts, standardisation). Les résultats de la teneur en protéines de trois types de fromages des deux entreprises Yakouren et La Bonne Vache sont consignés par le tableau 13:

Tableau 13: Teneur en protéines des différents six fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Teneur en proteines (g/100g)
Yakouréne	Fromage fondu	10.99 ± 0.09a
	Préparation Fromagère	7.05 ± 0.06 c
	Fromage à tartiner	9.07 ± 0.04 b
Bonne vache	Fromage fondu	6.55 ± 0.07d
	Préparation Fromagère	6.07 ± 0.07e
	Fromage à tartiner	3.26 ± 0.04f
Norme (JORA, 2017)	≥ 16 g /100g	

Les résultats obtenus révèlent des différences statistiquement significatives ($p < 0.05$) entre les différentes catégories de produits et entre les deux marques étudiées.

Le fromage fondu de Yakouréne se distingue par une teneur en protéines très élevée (10.99 ± 0.09 g/100 g), significativement différente de tous les autres échantillons. Ces résultats sont conformes à ceux de la norme **JORA (2017)** avec une teneur ≥ 16 g/100g.

Cette richesse en protéines pourrait s'expliquer par l'utilisation de fromages affinés, de lait concentré ou même de protéines laitières ajoutées, courantes dans la fabrication des fromages fondus de qualité supérieure. Cette teneur élevée confère également au produit une meilleure valeur nutritionnelle.

La figure 16 confirme les résultats de l'analyse statistique de l'ANOVA qui indiquent que la teneur en protéines varie significativement selon le type de produit et la marque.

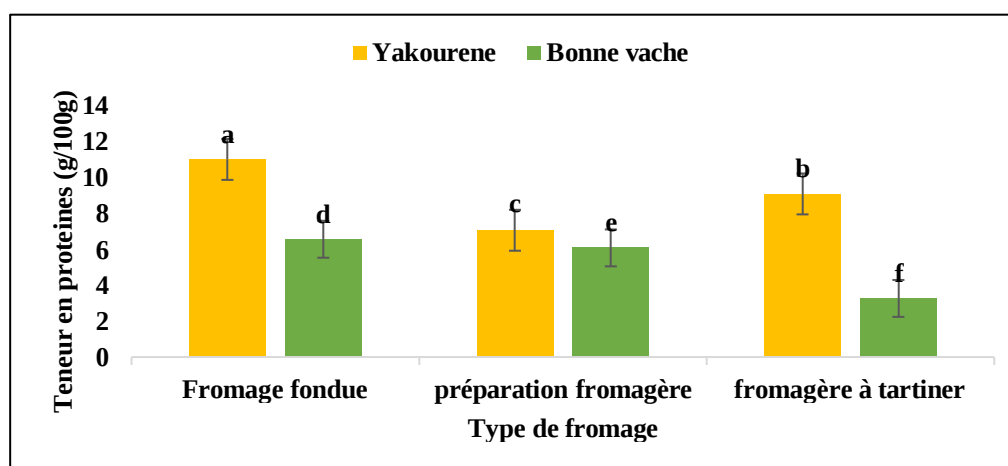


Figure 16: Teneur en protéines des différents six fromages étudiés

Les préparations fromagères et fromages à tartiner de Yakouréne présentent des taux proches (7.05 et 9.07 g/100 g) mais avec différence significative entre eux . Cela suggère l'utilisation de matières premières plus ou moins similaires, probablement avec un degré de dilution plus important que pour le fromage fondu, ou une teneur réduite en fromage de base.

À l'inverse, les produits de la marque Bonne Vache présentent des teneurs en protéines nettement plus faibles, en particulier la préparation fromagère (6.07 ± 0.07 g/100 g) et le fromage à tartiner (3.26 ± 0.04 g/100 g), regroupés statistiquement sous la lettre e et f . Le fromage fondu Bonne Vache, bien que légèrement supérieur (6.55 ± 0.07 g/100 g), reste significativement moins riche que celui de Yakouréne (lettre c). Ces valeurs traduisent probablement une formulation plus économique, utilisant davantage d'eau ou de matières grasses au détriment des protéines, ce qui peut impacter la texture, la valeur nutritionnelle, mais aussi la tenue à la fonte en usage culinaire.

Les protéines retiennent, selon le cas, plus ou moins de matière grasse, des minéraux, d'eau et d'éléments solubles, elles constituent donc la charpente (matrice) du fromage. Outre de leur rôle structural, les protéines jouent un rôle très important dans le développement de la saveur du fromage en libérant des substances plus petites, polypeptides, peptides, acides aminés durant la cuisson (**Gelais et al., 2010**).

L'analyse statistique ANOVA a permis de répartir les fromages étudiés en quatre groupes:

- **Groupe a:** Yakouréne – fromage fondu) (statistiquement supérieur à tous les autres en protéines).
- **Groupes b et c :** Préparation fromagère et tartiner de Yakouréne (taux similaires).
- **Groupe d :** Bonne Vache – fondu) (inférieur à tous les produits Yakouréne, mais supérieur aux deux autres de Bonne Vache).
- **Groupes e et f :** préparation et tartiner de Bonne Vache (groupe homogène avec les teneurs les plus faible).

D'après cette répartition , on remarque une on observe une hiérarchie claire de la teneur en protéines :

-Yakouréne fromage fondu > Yakouréne tartiner / préparation > Bonne Vache fondu > Bonne Vache tartiner / préparation -.

Ce classement reflète des choix technologiques et économiques différents, et permet de distinguer les produits plus riches et concentrés de ceux plus dilués ou reformulés, souvent à visée économique ou diététique. Le fromage fondu de Yakouréne présente une teneur en protéines significativement plus élevée que tous les autres produits. À l'inverse, les produits de Bonne Vache, en particulier la préparation fromagère, présentent les teneurs les plus faibles, confirmant des choix de formulation différents entre les marques.

5.2.3. .Teneur en lipides

La teneur en lipides est un paramètre essentiel pour la caractérisation nutritionnelle et technologique des produits fromagers. Elle influence non seulement la valeur énergétique du produit, mais également sa texture, son onctuosité et sa stabilité au stockage. Les résultats de la teneur en lipides des six types de fromages étudiés sont illustrés dans le tableau 14 :

Tableau 14: Teneur en lipides des six types de fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Lipides (g/100g)
Yakourène	Fromage fondu	19.48 ± 0.32 a
	Préparation Fromagère	10.49 ± 0.17 b
	Fromage à tartiner	10.53 ± 0.08 b
Bonne vache	Fromage fondu	7.50 ± 0.10 c
	Préparation Fromagère	5.00 ± 0.10 d
	Fromage à tartiner	6.00 ± 0.10 e
Norme (JORA, 2017)	24- 25 g/100g	

La teneur en matière grasse est très importante pour la fabrication des produits laitiers, y compris le yaourt et le fromage fondu, sur le plan technologique et même sur le plan organoleptique. Celle-ci sert de transport des composés aromatiques liposolubles (développement de la qualité sensorielle ; saveur et arôme) et vitamines liposolubles (A, D, E et K). Elle joue un rôle essentiel dans la texture au produit fini et lui confère son caractère particulier (**Boussâa et al., 2010**).

Dans cette étude, des différences significatives ($p < 0.05$) ont été observées entre les six produits analysés. Le fromage fondu de Yakourène présente la teneur en lipides la plus élevée (19.48 ± 0.32 g/100 g), se distinguant nettement de tous les autres produits (lettre a). Ce taux élevé reflète probablement l'utilisation d'une base riche en matières grasses (fromages affinés, crème, beurre), ce qui est courant dans les formules traditionnelles de fromages fondus très riche en lipides. Cela confère également au produit une texture fondante, onctueuse, et un goût plus marqué.

