

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Production et Transformation Laitière



Réf:.....

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

MASTER

Thème

Elaboration d'un fromage à pate filée type mozzarella

Présenté par :

BEKROUNENE Yacine et MEHANI Djedjiga

Soutenu le : 02/07/2025

Devant le jury composé de :

Mme BRAHMI Nabila

MCA

Président

Melle TOUATI Naima

MCA

Encadreur

Mme KAANIN Ghania

MAB

Examineur

Année universitaire : 2024 / 2025

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Introduction	1
---------------------	---

Synthèse bibliographique

I. Le lait	2
I.1. Définition	2
I.2. Composition du lait	2
I.3. Propriétés physico-chimiques et microbiologiques du lait	3
I.3.1. Propriétés physico-chimiques	3
I.3.2. Propriétés microbiologiques	3
II. Fromage	4
II.1. Définition du fromage	4
II.2. Processus de fabrication du fromage	5
II.2.1. Coagulation du lait	5
II.2.2. Egouttage	6
II.3. Classification des fromages	6
III. Fromage Mozzarella	7
III.1. Définition	8
III.2. Propriétés du fromage mozzarella	8
III.3. Processus de fabrication de la mozzarella	9
III.4. Composition physicochimique du fromage mozzarella	10

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Collecte du lait	11
II. Analyses physico-chimiques	11
II.1 Analyses physico-chimiques du lait cru	11
II.1.1 Détermination du potentiel en hydrogène « pH » (ISO 17025)	11
II.1.2 Détermination de l'acidité titrable (NF V04-206)	12
II.1.3 Détermination de la densité	12
III. Préparation du fromage	13
III.1 Diagramme de fabrication de fromage mozzarella	13
IV. Analyses physicochimiques effectuées pour le fromage	14
IV.1. Détermination du potentiel en hydrogène	14
IV.2. Mesure de l'acidité titrable	14
IV.3. Dosage des protéines (JORA, 2014)	14
IV.4. Détermination de la teneur en Matière grasse par la méthode GERBER - ISO 1211.	15

IV.5. Détermination du taux d'humidité	16
IV.6. Détermination de la teneur en cendres.....	16
IV.7. Détermination de la teneur en chlorure de sodium (NaCl) par la méthode de Mohr ..	17
IV.8. Dosage des sucres par la méthode colorimétrique à l'anthrone.....	17
IV.9. Dosage des composés phénoliques et activité antioxydants	18
IV.9.1. Dosage des polyphénols	18
IV.9.2. Dosage des flavonoïdes.....	19
V. Analyses microbiologiques.....	20
V.1.Préparation de la solution mère et des dilutions décimales.....	20
V.2. Recherche de la flore totale mésophile	21
V.3. Dénombrement des Entérobactéries ISO : 16654	21
V.3. Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i> ISO : 6888-3	21
V.4. Recherche des salmonelles.....	22
VI. Analyses sensorielles	22

Résultats et discussion

II. Résultats des analyses physico-chimiques.....	23
II.1. Analyses physico-chimiques du lait de vache	23
II.2. Résultats des analyses physicochimiques effectuées pour le fromage.....	24
II.2.1. pH et acidité titrable	24
II.2.2. Dosage des protéines.....	25
II.2.3. Teneur en Matière grasse	26
II.2.4. Détermination du taux d'humidité.....	26
II.2.5. Taux de cendres	27
II.2.6. Teneur en chlorure de sodium (NaCl)	28
II.2.6. Dosage des sucres par la méthode à l'anthrone	29
II.2.7. Teneur en antioxydants	29
II.2.8. Activités anti radicalaire (DPPH)	31
II.4. Résultats des analyses microbiologiques	32
II.5. Evaluation sensorielle.....	32
II.5.1. Pouvoir discriminant par descripteur	33
II.5.2. Coefficients des modèles.....	34
II.5.3 Moyennes ajustées par produit.....	36
II.5.4. Classification ascendante hiérarchique (CAH)	37
II.5.6. Synthèse de mapping des préférences.....	37

Conclusion..... Erreur ! Signet non défini.

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des abréviations

A.ORG : Mozzarella ail et Origan

A.PB : Mozzarella ail et poivron blanc

Abs : Absence

ACP : Analyse en Composantes Principales

C : Carbone

CAH : Classification ascendante hiérarchique

CPT : composés phénoliques totaux

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

EST: Extrait Sec Total

FAO: Food and Agricultural Organization

FTAM ; Flore Totale Aérobie Mésophile

ISO : International Standard Organisation

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne.

mg Éq AG : milligrammes équivalents d'acide gallique

MZ : Mozzarella nature

AT% : Acidité titrable

UFC : Unité Formant Colonies

VRBG = *Violet Red Bile Glucose Agar*

XLD : *Xylose Lysine Deoxycholate*

ρ : La masse volumique

Liste des figures

Figure 1: Différentes techniques pour faire coaguler le lait	5
Figure 2: Classification des fromages.	7
Figure 3: Diagramme de fabrication du fromage mozzarella.....	9
Figure 4:Diagramme de fabrication du fromage mozzarella par acidification.	13
Figure 5:Les formes oxydée et réduite du DPPH	20
Figure 6:Résultats d'analyses de pH et acidité.....	24
Figure 7:Résultats du dosage des protéines.....	25
Figure 8:Résultats du taux d'humidité	26
Figure 9:Résultats de la teneur en cendres	27
Figure 10:Résultats de la teneur en chlorure	28
Figure 11:Résultats de dosage des sucres.....	29
Figure 12:Resultats d'analyses des composés phénoliques totaux (CPT) et flavonoïdes.....	30
Figure 13:Résultats d'activités anti radicalaire (DPPH)	31
Figure 14:Pouvoir discriminant par descripteur.	34
Figure 15:Coefficients des modèles des échantillons des fromages mozzarella A, B et C.....	35
Figure 16:Profil des différentes classes.....	37
Figure 17:cartographie de préférences	38

Liste des tableaux

Tableau I: Composition du lait de différentes espèces	2
Tableau II: Principales propriétés physicochimiques du lait.....	3
Tableau III: Composition physicochimique de la Mozzarella	10
Tableau IV: Résultats d'analyses physico-chimiques du lait de vache.....	23
Tableau V:Résultats d'analyses microbiologiques du fromage mozzarella.....	32
Tableau VI:Codage des échantillons à déguster.	33
Tableau VII: Moyennes ajustées par produit des fromages mozzarella A, B et C.....	36

Remerciements

On remercie tout d'abord Dieu qui nous a donné le courage et la patience dans toute notre vie et pour terminer ce modeste travail.