Les deux autres produits Yakourène à savoir la préparation fromagère (10.49 ± 0.17 g/100 g) et le fromage à tartiner (10.53 ± 0.08 g/100 g) – affichent des valeurs proches et statistiquement équivalentes . Cela indique une formulation similaire en termes de matières grasses, probablement visant un bon compromis entre plaisir gustatif et modération lipidique. Ces produits sont

significativement moins gras que le fromage fondu de la même marque, ce qui suggère une dilution de la phase grasse ou l'utilisation de bases moins concentrées en lipides.

Ces résultats obtenus sont conformes avec ceux de la norme JORA, (2017) qui se situent entre 24 et 25 g/100g.

Du côté de Bonne Vache, les teneurs sont globalement plus faibles, traduisant une stratégie de formulation plus allégée ou économique. Le fromage fondu présente 7.50 ± 0.10 g/100 g (lettre c), ce qui reste inférieur à tous les produits Yakouréne. Cela pourrait affecter la texture et le fondant, mais peut être perçu comme un avantage pour les consommateurs recherchant des produits moins gras.

Les fromages à tartiner (6.00 ± 0.10 g/100 g) et préparations fromagères (5.00 ± 0.10 g/100 g) de Bonne Vache montrent les teneurs les plus basses (lettres d et e, respectivement), avec une différence significative entre eux. Cette faible teneur en lipides est typique des produits à visée diététique ou économique, souvent enrichis en eau ou en amidons/texturants pour compenser la perte de gras.

La figure 17 révèle encore une autre fois ce que les résultats statistiques de l'ANOVA suivie du test de Tukey montrent que les différences de teneur en lipides entre les produits sont hautement significatives.

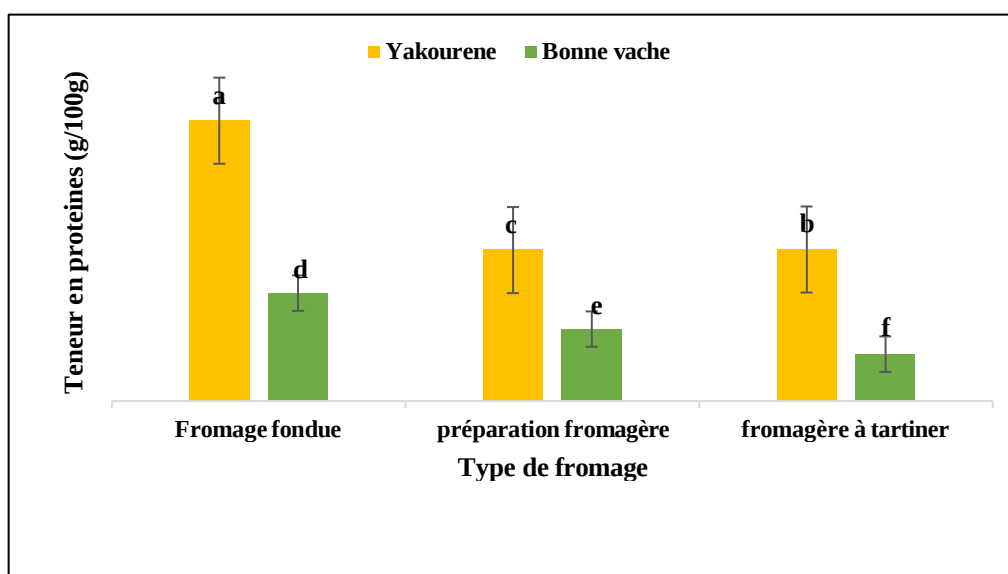


Figure 17: Teneur en lipides des six types de fromages étudiés

Ces résultats reflètent les différences de formulation entre les types de produits (fondu, tartiner, préparation) et entre les deux marques (Yakouréne vs Bonne Vache). Le profil lipidique est donc un marqueur distinctif pertinent entre ces produits laitiers transformés.

Le test de Tukey HSD a permis de distinguer quatre groupes homogènes :

- **Groupe a:** Yakouréne – fondu) (le plus gras)
- **Groupes b et c:** Yakouréne – tartiner et préparation(similaires, moins gras que a)

- **Groupe d** : Bonne Vache – fondu(moins gras que tous les Yakouréne, plus que les autres Bonne Vache)
- **Groupe e**: Bonne vache – préparation (le plus faible)

· Ce classement des fromages reflète Des choix technologiques différents selon les marques

La marque Yakouréne propose des produits plus riches en lipides, notamment son fromage fondu (19.48 g/100 g).C'est un choix de formulation orienté vers des produits plus onctueux, plus gourmands, probablement à base de matières premières laitières plus concentrées (fromages affinés, beurres, crèmes).

Pour la marque de la Bonne vache ,elle est orientée vers des produits nettement plus allégés en matières grasses, en particulier dans sa préparation fromagère (5.00 g/100 g).Ce choix peut refléter une stratégie économique (réduction des coûts de formulation) ou nutritionnelle (produits moins caloriques), avec usage probable de liants, épaississants ou eau pour compenser la baisse en gras.Les textures seront probablement plus fondantes et crémeuses, ce qui peut répondre à une attente de qualité sensorielle élevée.

Ce classement est donc essentiel pour les consommateurs soucieux de leur apport en matières grasses, en particulier dans le cadre de régimes hypocaloriques ou contrôlés.

5.2.4. .Teneur en acides gras saturés

Les acides gras saturés jouent un rôle crucial dans la texture, la stabilité thermique et les propriétés sensorielles du fromage fondu. Présents majoritairement dans la matière grasse laitière, ces acides – comme l'acide palmitique (C16:0) ou stéarique (C18:0) – contribuent à la consistance ferme à température ambiante et à la fusion homogène lors du chauffage (**Lobato-Calleros et al., 2007**). Les résultats de la teneur en acides gras saturés de six types de fromages sont représentés dans le tableau 15:

Tableau 15: Teneur en acides gras saturés des six types de fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Acides gras saturés (g/100g)
Yakouréne	Fromage fondu	7.53 ± 0.03a
	Préparation Fromagère	3.31 ± 0.02c
	Fromage à tartiner	4.08 ± 0.03b
Bonne vache	Fromage fondu	4.66 ± 0.05b
	Préparation Fromagère	2.50 ± 0.05d
	Fromage à tartiner	1.82 ± 0.02e
Norme	Un fromage ne doit pas dépasser 1,5 g d'acide gras saturé	

Les résultats illustrés dans le tableau 15 montrent des variations importantes dans la teneur en acides gras saturés (AGS) selon le type de fromage et l'entreprise productrice.

Chez l'entreprise Yakourène, le fromage fondu présente la plus forte teneur en acide gras saturés (7,53 g/100g), ce qui reflète une formulation particulièrement riche en matière grasse. Cette richesse est probablement liée à des exigences technologiques : une bonne texture fondue, une tenue à la chaleur et une saveur marquée.

Le fromage à tartiner affiche une teneur intermédiaire (4,08 g/100g), plus faible que celle du fromage fondu, mais supérieure à la préparation fromagère (3,31 g/100g), qui est le produit le plus allégé en acides gras saturés dans cette entreprise. Cette hiérarchie traduit sans doute une différence de formulation, les préparations fromagères étant souvent conçues pour être plus économiques ou moins riches en graisses.

En Algérie, les allégations relatives aux matières grasses saturées sont encadrées de manière précise : Une denrée peut être qualifiée de « faible teneur en graisses saturées » si la somme des acides gras saturés et trans est $\leq 1,5$ g pour 100 g (produit solide) ou $\leq 0,75$ g pour 100 ml (produit liquide). Un fromage ne doit pas excéder 1,5 g d'acide gras saturé + trans par 100 g.

Par rapport à ces résultats, chez l'entreprise de Bonne Vache, les teneurs en acides gras saturés sont globalement plus faibles que celles de Yakourène pour les mêmes types de produits. Le fromage fondu en contient 4,66 g/100g, soit nettement moins que celui de Yakourène, ce qui peut indiquer un choix technologique différent, visant peut-être à alléger la teneur en lipides.

La préparation fromagère et le fromage à tartiner présentent les valeurs les plus basses du tableau, avec respectivement 2,50 g/100g et 1,82 g/100g. Ces produits semblent être orientés vers une composition plus légère, ce qui peut répondre à une demande de consommateurs recherchant des produits à faible teneur en graisses saturées.

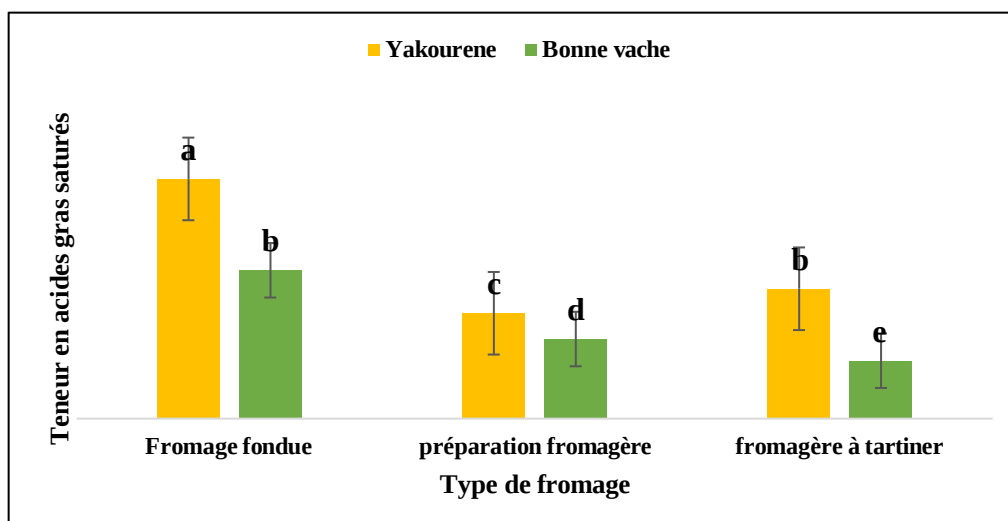


Figure 18: Teneur en acides gras saturés des six types de fromages étudiés

Les résultats de la figure 13 Montrent que l'analyse de la teneur en acides gras saturés (AGS) dans différents types de fromages de deux entreprises, Yakourène et Bonne Vache, révèle des variations significatives selon la nature du produit.

Chez la marque Yakourène, le fromage fondu présente la teneur la plus élevée en acides gras saturés ($7,53 \pm 0,03$ g/100), significativement supérieure à celle du fromage à tartiner ($4,08 \pm 0,03$ g/100g) et à la préparation fromagère ($3,31 \pm 0,02$ g/100g). Cette signification peut être liée à une formulation plus riche en matière grasse dans le fromage fondu, souvent nécessaire pour assurer une bonne fusion et texture.

Chez Bonne Vache, le fromage fondu contient également la plus forte teneur en acides gras saturés ($4,66 \pm 0,05$ g/100g), suivie de la préparation fromagère ($2,50 \pm 0,05$ g/100g) et du fromage à tartiner ($1,82 \pm 0,02$ g/100g). Une hiérarchie similaire a été observée bien que les valeurs soient globalement plus basses que celles de Yakourène.

L'analyse statistique de l'ANOVA suivi d'un test de comparaison multiple (ex. Tukey HSD), que les différences observées entre les échantillons sont statistiquement significatives ($p < 0.05$). La comparaison des moyennes révèlent cinq groupes de fromages homogènes:

Groupe a: Yakourène - fromage fondu (significativement plus riche en acides gras saturés).

- **Groupe b:** Yakourène -fromage à tartiner et Bonne vache - fromage fondu (moins riche en acides gras saturés).
- **Groupe c et d:** Les préparations fromagères appartiennent à deux groupes distincts (c pour Yakourène et d pour Bonne Vache), montrant que la version de Yakourène est plus grasse.
- **Groupe e :** Bonne vache -fromage à tartiner de Bonne Vache (plus léger en acides gras saturés).

A partir de ces résultats, on peut dire que les fromages de la marque Yakourène sont significativement plus riches en acides gras saturés que ceux de la Bonne Vache.

Cela suggère que :

- ✧ La formulation, notamment la proportion de matières grasses et d'ingrédients laitiers, varie sensiblement entre les types de produits et les fabricants.
- ✧ Les fromages fondus, par leur nature, tendent à contenir plus d'acides gras saturés pour assurer une bonne tenue à la fusion et une texture crémeuse.

5.2.5. .Teneur en sucres

Dans les fromages, les sucres sont principalement représentés par le lactose, le sucre naturel du lait. Toutefois, dans le fromage fondu, la teneur en sucres est généralement faible. Le fromage fondu est souvent fabriqué à partir de fromages affinés, dans lesquels le lactose a déjà été dégradé par les bactéries lactiques. Le tableau 16 représente les teneurs en sucres de six fromages étudiés:

Tableau 16: Teneur en sucres des six types de fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Teneur en sures (g/100g)
Yakouréne	Fromage fondu	1,36 ± 0,02 f
	Préparation Fromagère	3,89 ± 0,05 b
	Fromage à tartiner	2,11 ± 0,02 e
Bonne vache	Fromage fondu	4,29 ± 0,04 a
	Préparation Fromagère	2,74 ± 0,03 c
	Fromage à tartiner	2,53 ± 0,03 d
Normes (JORA,2017)	2,1g/100g	

L'analyse des teneurs en sucres présentés dans le tableau 16 révèle des variations significatives entre les types de fromages et les entreprises, comme le confirment les lettres attribuées par le test post-hoc.

Le fromage fondu de Bonne Vache présente la teneur la plus élevée en sucres (4.29 ± 0.04 g/100g, groupe a), significativement différente de tous les autres produits. Cette valeur élevée peut s'expliquer par une formulation incluant des ingrédients riches en lactose tels que le lait écrémé en poudre ou le lactosérum. L'ajout de ces composants peut viser à améliorer la texture, la saveur douce ou la couleur du produit.

La préparation fromagère de Yakourène (3.89 ± 0.05 g/100g, groupe b) suit avec une teneur également élevée, suggérant une composition similaire. En revanche, la préparation fromagère de Bonne Vache (2.74 ± 0.03 g/100g, groupe c) contient significativement moins de sucres, ce qui pourrait refléter une formulation plus allégée ou moins enrichie en dérivés laitiers sucrés.

Concernant les fromages à tartiner, ceux de Bonne Vache (2.53 ± 0.03 g/100g, groupe d) et de Yakourène (2.11 ± 0.02 g/100g, groupe e) présentent des valeurs modérées. Ces produits sont souvent conçus pour offrir une texture onctueuse et une saveur douce, justifiant une certaine présence de lactose.

Enfin, le fromage fondu de Yakourène (1.36 ± 0.02 g/100g, groupe f) est le moins sucré de tous les échantillons. Cette faible teneur peut être liée à l'utilisation de fromages plus affinés comme matière première, où le lactose a déjà été en grande partie dégradé, ou à l'absence d'ingrédients laitiers sucrés ajoutés.

Les teneurs en sucres obtenus par le fromage fondu de la marque Yakourène sont seuls conforme à la norme **JORA (2017)**, alors que les cinq autres fromages sont non conforme à la norme. Ces fromages sont souvent fabriqués à partir de fromages de base, lait écrémé en poudre, lactosérum (petit-lait), protéines de lait, etc. Ces ingrédients contiennent naturellement du lactose (un sucre du lait).