*On exprime notre profonde gratitude et reconnaissance à notre promotrice M^{elle} **TOUATI Naima** pour avoir accepté de nous encadrer avec beaucoup de patience et de dévouement. Nous tenons à la remercier vivement pour sa disponibilité et son grand soutien et on ne peut jamais oublier son encouragement et ses conseils, on la prie de trouver dans ce travail notre respectueuse reconnaissance.*

Nous tenons à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger le travail.

On traduit notre remerciement également à tout le personnel de laboratoire nous a aidé et qui nous a donné la main forte pour la réalisation de ce modeste travail

On a le plaisir aussi de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce modeste travail.

A nos parents qui ont veillé à ce qu'on ne manque de rien, et encourager d'aller toujours plus loin

Dédicace

Tout d'abords je tiens à remercier le tout puissant, le Dieu de m'avoir donné le courage et
patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail ;

Je dédie ce travail ;

A

Mes parents qui mon toujours encourager et soutenue également à mes deux chers frère
Fatah et **Farid** aussi à mes adorable sœurs **Samia, Nacira, Souhila, Hassiba** ainsi qu'à tous
mes proches, également à ma promotrice Melle **TOUATI Naima**

A

Mes cousins

A

Tous mes amis

A

Ma binôme djedjiga et sa famille

A

Tous mes camarades de promotion

Yacine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Aux deux êtres qui me sont les plus chers au monde mon
père **AHMED** et ma mère **AICHA** à qui je dois le mérite d'être
arrivée là, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et
mon affection.

A ma promotrice Mlle **TOUATI NAIMA**

A ma très chère sœur, son mari, mon neveu et ma petite nièce

Samira, Nadir, Adem et Aya

Ma sœur **Assia**

A mes très chers frères

Merouane et Abderrahim

A ma tante Mme **Boubaaya Rebh**

A toute la famille **MEHANI** et **KHELIFA**.

A tous mes amis

Sonia, Rahma, Chafiaa, Souhila, Leticia et Yassmine.

A mon binôme **Yacine** et à toute sa famille.

A tous ceux qui m'aiment

Djedjiga.M

Introduction

Depuis l'aube des civilisations, le lait a été valorisé comme un aliment noble, offrant une composition nutritionnelle idéalement adaptée aux besoins physiologiques humains. Cependant, cette richesse en nutriments, combinée à une teneur élevée en eau, en fait également un milieu particulièrement propice au développement microbien. Son instabilité intrinsèque, tant biologique que physico-chimique, représente ainsi un défi majeur pour sa conservation et son utilisation optimale (**Jeantet et al., 2011**).

Face à cette instabilité naturelle, diverses transformations technologiques ont été développées pour prolonger la conservation du lait, conduisant à une gamme variée de produits laitiers tels que les laits fermentés, les yaourts, le beurre ou les fromages (**Vignola et al., 2002**).

Selon la nature du lait utilisé et les technologies mises en œuvre, il existe une très grande variété de fromages (**Remeuf, 1993**). Parmi eux, la mozzarella, qui est un fromage emblématique de la famille des *pasta filata* (fromages à pâte filée), originaire d'Italie. Les fromages *pasta filata* se distinguent par un procédé unique de plasticisation et de pétrissage du caillé frais dans l'eau chaude, ce qui confère au fromage sa structure filandreuse caractéristique, ainsi que ses propriétés de fonte et d'étirage (**Mijan et al., 2010**).

L'objectif de ce travail est d'obtenir un produit sain, de bonne qualité, avec une saveur naturelle et des propriétés fonctionnelles intéressantes.

Notre étude s'est portée sur élaboration d'une mozzarella, immergée directement dans une saumure aromatisée par l'ajout de certaines épices en poudre telles que l'ail, le poivre blanc et l'origan. Un témoin a également été préparé dans une saumure classique salée.

Cette étude est structurée en deux parties principales une synthèse bibliographique qui présente des généralités sur le lait et sur le fromage. Une étude expérimentale qui consiste à élaborer une mozzarella immergée dans une saumure aromatisée par des poudres de plantes sélectionnées (ail, poivre blanc, origan), avec un témoin en saumure classique. Cette phase comprend également l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles des fromages obtenus, ainsi que la détermination de leur teneur en composés phénoliques et de leur activité antioxydante.

I. Le lait

I.1. Définition

Le lait est un nutriment d'une grande valeur nutritive, riche et équilibré, qui répond à une grande partie des exigences nutritionnelles. Il représente une des principales sources nutritionnelles et énergétiques en calcium, protéines, graisses et vitamines, rééquilibrant de ce fait l'alimentation du consommateur (**Gaouar et al., 2021**).

En 1908, lors du Congrès international de la Répression des Fraudes à Genève, le lait a été défini comme « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum » (**Larpen, 1997 ; Levieux, 1999**).

I.2. Composition du lait

Le lait contient quatre éléments principaux : les lipides, principalement des triglycérides, les protéines comme la caséine, l'albumine et la globuline, les glucides avec le lactose, et des sels minéraux. Sa composition peut changer selon plusieurs facteurs liés aux animaux, comme leur race, leur âge, leur alimentation, la période de lactation, la saison et l'espèce (**Lapointe-Vignola et Québec, 2002**). Le tableau I, montre les différences dans la composition du lait de différentes espèces animales.