Certaines marques parmi d'autres peuvent ajouter davantage de sous-produits laitiers sucrés pour améliorer la texture, réduire les coûts, ou stabiliser le produit ce qui augmente la teneur en sucre.

La figure 14 confirme les résultats de l'analyse statistique (ANOVA suivie d'un test Tukey HSD) a permis de distinguer six groupes homogènes, indiquant des différences significatives entre les produits:

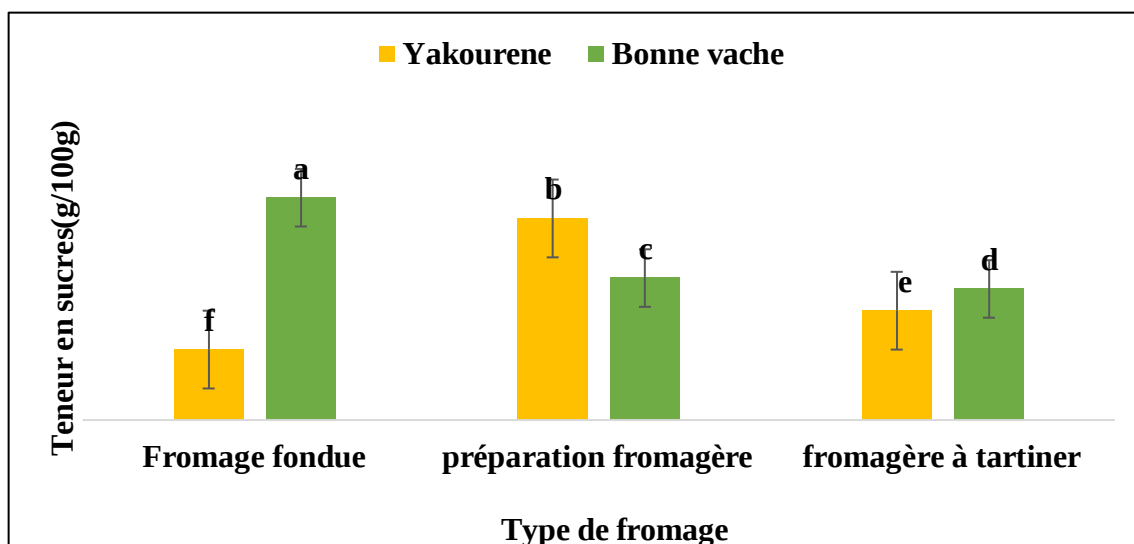


Figure 19 : Teneur en sucres des six types de fromages étudiés

- **Groupe a:** Bonne vache-fromage fondu (contient significativement plus de sucres).
- **Groupe b:** Yakourène -préparation fromagère (riche en sucres, mais reste distincte du groupe a.
- **Groupe c et d:** Bonne vache -préparation fromagère et fromage à tartiner (teneurs modérées).
- **Groupe e:** Yakourène - fromage à tartiner (moins sucré).
- **Groupe f:** Yakourène - fromage fondu (statistiquement le moins sucré).

Les résultats obtenus concluent que la marque de la bonne vache domine les fromages les plus sucrés par rapport à ceux de la marque Yakourène qui sont moins sucrés. Cela reflète des différences technologiques et de formulation entre les entreprises et les types de fromages.

5.2.6. .Teneur en fibres

Traditionnellement, les produits laitiers comme les fromages sont naturellement pauvres en fibres, car ils sont d'origine animale.

Cependant, dans les fromages fondus et produits fromagers transformés, des fibres peuvent être ajoutées intentionnellement dans le cadre de la formulation. Ces ajouts visent à améliorer la texture (effet épaississant ou gélifiant) et augmenter la stabilité du produit. Le tableau 17 illustre la teneur en fibres des six types de fromages étudiés:

Tableau 17: Teneur en fibres des six fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Teneur en fibres(g/100g)
<u>Yakourène</u>	Fromage fondu	1.23 ± 0.01c
	Préparation Fromagère	0.96 ± 0.01e
	Fromage à tartiner	0.79 ± 0.01f
Bonne vache	Fromage fondu	1.53 ± 0.02 b
	Préparation Fromagère	1.07 ± 0.01d
	Fromage à tartiner	1.68 ± 0.01a
Normes	0 g/100g	

Les résultats de l'analyse des teneurs en fibres dans les différents types de fromages met en évidence des différences significatives entre les types de fromages et les entreprises.

Le fromage à tartiner de Bonne Vache affiche la teneur la plus élevée en fibres (1.68 ± 0.01 g/100g, groupe a), suivi de près par le fromage fondu de la même entreprise (1.53 ± 0.02 g/100g, groupe b). Cette richesse en fibres pourrait être due à l'ajout d'ingrédients fonctionnels ou texturant (comme les fibres végétales, amidons modifiés, ou gommés) dans leur formulation pour améliorer la texture ou la stabilité du produit. Ces résultats sont supérieurs à ceux de la norme algérienne. La présence de fibres peut être volontaire (ajouts technologiques) ou accidentelle (méthode d'analyse, contamination).

En comparaison, les produits de Yakourène présentent des teneurs plus faibles. Le fromage fondu de Yakourène (1.23 ± 0.01 g/100g, groupe c) est significativement moins riche en fibres que celui de Bonne Vache, tandis que la préparation fromagère (0.96 g/100g, groupe e) et le fromage à tartiner (0.79 ± 0.01 g/100g, groupe f) occupent les niveaux les plus bas.

Les préparations fromagères des deux marques (1.07 g/100g pour Bonne Vache et 0.96 g/100g pour Yakourène) se situent dans des groupes distincts (d et e), ce qui reflète une différence de formulation entre les deux fabricants.

La figure 20 met en évidence la répartition claire des groupes homogènes selon la teneur en fibres (g/100g) dans nos échantillons de fromage, basée sur un test statistique de type ANOVA suivi d'un test post-hoc (Tukey):

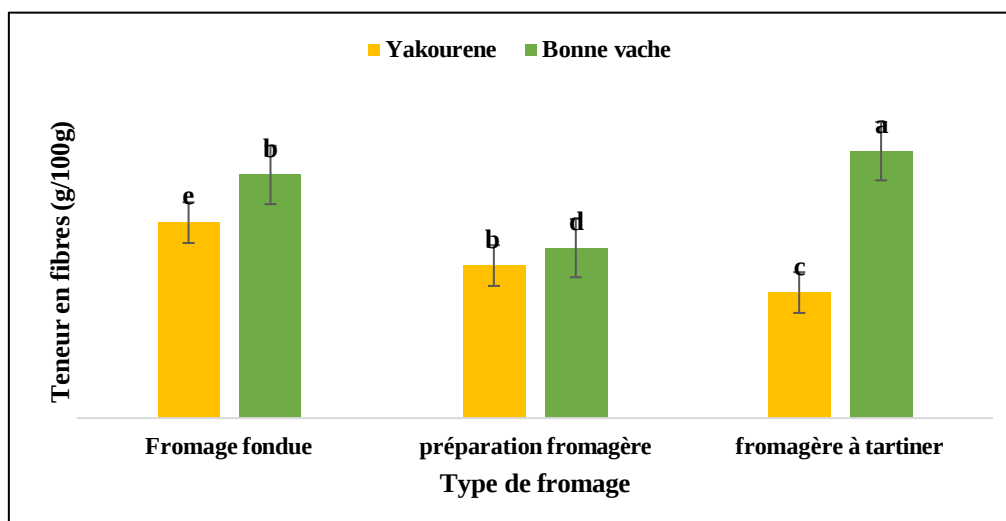


Tableau 20: Teneur en fibres des six fromages étudiés

- **Groupe a:** Bonne vache-fromage fondu (contient significativement plus de sucres).
- **Groupe b:** Yakourène -Fromage fondu (Teneur élevée).
- **Groupe c :** Yakourène – Fromage fondu (Moins riche).
- **Groupe d:** Bonne vache -préparation fromagère (Fibres modérées).
- **Groupe e:** Yakourène - préparation fromagère (Faible teneur en fibres).
- **Groupe f:** Yakourène - fromage à tartiner (Teneur la plus basse).

A partir de cette répartition, on peut suggérer que :

Les produits Bonne Vache sont globalement plus riches en fibres, ce qui peut refléter une volonté de formulation plus « nutritionnelle » ou fonctionnelle. C'est une formulation probablement riches en fibres végétales et texturants (Suliman et al., 2014).

Les produits Yakourène, notamment les fromages à tartiner et préparations fromagères, sont moins riches en fibres, traduisant une composition plus classique avec l'ajout des texturants et stabilisants riches en fibres.

La hiérarchisation claire (a à f) indique que chaque produit diffère significativement en termes de fibres.

5.2.7. Teneur en sels

Le sel (principalement le chlorure de sodium) joue un rôle fondamental dans la fabrication des fromages fondus. Bien au-delà de sa fonction de rehausseur de goût, il remplit plusieurs objectifs technologiques et microbiologiques. Il contribue à la saveur caractéristique du fromage fondu et joue comme agent de conservation, en limitant le développement microbien, tout en influençant la texture du produit (Guinee et Callaghan, 2013). Le tableau 18 montre les teneurs en sels pour les six différents fromages étudiés:

Tableau 18 :Teneur en sels des six fromages étudiés

Entreprise	Type de fromage	Moyenne $\pm$ Écart-type
Yakouréne	Fromage fondu	$1.56 \pm 0.01\mathbf{b}$
	Préparation Fromagère	$0.87 \pm 0.01\mathbf{e}$
	Fromage à tartiner	$0.98 \pm 0.01\mathbf{d}$
Bonne vache	Fromage fondu	$2.12 \pm 0.01\mathbf{a}$
	Préparation Fromagère	$0.70 \pm 0.02\mathbf{f}$
	Fromage à tartiner	$1.26 \pm 0.01\mathbf{c}$
Normes (JORA, 2017)		

Les résultats du tableau 15 révèle que le fromage fondu de Bonne Vache contient la teneur en sel la plus élevée (2.12 g/100g), nettement plus que celui de Yakouréne (1.56 g/100g).Ce résultat reflète que la formulation de ce fromage vise une meilleure conservation, une saveur plus prononcée, ou un usage plus intensif de sels de fonte (comme les phosphates) qui contiennent souvent du sodium.

Par ailleurs , la teneur est également plus élevée chez Bonne Vache (1.26 g/100g) que chez Yakouréne (0.98 g/100g). L'explication revient au fait que le profil de goût plus salé est recherché par le fabricant, ou une meilleure stabilité de l'émulsion, importante pour les produits à tartiner.

Les fromages fondus en Algérie contiennent des sels de fonte qui sont essentiels à leur fabrication, notamment des sels de sodium d'acide phosphorique.

En revanche, pour les préparations fromagère ou la tendance s'inverse, avec Yakouréne qui Yakouréne présente une teneur légèrement plus élevée (0.87 g/100g) que Bonne Vache (0.70 g/100g).Les préparations fromagères étant souvent moins concentrées en matière sèche, elles contiennent généralement moins de sel, ce qui est cohérent avec les deux valeurs observées (Tamime,2011).La figure 16 confirme cette composition .

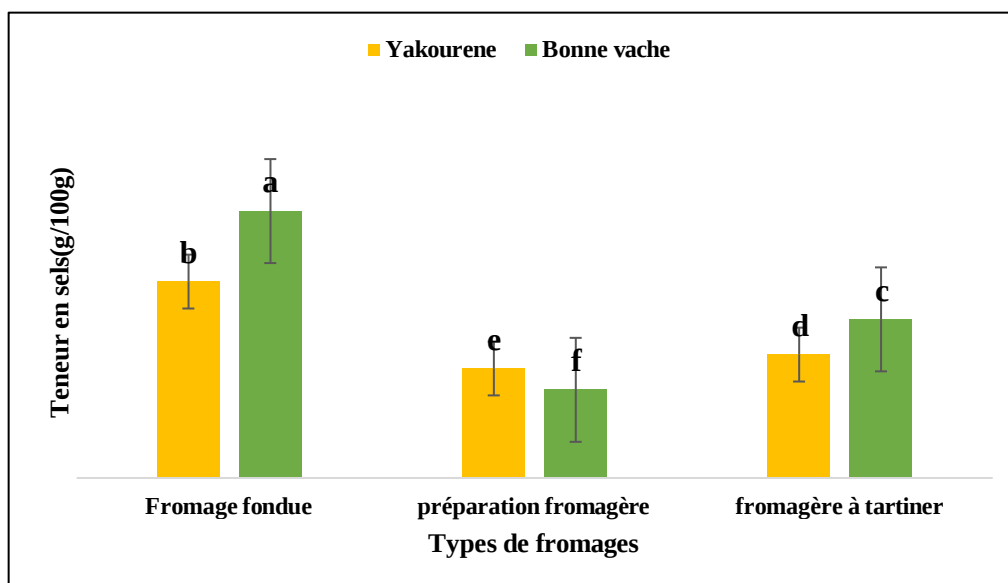


Figure 21: Teneur en sels des six fromages étudiés

D'après les résultats illustrés par la figure 14, l'analyse statistique (ANOVA suivie du test de Tukey HSD) a révélé l'existence de six groupes homogènes distincts ($p < 0,05$), indiquant que chaque produit présente une teneur en sel significativement différente des autres. Cette variabilité peut être attribuée aux différences de formulation, notamment en matière de teneur en matière sèche, d'utilisation de sels de fonte, ainsi qu'aux objectifs technologiques ou sensoriels propres à chaque fabricant. Cela signifie que la teneur en sel varie significativement selon le type de fromage et la marque. Six groupes de fromages ont été identifiés à travers cette analyse :

- **Groupe a:** Bonne vache-fromage fondu (contient significativement plus de sels).
- **Groupe b:** Yakourène -Fromage fondu (Teneur élevée en sels).
- **Groupe c :** Bonne Vache – Fromage à tartiner (Moins riche en sels).
- **Groupe d:** Yakourène – Fromage à tartiner (sels modérées).
- **Groupe e:** Yakourène - préparation fromagère (Faible teneur en sels). .
- **Groupe f:** Bonne Vache – Préparation fromagère (Teneur la plus basse).

La classification en six groupes homogènes distinctes fromages étudiés montre une diversité significative dans la formulation des produits selon le type de fromage et la marque. Les fromages fondus, notamment celui de Bonne Vache, se démarquent par une teneur en sel nettement plus élevée, probablement pour des raisons technologiques (meilleure fonte, conservation, goût). À l'inverse, les préparations fromagères, en particulier celle de Bonne Vache, présentent les teneurs les plus faibles, ce qui peut répondre à des exigences nutritionnelles ou à une composition plus diluée.

Cette variabilité souligne l'importance de maîtriser la teneur en sel pour répondre aux attentes du consommateur tout en garantissant les propriétés technologiques du produit

5.3 Analyse Statistique et évaluation Multicritère

Afin d'évaluer les différences nutritionnelles entre les différents types de fromages commercialisés par les deux marques étudiées (Yakourène et Bonne Vache), une analyse statistique a été réalisée à l'aide de l'ANOVA, suivie d'un test de comparaison des moyennes. Cette démarche permet de déterminer si les écarts observés pour chaque paramètre (énergie, protéines, lipides, etc.) sont significatifs ou non.