Tableau I: Composition du lait de différentes espèces (**Vignola, 2002**).

Animaux	Eau %	Matière grasse%	Protéines%	Glucides %	Minéraux %
Vache	87,5	3,7	3,2	4,6	0,8
Chèvre	87	3,8	2,9	4,4	0,9
Brebis	81,5	7,4	5,3	4,8	1,0
Chamelle	87,6	5,4	3,0	3,3	0,7
Jument	88,9	1,9	2,5	6,6	0,5
Bufflonne	83	7,4	3,8	4,8	0,8

I.3. Propriétés physico-chimiques et microbiologiques du lait

I.3.1. Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physicochimiques du lait sont déterminantes dans l'optimisation des procédés développés pour leur transformation et leur stabilisation (Tableau II). Elles sont dues à l'ensemble (masse volumique) ou une partie (pression osmotique, point de congélation) des constituants solubilisés et dispersés dans la phase aqueuse (**Croguennec et al., 2008**). Les propriétés physico-chimiques du lait sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau II: Principales propriétés physicochimiques du lait (**Croguennec et al., 2008**).

Constantes	Norme
Point d'ébullition	100,15°C
Point de congélation	-0,53°C
Masse volumique (à 20 °C)	1030 kg. m ⁻³
Densité	1.028 - 1.034
pH (à 20°C)	6,6 – 6,8
Acidité titrable	15-17°D

I.3.2. Propriétés microbiologiques

Grâce à sa composition, le lait constitue un milieu propice à la prolifération des microorganismes (**Guiraud, 1998**).

Flore originelle du lait

Elle est définie comme l'ensemble des microorganismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis, ces micro-organismes sont plus ou moins abondante et sont en relation étroite avec l'alimentation, la race et d'autres facteurs (**Vignola, 2002**). Lorsque le lait est prélevé d'un animal en bonne santé et dans des conditions appropriées, il contient une faible quantité de micro-organismes (moins de 10³ germes/ml). Cette formation porte principalement sur les micro-organismes saprophytes présents dans le pis et les canaux galactophores : principalement des microcoques, mais également des streptocoques lactiques (*Lactococcus*) et des lactobacilles. Des substances inhibitrices connues sous le nom «lactenines» protègent le lait cru des microorganismes, mais leur effet ne dure pas longtemps (environ une heure) (**Guiraud et Galzy, 1980**).

Flore de contamination

La flore de contamination regroupe l'ensemble des micro-organismes qui peuvent contaminer le lait tout au long de la chaîne, depuis la collecte jusqu'à la consommation. Elle inclut à la fois des micro-organismes d'altération, responsables de défauts sensoriels ou d'une réduction de la durée de conservation des produits, ainsi que des agents pathogènes présentant un risque pour la santé humaine (**Vignola, 2002**).

II. Fromage

En plus d'être consommé brut, le lait peut subir diverses biotransformations qui contribuent à enrichir grandement ses caractéristiques sensorielles et nutritives. Une des variantes de ces transformations est le fromage, issu de l'ancien français : fromage, dérivé du latin : formaticus, qui signifie fabriqué dans une forme (**Vignola et al., 2002**).

Le fromage est l'un des plus anciens aliments transformés, apparu il y a environ 10 000 ans, peu après la domestication des animaux laitiers. Les premières preuves archéologiques de sa fabrication proviennent de poteries retrouvées au Proche-Orient. Dans l'Antiquité, les Égyptiens, les Grecs et les Romains fabriquaient déjà divers types de fromages. Au Moyen Âge, les moines européens ont perfectionné les techniques de fabrication, donnant naissance à de nombreuses variétés régionales. La révolution industrielle a introduit la pasteurisation et la production de fromage à grande échelle. Aujourd'hui, le fromage est un produit diversifié et consommé dans le monde entier (**Kindstedt, 2017**).

II.1. Définition du fromage

D'après la norme Codex, le fromage est un produit, qui est affiné ou non, de texture molle ou semi dure, dure ou extra-dure. Il peut être recouvert et le rapport entre les protéines du lactosérum et celles de la caséine ne doit pas dépasser celui du lait. Le fromage est produit grâce à la coagulation totale ou partielle du lait, induite par l'utilisation de présure ou d'autres agents coagulants adaptés. Ce processus est suivi d'une séparation partielle du lactosérum issu de cette coagulation. Le caillé est assaisonné de sel et une phase de maturation ou d'affinage peut compléter ce processus pour développer les caractéristiques de texture et de goût désirées (**Vuilleumard, 2018**).

II.2. Processus de fabrication du fromage

La production commence par la préparation du lait, qui peut subir différents processus, tels que la pasteurisation ou l'utilisation de lait cru, selon le type de fromage souhaité et les réglementations sanitaires. Le lait doit être conservé à une température adéquate pour permettre le développement des micro-organismes bénéfiques responsables de la fermentation (Walstra *et al.*, 2005).

II.2.1. Coagulation du lait

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire originel de la caséine. En technologie fromagère, il existe trois façons de coaguler la caséine (figure 1), et le type de fromage détermine la méthode utilisée (Johnson et Law, 2010).

➤ **La coagulation enzymatique** généralement favorisée par la présure qui peut être d'origine animale, végétale ou microbienne, elle agit sur les protéines du lait, notamment la caséine kappa, en formant un réseau qui emprisonne la graisse et l'humidité (Fox *et al.*, 2015). Ce type de coagulation est utilisé pour les fromages plus fermes, comme le gouda et le cheddar.

➤ **La coagulation lactique** se produit plus lentement, avec l'acidification progressive du lait par les bactéries, ce qui donne un caillé plus fragile et délicat, typique des fromages frais comme la ricotta et le fromage de chèvre (Walstra *et al.*, 2005).