Le tableau 19 suivant présente les valeurs p obtenues pour chaque paramètre, selon le type de fromage. Une valeur de $p < 0,05$ indique une différence significative entre les produits des deux marques pour le critère considéré:

Tableau 19: Résultats de l'analyse statistique (ANOVA) des paramètres physico-chimiques (pH, humidité et matière sèche) selon le type de fromage et la marque

Paramètre	Fromage fondu (p-val)	Préparation fromagère (p-val)	Fromage à tartiner (p-val)	Signification statistique
Énergie (kcal)	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative ($p < 0.001$)
PH	0.0003	0.0102	0.0351	Significative ($p < 0.05$)
Humidité (%)	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative ($p < 0.001$)
Matière sèche(%)	0.0001	0.0004	0.0002	Très significative ($p < 0.001$)

Parmi les autres paramètres analysés (énergie, protéines, lipides, AG saturés, glucides, sucres, fibres, sel), présentent eux aussi des différences statistiquement significatives ($p < 0.05$) entre les types de fromages. Le tableau 20 illustre ces résultats:

Tableau 20:Résultats de l'analyse statistique (ANOVA) des paramètres physico-chimiques (energie, proteines, lipides, sucres ..;) selon le type de fromage et la marque:

Paramètre	Fromage fondu (p-val)	Préparation fromagère (p-val)	Fromage à tartiner (p-val)	Signification statistique
Énergie (kcal)	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Protéines	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Lipides	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Acides gras saturés	0.0001	0.0005	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Sucres	0.0001	0.0001	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Fibres	0.0001	0.0004	0.0001	Très significative (p < 0.001)
Sel	0.0001	0.0027	0.0001	Très significative (p < 0.001)

L'analyse statistique réalisée à l'aide de l'ANOVA a permis de mettre en évidence les différences significatives entre les types de fromages (fondu, préparation fromagère, fromage à tartiner) et entre les deux marques (Yakourène et Bonne Vache), sur plusieurs paramètres nutritionnels et physico-chimiques.

Pour le premier tableau, les valeurs du pH varient de 5.10 à 5.57, ce qui influence à la fois la texture et la conservation. Le pH plus élevé dans les fromages fondus reflète l'usage de sels de fonte alcalins. Le taux d'humidité est plus élevée dans les fromages à tartiner (>57%), ce qui leur confère une texture plus souple. Les préparations fromagères montrent une humidité intermédiaire. Par ailleurs, la teneur en matière sèche est logiquement inverse de l'humidité. Les fromages fondus ont la teneur la plus élevée en matière sèche, ce qui renforce leur structure.

Pour les teneurs nutritionnelles, le contenu protéique varie significativement selon le type de fromage et la marque. Les fromages fondus présentent généralement une teneur plus élevée, ce qui peut être attribué à leur formulation enrichie en matières protéiques. Au niveau des teneurs en lipides et AG saturés des différences sont observées et qui traduisent l'utilisation de matières grasses de sources variées (beurre, huiles végétales) selon les fabricants. Pour les sucres, les préparations fromagères affichent souvent des teneurs plus élevées, probablement liées à l'ajout d'agents de texture ou de stabilisants sucrés. Le Sel est marqué dans le fromage fondu et présente la teneur la plus élevée,

en raison de l'utilisation de sels de fonte, ce qui est cohérent avec les besoins technologiques de ce type de produit.

Les résultats mettent en évidence une variabilité importante des caractéristiques nutritionnelles et physico-chimiques des fromages industriels analysés, dépendant à la fois du type de fromage et de la marque. Ces différences traduisent des choix technologiques et des recettes spécifiques, qui influencent directement la valeur nutritionnelle, la texture, la conservation, et l'acceptabilité sensorielle des produits.

5.3.2. Évaluation Multicritère Nutritionnelle

Une méthode de score pondéré a été utilisée pour classer les produits selon leur qualité nutritionnelle. Chaque nutriment a été pondéré selon son importance relative en nutrition humaine:

Tableau 21:Évaluation Multicritère Nutritionnelle

Nutriment	Pondération	Interprétation
Énergie (kcal)	-0.10	Moins = mieux (calories à modérer)
Protéines	+0.25	Plus = mieux (essentiels)
Lipides	-0.10	Moins = mieux (excès à éviter)
AG saturés	-0.15	Moins = mieux (liés aux maladies)
Glucides	-0.05	Moins = mieux
Sucres	-0.10	Moins = mieux
Fibres	+0.20	Plus = mieux (santé digestive)
Sel	-0.05	Moins = mieux (hypertension)

Ce système de pondération permet d'évaluer la valeur nutritionnelle globale des fromages en tenant compte de l'impact de chaque nutriment sur la santé :

✧ **Nutriments bénéfiques (pondérations positives)** : Comme les protéines (+0.25) qui s'explique qu'ils sont très valorisées, car ils sont essentiels à la croissance, la réparation des tissus et la satiété. Les fibres aussi (+0.20), ils sont appréciées pour leurs bienfaits digestifs et métaboliques.

Nutriments à limiter (pondérations négatives) : Pour la valeur énergétique des fromages (-0.10) : Moins il y en a, mieux c'est, surtout pour éviter les apports caloriques excessifs. Pour les lipides

totaux ont un score de (-0.10) et AG saturés (-0.15) : Cette réduction est conseillée car ils sont liés à un risque accru de maladies cardiovasculaires. Les Sucres (-0.10) et glucides totaux (-0.05) également leurs teneurs doivent être limités pour prévenir l'obésité et le diabète. Les fibres de leurs part présentent un score de +0.20 qui s'expliquent par le fait qu'ils sont appréciés pour leurs bienfaits digestifs et métaboliques. En fin le Sel avec un score (-0.05), il est à modérer pour éviter les risques d'hypertension artérielle.

Les fromages riches en protéines et fibres, mais pauvres en énergie, lipides saturés, sucres et sel, obtiendront les meilleures notes globales dans une analyse multicritère nutritionnelle.

5.3.3. Analyse multicritère nutritionnelle (Score pondéré)

Dans le but d'évaluer globalement la qualité nutritionnelle des différents types de fromages étudiés, une analyse multicritère a été réalisée. Cette méthode consiste à attribuer un poids pondéré à chaque nutriment, en fonction de son impact sur la santé. Les nutriments bénéfiques (comme les protéines et les fibres) sont pondérés positivement, tandis que ceux dont la consommation doit être modérée (comme les acides gras saturés, le sel, les sucres ou l'énergie) sont pondérés négativement.

Chaque produit reçoit alors un score nutritionnel global, calculé à partir de la somme pondérée de ses teneurs nutritionnelles. Plus ce score est élevé (moins négatif), meilleure est la qualité nutritionnelle du produit.

Cette approche permet de comparer objectivement les produits entre eux en tenant compte de l'ensemble de leurs caractéristiques nutritionnelles, plutôt qu'un seul critère isolé. On a calculé le score nutritionnel pondéré pour chaque fromage en utilisant la formule suivante:

□ **Formule du score pondéré :**

$$\text{Score} = \sum (\text{valeur du nutriment} \times \text{pondération})$$

La figure 22 donne Scores nutritionnels par produit.

Le graphique comparatif des scores nutritionnels pondérés pour les différents types de fromages montre que plus le score est élevé (vers la droite), meilleure est la qualité nutritionnelle du produit.

- ✧ Bonne Vache – Préparation fromagère a le meilleur score : riche en fibres, modérée en calories, faible en sel, AG saturés et sucres.
- ✧ Bonne Vache – Fromage à tartiner suit de près, avec un bon équilibre.
- ✧ Yakourène – Fromage fondu est le moins favorable nutritionnellement, principalement en raison de sa forte teneur en énergie, lipides et AG saturés.

On remarque clairement que Bonne Vache Préparation Fromagère présente le meilleur profil nutritionnel global, tandis que Yakourène Fromage Fondu est le moins favorable selon cette analyse pondérée.

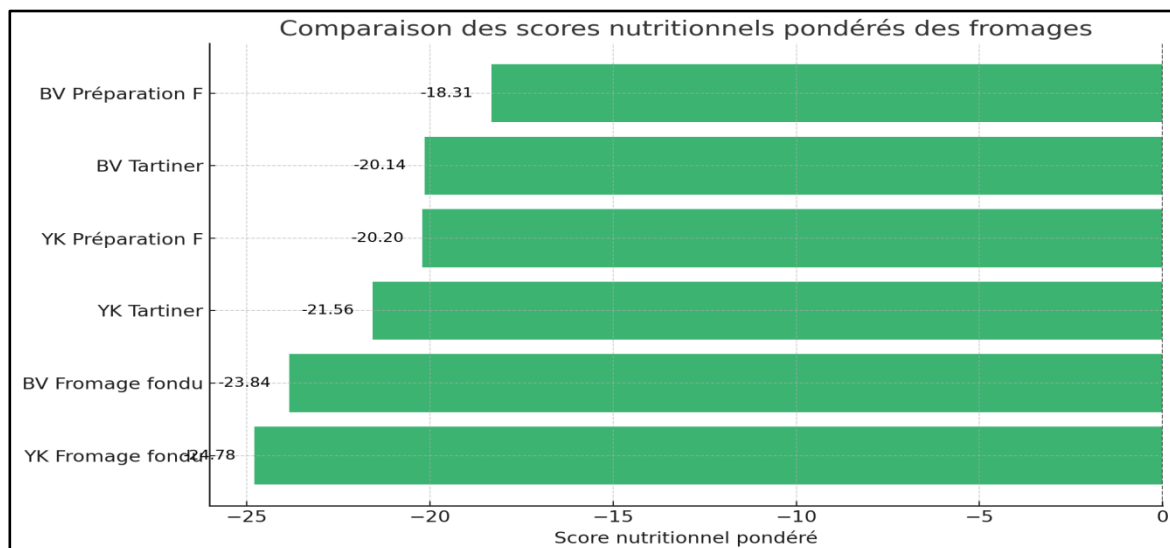


Figure 22: Scores nutritionnels par produit

Cette approche multicritère offre une vision synthétique et objective de la qualité nutritionnelle des produits. Elle met en lumière la supériorité nutritionnelle des produits Bonne Vache, en particulier leur Préparation fromagère, qui répond le mieux aux exigences d'un produit équilibré, sain et stable sur le plan technologique.

5.4. Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique a été réalisée dans le but de vérifier la conformité sanitaire des différents types de fromages étudiés. En effet, les produits laitiers, et en particulier les fromages transformés comme les fromages fondus ou à tartiner, sont des matrices sensibles susceptibles de favoriser la prolifération de micro-organismes pathogènes ou d'altération (bactéries, levures, moisissures).

Cette étape est donc essentielle pour garantir la sécurité alimentaire des produits, en s'assurant qu'ils respectent les critères microbiologiques réglementaires en vigueur (selon les normes nationales ou européennes). Elle permet aussi de valider les bonnes pratiques d'hygiène appliquées tout au long de la chaîne de production, depuis la réception des matières premières jusqu'au conditionnement final.

L'objectif est ainsi de confirmer la qualité sanitaire des échantillons analysés et d'identifier d'éventuels risques microbiologiques susceptibles de compromettre la consommation ou la commercialisation des produits.

Cinq unités ont été analysées afin de vérifier la conformité microbiologique des produits. Chaque unité regroupe des échantillons issus des deux entreprises (Yakouren et La Bonne Vache), incluant les trois types de fromages : fromage fondu, préparation fromagère et préparation fromagère à tartiner.

Les analyses ont porté sur les germes suivants : *Escherichia coli*, *Staphylococcus à coagulase positive*, *Salmonella* et *Listeria monocytogenes*, conformément aux normes microbiologiques en vigueur, telles que définies par le **Journal Officiel N° 39 du 02 juillet 2017**. Le tableau 19 présente les résultats de l'analyse microbiologique pour tous les fromages étudiés:

Tableau 21: Résultats de l'analyse microbiologique pour tous les fromages étudiés:

Germes recherché	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5	Normes (UFC/g)	Références méthodes
<i>Escherichia coli</i>	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	$10^2 - 10^3$	ISO 4832
<i>Staphylococcus à coagulase +</i>	ABS	150	ABS	ABS	ABS	$10^2 - 10^3$	ISO 6888-1
<i>Salmonella</i>	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	Absence dans 25g	NA 2688
<i>Listeria monocytogenes</i>	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	100	ISO11290

Seule l'unité 2 a montré une contamination par *Staphylococcus aureus*, avec une charge de 150 UFC/g. Il est connu que selon la réglementation microbiologique (Règlement CE n° 2073/2005), les limites pour *S. aureus* dans les produits laitiers prêts à consommer sont généralement de $< 10^3$ UFC/g (1000 UFC/g). Ainsi, la charge observée reste largement inférieure aux seuils critiques, et les échantillons peuvent être considérés conformes. L'absence de contamination dans les autres unités (1, 3, 4, 5) renforce la fiabilité des conditions de production et d'hygiène appliquées.

Bien que la contamination soit limitée, la détection de *S. aureus* nécessite une vigilance, notamment au niveau :

- ✧ des manipulations humaines (source fréquente de ce germe),
- ✧ du nettoyage des équipements,
- ✧ et des conditions de stockage.

L'analyse microbiologique confirme que les produits évalués sont globalement conformes sur le plan sanitaire. La contamination faible et isolée observée ne remet pas en cause la qualité globale, mais souligne l'importance de renforcer le contrôle hygiénique, en particulier lors du conditionnement ou de la manipulation.

En définitive, les résultats obtenus dans cette étude mettent en lumière l'importance d'une approche intégrée, mêlant analyses de laboratoire, outils statistiques et interprétation nutritionnelle, pour une évaluation complète de la qualité des produits alimentaires. Yakouren se démarque par une formulation robuste, équilibrée et techniquement cohérente, tandis que La Bonne Vache explore une voie plus allégée, innovante mais parfois nutritionnellement déséquilibrée. Ces éléments devraient guider les stratégies futures de reformulation ou de positionnement produit, selon le marché visé et les besoins nutritionnels des consommateurs ciblés.

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis de réaliser une analyse comparative entre trois types fromages transformés, fromage fondu , préparation fromagère et fromage à tartiner produites par deux marques algériennes à savoir "Yakourène " et " La bonne vache".

Des analyses physico-chimiques , nutritionnelles et microbiologiques et une évaluation multicritère réalisée par des outils antistatistiques (ANOVA et test de Turkey) ont permis d'établir un diagnostic de la qualité globale de produits .

Les résultats ont révélé entre les différents échantillons que ce soit au niveau d'un même type de fromage ou entre les deux marques étudiées. Les fromages de Yakourène ont montré une valeur nutritionnelle affichant des teneurs plus élevées en protéines, en lipides, acides gras saturés et valeur énergétique. Cette composition rend la marque du fromage moins adapté aux recommandations nutritionnelles pour certaines catégories de consommateurs.

Par ailleurs, les fromages de La bonne vache ont révélé une meilleure qualité nutritionnelle globale se distinguant par une faible teneur en matières grasses saturées , une richesse en fibres et surtout des teneurs moyennes en énergie, sucre et en sel.

D'un côté , l'analyse microbiologique a permis de démontrer la conformité de nos échantillons par rapport aux normes en vigueur, attestant un meilleur respect des bonnes pratiques d'hygiène et sanitaires par le personnel des entreprises. Seul une non conformité a été enregistrée mais qui reste sans danger pour le consommateur.