➤ **Coagulation par addition d'acide** utilisée dans la fabrication de la Ricotta et Queso Blanco fait appel à de l'acide et à une chaleur élevée pour précipiter à la fois la caséine et les protéines du lactosérum afin de former un caillé (Johnson et Law, 2010).

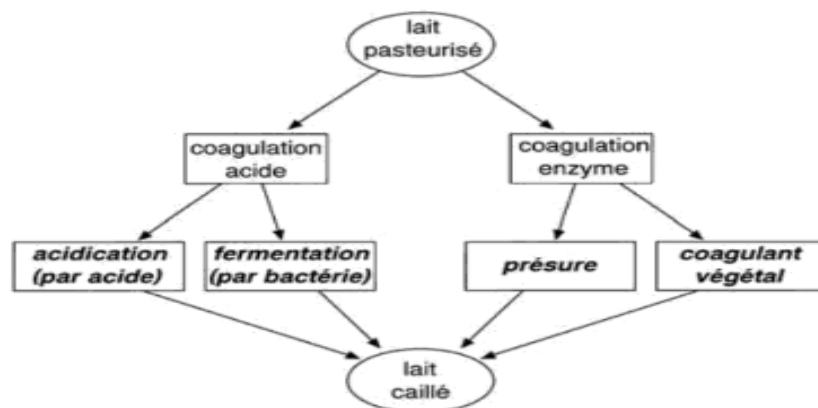


Figure 1: Différentes techniques pour faire coaguler le lait (Ebing et Rutgers, 2006).

II.2.2. Egouttage

L'égouttage est une étape clé dans la fabrication du fromage, consistant à éliminer le lactosérum du caillé pour en modifier la composition et la texture. Ce processus dépend de la synérèse (expulsion naturelle du sérum) et influence fortement le type de fromage obtenu (**Vignola, 2002**).

II.2.3. Salage

Le salage est une étape essentielle dans la fabrication du fromage. Le sel en révèle la saveur tout en assurant sa conservation grâce à l'accélération de la déshydratation. Il joue également un rôle dans l'élimination des bactéries indésirables tout en favorisant l'action de certains ferments spécifiques (**El-Bakry, 2012**). Le salage peut être réalisé à sec, par frottements, ou par immersion du fromage dans une saumure pendant une durée variable (**Bon, 1979**).

II.2.3. Affinage

L'affinage implique une série de réactions biochimiques complexes et microbiologiques qui conduisent au goût, à l'arôme et à la texture caractéristiques de chaque variété de fromage (**Sousa et al., 2001 ; McSweeney, 2004**). C'est la dernière phase de la fabrication des fromages. Après l'égouttage, le fromage ressemble à une sorte de gâteau, et, si sa forme est déjà caractéristique, il n'a guère de saveur propre. À ce stade, tous les fromages ont un goût assez uniforme dû à la fermentation lactique. Pour les fromages à pâte fraîche, la fabrication s'arrête là, tous les autres types de fromages doivent subir une maturation plus ou moins longue qui va leur donner un aspect, une consistance, une saveur, un parfum particulier, et même les qualités nutritives et de digestibilité qui leur sont propres (**Bon, 1979**).

II.3. Classification des fromages

Les fromages sont divisés en sept principales catégories basées sur divers facteurs tels que le type d'animal, le niveau d'humidité et la méthode de production (Figure 2) :

- Les fromages frais ou à pâte fraîche ;
- Les fromages à pâte molle à croûte lavée ;
- Les fromages à pâte persillée ;
- Les fromages pressés, qu'ils soient cuits ou non ;
- Les fromages durs ;
- Les fromages filés ;
- Les fromages fondus