L'évaluation multicritère de cette étude a permis d'offrir une vision synthétique et objective de la qualité nutritionnelle et sanitaire des produits en se basant sur la dimension des scores pondérés. Une classification a été déterminée dans laquelle la **préparation fromagère de La Bonne Vache** a obtenu le **meilleur score global**, suivie de près par le fromage à tartiner de la même marque. Les fromages de marque Yakourène ont été classés en deuxième position bien que riche en protéines , mais avec une charge lipidique et énergétique plus importante.

Cette étude a permis de confirmer l'importance d'une évaluation multicritère des aliments en particuliers les produits transformés comme le fromage.

A la lumière de ce travail, il est pertinent :

➤ d'élargir l'échantillonnage à un nombre plus représentatif de marques et de produits disponibles sur le marché algérien.

l'intégration d'une analyse sensorielle (goût, texture, acceptabilité) permettrait de compléter l'évaluation objective par une dimension subjective liée à la perception du consommateur.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Articles scientifiques et revues :

- Amalfitano, N., Patel, N., Haddi, M.L., Benabid, H., Pazzola, M., Vacca, G. M., Tagliapietra, F., Schiavon, S., & Bittante, G. (2024). Detailed mineral profile of milk.
- Galli, F., Brunori, G., Di Iacovo, F., & Innocenti, S. (2012). Food waste and food system sustainability: Integrating food waste in the framework of sustainability assessment tools. *Italian Journal of Agronomy*, 7(s1), e15.
- Benhacine, F., & Boudalia, S. (2018). Consommation des produits laitiers en Algérie : tendances et préférences des consommateurs. *Revue des Sciences de l'Aliment et de la Nutrition*, 12(2), 45–52.
- Dahou, E., & Belhadj, M. C. (2020). La microflore lactique d'un fromage traditionnel algérien « type J'ben » : connaissance des écosystèmes microbiens laitiers locaux et de leurs rôles dans la fabrication des fromages [PDF]. Retrieved from ResearchGate.
- Derouiche, M., & Zidoune, M. N. (2015, novembre). Characterization of a traditional Michouna cheese from the region of Tébessa, Algeria. *Livestock Research for Rural Development*, 27(11). Retrieved from <http://www.lrrd.org/>
- Derouiche, H., & Zidoune, M. N. (2015). Propriétés biochimiques et microbiologiques du fromage Michouna issu de l'artisanat algérien. *Sciences & Technologie C*, 42, 47–56.
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2004). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (Vol. 1). Elsevier.
- Guinee, T. P., & O'Callaghan, D. J. (2013). The whey proteins in cheese manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 66(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12005>
- Le Loir, Y., Baron, F., & Gautier, M. (2003). Enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* and food poisoning. *International Journal of Food Microbiology*, 73(2–3), 29–36.
- Youniss, E. M., Mohammed, H., & Saad, M. (2024). Evaluation of the chemical and microbiological properties of several cheese kinds. *Benha Veterinary Medical Journal*, 47(2), 111-116.

Rapports et documents officiels :

- Algérie Éco. (2022, 3 juin). Production de fromage : Les règlements techniques fixés par la loi. *Algérie Éco*.
- Centre algérien du contrôle de la qualité et de l'emballage. (s.d.). Sécurité sanitaire des aliments et bonnes pratiques d'hygiène. Ministère du Commerce. *Ministère du Commerce*.

- Commission européenne. (2002). Règlement (CE) 178/2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire. *Journal officiel de l'Union européenne*.
- FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (1978). General Standard for Cheese (CODEX STAN 283-1978). Rome: Codex Alimentarius. [Révisé plusieurs fois, dernière mise à jour consultable sur le site du Codex].
- Ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Promotion des Exportations, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Ministère de la Santé. (2022). Arrêté interministériel du 27 Chaâbane 1443 (30 mars 2022) portant adoption du règlement technique fixant les spécifications techniques des fromages et spécialités fromagères. *Journal Officiel de la République Algérienne démocratique et populaire*, N° 37, 16–18.
- République Algérienne Démocratique et Populaire. (2022). Décret exécutif n° 92-65 du 12 février 1992 relatif au contrôle de la conformité des produits fabriqués localement ou importés (modifié). *Journal Officiel*, N° 37, 19–20.
- USDA Foreign Agricultural Service. (2023). Dairy and Products Annual: Algiers, Algeria (Report AG2023-0013).

Livres et ouvrages spécialisés :

- Bullerman, L. B., & Pitt, J. I. (1999). *Mycotoxins: Occurrence, Toxicology, and Detection*. ASM Press.
- Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). *HACCP: A Practical Approach*. Springer.
- Tamime, A. Y. (2006). *Processed Cheese and Analogues*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017). *Fundamentals of Cheese Science (2nd ed.)*. Springer.

Sites web et autres sources numériques :

- ReportLinker Research. (2022). Algeria Cheese Industry Outlook 2022–2026. Retrieved from ReportLinker.
- Takamart. (2003, 2 janvier). In Wikipédia. Retrieved from <https://fr.wikipedia.org/wiki/Takamart>
- Wikipédia, l'encyclopédie libre. (2011, 25 novembre). Les produits laitiers fabriqués en Algérie. Retrieved from <https://www.aps.dz/>

Normes et règlements internationaux :

- Codex Alimentarius Commission. (2003). General principles of food hygiene (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003). FAO/WHO.
- ISO. (2007). ISO 7218:2007 – Microbiology of food and animal feeding stuffs — General requirements and guidance for microbiological examinations. *International Organization for Standardization*.
- ISO. (2018). ISO 22000:2018 – Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. *ISO*.
- *ISO*. (2018). ISO 22000:2018 Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. *ISO*.

Autres références :

- *Opportunities for US Agricultural Exports in Egypt and Algeria*. (2021). USDA Foreign Agricultural Service.

Anonyme. (2022). Office National Interprofessionnel du Lait (ONIL). Rapport annuel sur la filière fromagère en Algérie. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Annexes

Annexe

Matériel analytique



Balance analytique



Bain marie



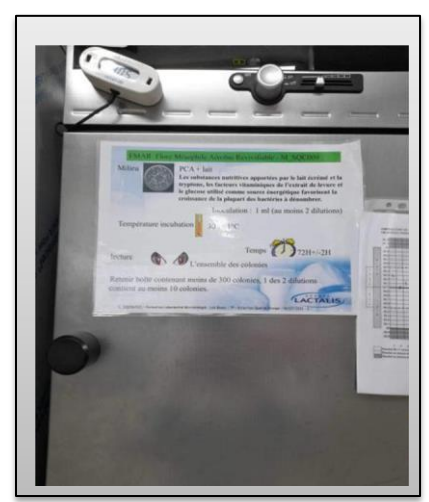
Boîtes pétri



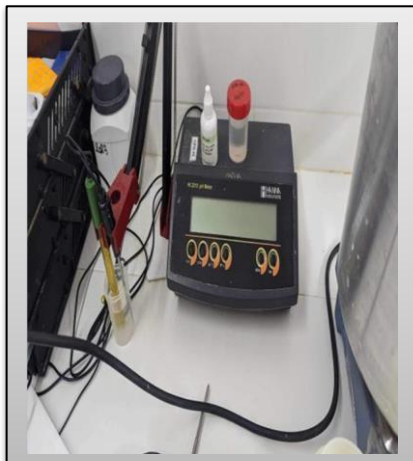
Broyeur



Bec benzen



Etuve



Ph metre

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université de Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude

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

Option : Sécurité Agro alimentaire et Assurance de Qualité

Thème

**Évaluation multicritère et statistique de
la conformité et de la qualité sanitaire
des fromages algériens**

Réalisé par :

BADACHE Hania

ZERGAOUI Rlad

Devant les jury :

Dr BOUCHAKOUR R. MCA

Présidente

Université de Blida 1

Dr NABI I. MAA

Examinatrice

Université de Blida 1

Dr MEZIANE Z. MCB

Promotrice

Université de Blida 1

Année universitaire : 2024-2025