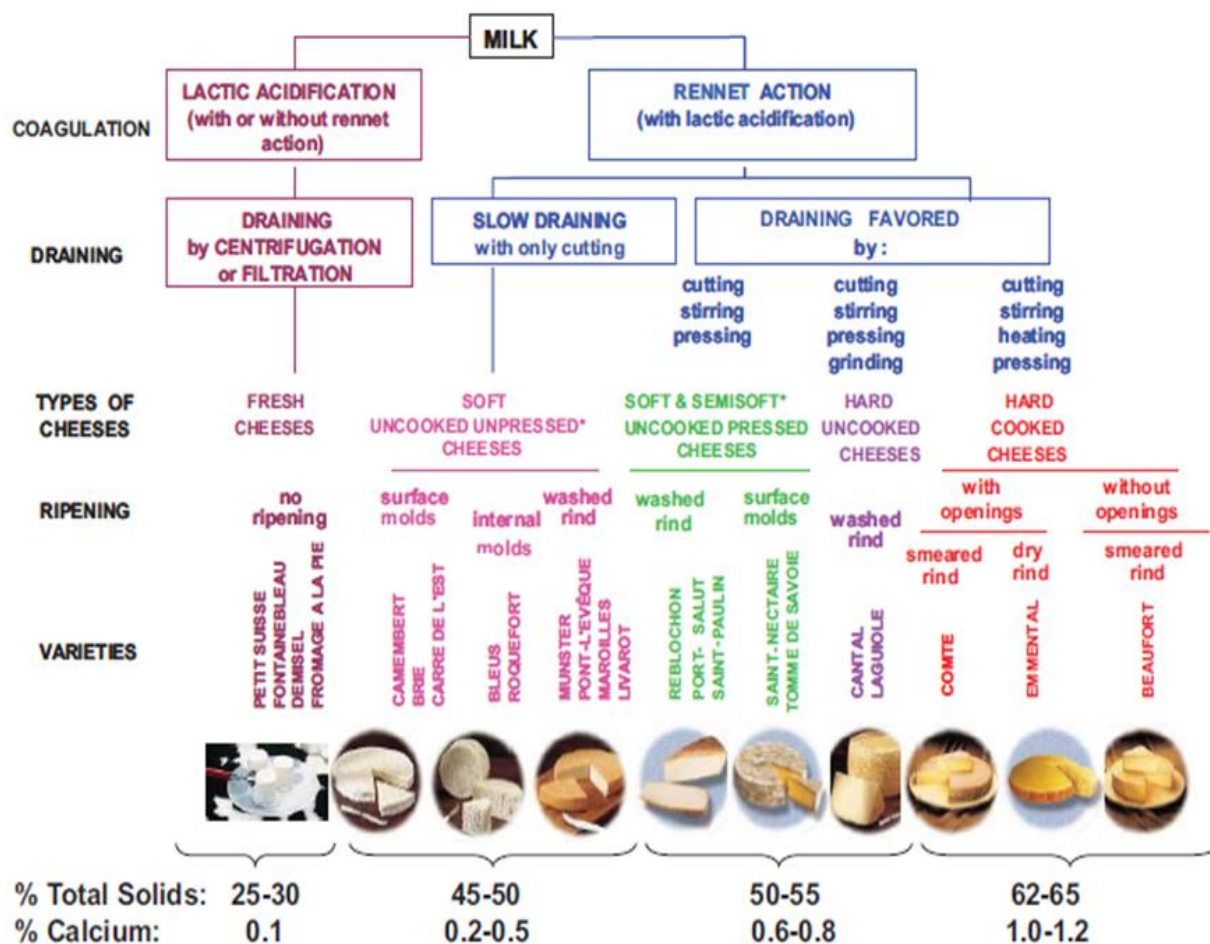


Figure 2: Classification des fromages (Almena-Aliste et Mietton, 2014).

III. Fromage Mozzarella

Le terme « mozzarella » provient du verbe italien « mozzare » (« déchirer »), qui fait référence à la méthode utilisée par les fromagers pour découper la pâte de fromage en portions de différentes formes et tailles (Piscopo *et al.*, 2004).

Il n'est donc pas surprenant que les premiers écrits sur cette spécialité, qui remontent au XII^e siècle, lui donnent le nom de « mozza ». Les bocconcini, mot qui signifie « petites bouchées » en italien, sont des boules de fromage mozzarella de la taille d'un œuf originaires de Naples et fabriqués autrefois uniquement à partir du lait de bufflonnes (Loignon et Castagnaro, 2023).

Depuis 1947, la fabrication de toutes les sortes de fromages italiens a plus que triplé en termes de pourcentage de la production totale. La forte popularité croissante de la pizza explique probablement en grande partie cette augmentation (Breene *et al.*, 1964). Le

fromage de type Mozzarella, couramment désigné sous l'appellation « fromage à pizza », est le fromage le plus produit à l'échelle industrielle (**Gernigon *et al.*, 2010**).

Les caractéristiques d'élasticité et de souplesse du caillé obtenu par acidification directe du lait sont particulièrement avantageuses pour la fabrication de fromages italiens à pâte molle utilisés comme garniture pour pizza. La mozzarella est le nom traditionnel de ce fromage à pâte molle (**Breene *et al.*, 1964**).

III.1. Définition

Selon la FAO, la mozzarella est considérée comme un fromage non affiné, conformément à la norme générale pour le fromage (**CODEX STAN 283.1978**) et à la norme dédiée aux fromages non affinés, y compris le fromage frais (**CODEX STAN 221.2001**). La mozzarella est un fromage lisse et élastique, formé de longues fibres protéiques disposées en parallèle, sans la présence de morceaux de caillé. Ce fromage n'a pas de croûte et peut se décliner en différentes formes.

La mozzarella à forte humidité est un fromage à pâte tendre en couches qui peut créer des poches remplies d'un liquide à l'aspect lacté. Le fromage a une teinte blanche légèrement teintée (**Guinee & McSweeney, 2006**). La mozzarella à faible teneur en humidité est un fromage uniforme à consistance ferme/semi-dure sans perforations, qui peut être râpé (selon la norme **CODEX STAN 262-2006**).

III.2. Propriétés du fromage mozzarella

La mozzarella doit présenter un goût frais, légèrement salé et avec une subtile touche acide. On consomme principalement la mozzarella pour ses caractéristiques technofonctionnelles plutôt que pour ses qualités organoleptiques. Les traits distinctifs de la mozzarella comprennent sa texture et sa facilité à être râpée. Les caractéristiques fonctionnelles de la mozzarella lorsqu'elle est exposée à la chaleur incluent l'étalement lors de la fusion, l'extensibilité (**Ah et Tagalpallewar, 2017**), le développement d'huile à la surface et la coloration brune. Les propriétés structurales du caillé déterminent la texture et la capacité de fusion de la mozzarella (**Kindstedt et Fox, 1993**).

Ces deux caractéristiques sont essentielles pour le fromage mozzarella à faible teneur en humidité, tant du point de vue du consommateur que des entreprises agroalimentaires. Par exemple, lorsqu'il est soumis à une cuisson, le fromage mozzarella

devrait se fondre de manière homogène sans qu'aucun morceau individuel ne soit discernable, tout en étant significatif que sa composante lipidique n'apparaisse pas à la surface (McMahon et Oberg, 1998).

III.3. Processus de fabrication de la mozzarella

La matière première : Le lait cru standardisé (ratio caséine/matière grasse 1,2) est pasteurisé à 63°C/30 min. Après refroidissement à 32°C, le lait estensemencé avec 2% de levain et incubé 1h (figure 3). La coagulation est initiée par de la présure de veau diluée (1/20), (Oberg *et al.*, 1991).

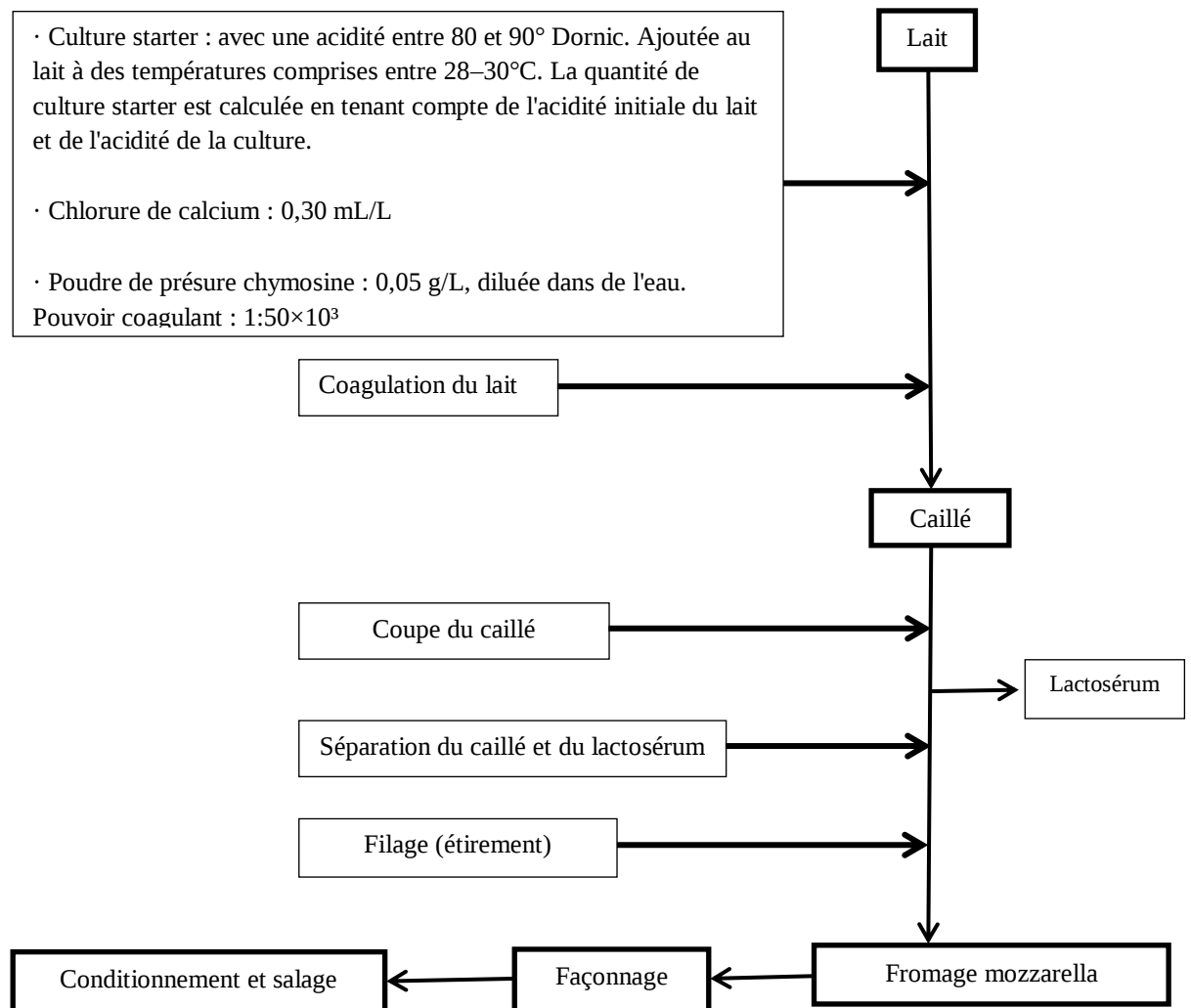


Figure 3: Diagramme de fabrication du fromage mozzarella (Sales *et al.*, 2017).

Après la coagulation le caillé est coupé en cubes de 2 cm, laissé au repos 5 min, puis chauffé à 42 °C pendant 75 min avec ajout d'eau pour faciliter le transfert thermique.

Après égouttage, il est immergé dans de l'eau à 70 °C, étiré manuellement (56-57 °C en interne), Le filage est une technique basée sur la propriété de la caséine à adopter une structure plastique filamenteuse dans des conditions appropriées de température et d'acidité. Pour la production des fromages à pâte filée tels que la mozzarella de bufflonne et le *fior di latte* de vache, il est nécessaire d'atteindre une acidification du caillé jusqu'au pH de filage, qui varie entre 4,9 et 5,4, dans un délai de 3 à 5 heures. Au pH optimal, la teneur en calcium du caillé est réduite d'environ 75 % par rapport à sa teneur initiale (Addeo et al., 1996).

Le filage du caillé a pour but de donner la structure typique aux différents produits à pâte filée ; il peut être réalisé manuellement ou mécaniquement. Dans ce dernier cas, la masse de caillé est finement découpée par un hachoir spécial, et les morceaux sont envoyés dans le soi-disant « macero » (moulin à pulpe), où de l'eau chaude (80–90 °C) est introduite (Addeo et al., 1996). Moulé et refroidi rapidement à 10 °C. Les fromages sont ensuite saumurés (2 h, 10 °C, pH 5,3), emballés sous vide et stockés à 4°C (Brandsma et Rizvi, 2001).

III.4. Composition physicochimique du fromage mozzarella

La composition physicochimique de la Mozzarella rapportée dans la littérature est très variable, car elle est influencée par le type de lait utilisé dans la production du fromage, les cultures de démarrage, les conditions de fabrication et la région géographique où il est produit (Tuohy, 2023).

Tableau III: Composition physicochimique de la Mozzarella

Constituants	Silva et al. (2020) ¹	Ozturk et al.(2018) ²	Paz et al. (2017) ³	Salzano et al., (2020) ⁴	Seth and Bajwa (2015) ⁵
Humidité (%)	56,65	48,60	49,35	-	49.21
Matière grasse (%)	22,75	22,50	42,44	23,05	26.17
Protéines (%)	17,54	24,50	25,70	13,5	22.32
Cendres (%)	1,33	-	2,64	1,4	4.51
Sel (%)	-	1,00	-	0,9	-
pH	5,60	5,23	5,42	-	-

¹ Brésil – Fromage produit avec du lait de bufflonne ;

² États-Unis – Fromage fabriqué avec du lait de vache ;

³ Argentine – Fromage produit avec du lait de chèvre ;

⁴ Italie – Fromage produit avec du lait de bufflonne ;

⁵ Inde– Fromage produit par acidification directe ;

Cette étude expérimentale a été réalisée au laboratoire de microbiologie alimentaire de l'Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa. Elle s'inscrit dans le cadre de la mise au point d'un protocole de fabrication de mozzarella, en vue d'obtenir un produit répondant à des exigences de qualité élevées. Le travail a visé notamment à optimiser certains paramètres technologiques afin d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du fromage.

Les différentes étapes expérimentales décrites ci-dessous concernent la fabrication de la mozzarella, la préparation des saumures de conservation ainsi que l'ensemble des analyses réalisées pour évaluer la qualité globale du produit fini.

I. Collecte du lait

Le lait cru de vache utilisé est un mélange de la traite de 3 vaches, qui provient du village Tizi Alouane commune Ait R'zine Ighil Ali.

Avant sa transformation, le lait est utilisé à l'état cru, sans subir de traitement thermique, afin de préserver ses caractéristiques naturelles. Il est généralement traité quelques heures seulement après la traite, ce qui permet de garantir sa fraîcheur. Afin d'évaluer la qualité globale des matières premières et du produit fini, des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur le lait. Le fromage, quant à lui, a été soumis à des analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles

II. Analyses physico-chimiques

II.1 Analyses physico-chimiques du lait cru

II.1.1 Détermination du potentiel en hydrogène « pH » (ISO 17025)

➤ Principe

Le pH donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu, il est déterminé à partir de la quantité d'ion d'hydrogènes libres (H^+) contenue dans une solution.

➤ Mode opératoire

- Avant d'effectuer la mesure, il faut d'abord étalonner le pH-mètre avec deux solutions tampon, l'une de pH=7 et l'autre de pH=4 ; Une fois le pH-mètre étalonné il peut être utilisé pour la mesure du pH de l'échantillon à 20°C ;
- Pour mesurer : plonger les sondes de pH et T° dans l'échantillon du lait cru, attendre pour que la valeur soit stable. Une fois stabilisée, on note la valeur affichée sur le pH-mètre.

II.1.2 Détermination de l'acidité titrable (NF V04-206)

➤ Principe

La teneur en acide lactique du lait dépend de sa fraîcheur. Elle augmente avec le temps ; elle s'exprime conventionnellement en degré Dornic : 1°D correspond à 0.1g d'acide lactique par litre du lait. La norme de tolérance est inférieure à 18°D.

➤ Mode opératoire

- Introduire 10 ml de lait cru dans un bécher ;
- Ajouter 03 gouttes de phénolphtaléine ;
- Titrer avec la solution d'hydroxyde de sodium N/9 jusqu'au début de virage de la couleur au rose ;
- Noter le volume de NaOH utilisé pour le titrage.

➤ Expression des résultats

L'acidité exprimée en degré Dornic est donnée par la relation suivante :

$$\text{Acidité (D°)} = V.10$$

V : la chute de burette ou volume de la soude.

II.1.3 Détermination de la densité

➤ Principe

La méthode pour mesurer la densité est basée sur la détermination de la masse de l'échantillon testé qui est placé dans une petite coupe (pycnomètre) d'un volume connu à une température donnée. Pour calculer la densité : le poids obtenu est divisé par le volume du liquide testé (Martelli et al., 1962).

➤ Mode opératoire

Le pycnomètre est pesé vide (m_0) puis rempli avec du lait cru jusqu'au repère, et pesé une seconde fois (m_1)

➤ Expression des résultats

La densité est calculée selon l'équation suivante :

$$D \text{ (g/mL)} = ((m_1 - m_0) / V) / \rho_{\text{eau}}$$

m_0 : poids de pycnomètre vide.

m_1 : poids de pycnomètre après remplissage.

V : volume utilisé.

ρ_{eau} : la masse volumique de l'eau

III. Préparation du fromage

Trois échantillons de mozzarella ont été préparés et immergés dans des solutions de conservation à base de lactosérum. Le premier échantillon a été placé dans un lactosérum (300ml) contenant de l'ail en poudre, de l'origan en poudre et du sel (A.OR) (0,1 /0,05/ 3) g ; le deuxième dans un lactosérum enrichi en ail en poudre, poivre blanc en poudre et du sel (A.PB) (0,1/0,05/3) g ; tandis que le troisième, utilisé comme témoin, a été conservé dans un lactosérum contenant uniquement 3g de sel (MZ).

Les trois fromages ont été stockés pendant cinq jours à une température constante de 4 °C. À l'issue de cette période, des analyses ont été effectuées sur les échantillons de mozzarella afin d'évaluer leur qualité, en tenant compte de différents paramètres physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles.

III.1 Diagramme de fabrication de fromage mozzarella

Les étapes de préparation du fromage mozzarella sont présentées sur la figure 04 (Annexe 3) :

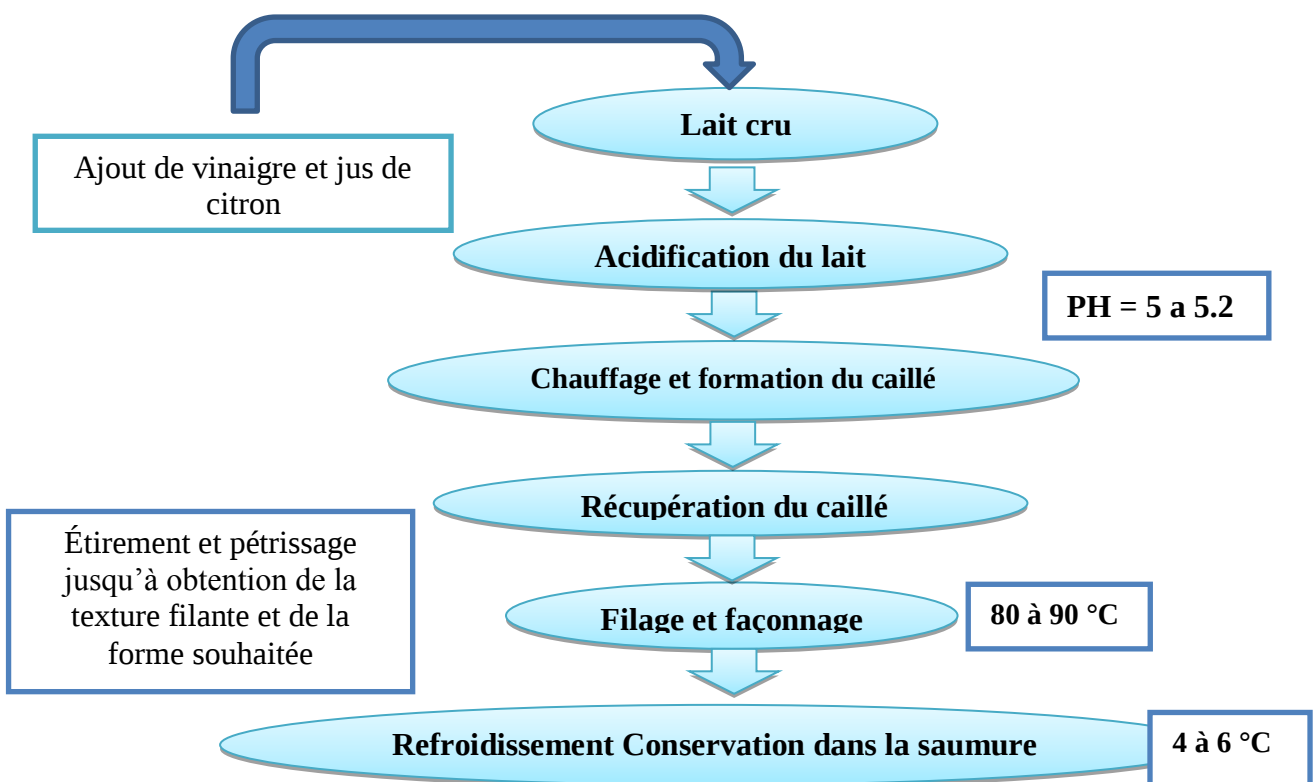


Figure 4: Diagramme de fabrication du fromage mozzarella par acidification (Yang Zhijie *et al.*, 2025).

IV. Analyses physicochimiques effectuées pour le fromage

IV.1. Détermination du potentiel en hydrogène

Pour le fromage, 1 g d'échantillon est homogénéisé dans 9 ml d'eau distillée. Après agitation, la mesure du pH est réalisée selon le même principe que pour le lait.

IV.2. Mesure de l'acidité titrable

➤ Principe

L'acidité titrable représente la somme des acides minéraux et organiques présents dans le produit. Elle est exprimée en fonction de l'acide dominant. Elle est déterminée par titration avec une solution d'hydroxyde de sodium (0,1N) en présence de la phénolphtaléine comme indicateur coloré (Shori et Baba, 2013).

➤ Mode opératoire

Pour le fromage, une dilution est d'abord effectuée en ajoutant 9 mL d'eau distillée à 1g de fromage selon le même principe que pour le lait. L'acidité titrable (AT%) est calculée selon la formule suivante :

$$AT(\%) = V_{NaOH} \times 0.1 \times 100 \times 0,009 \times 10$$

V_{NaOH} : Volume de NaOH utilisé pour la titration (mL).

0.1 : Normalité de NaOH (N).

10 : Facteur de dilution (10^{-1}) dans le cas du fromage.

100 : Pourcentage.

0,009 : Coefficient correspondant à l'acide lactique.

IV.3. Dosage des protéines (JORA, 2014)

➤ Principe

La méthode utilisée pour le dosage des protéines brutes est celle de Kjeldahl. Elle est basée sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique et en présence d'un catalyseur (Lecoq, 1965).

➤ Mode opératoire

Pour déterminer la quantité de protéines contenues dans l'échantillon de fromage, nous avons procédé au dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl. Cette dernière s'effectue en trois phases : la digestion (minéralisation), la distillation et la titration (Kjeldahl, 1883).

- **Minéralisation**

Dans un matras de Kjeldahl, 0,1 g d'un échantillon broyé, 2 g d'un catalyseur (sélénium, sulfate de potassium et sulfate de cuivre) et 20 mL de H₂SO₄ concentré (97 %) sont introduits. Ce mélange présente une coloration noire. Ensuite, le matras est chauffé jusqu'à ce que la couleur noire se transforme en une couleur limpide, à ce moment-là l'azote organique est transformé en azote minéral. Après refroidissement, l'échantillon minéralisé est transféré dans une fiole dont le volume est ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée.

- **Distillation**

Elle se fait dans une unité de distillation **BÜCHI Distillation Unit B-324**. Dans un matras, 20 mL du contenu de la fiole, et 40 mL de la soude (40%) ont été introduits. En parallèle, 40mL d'acide borique (H₃BO₃) (4%) avec quelques gouttes d'indicateurs colorés (rouge de méthylène et bleu de méthylène) sont ajoutés. La distillation s'arrête au bout de 2,40 minutes à compter du début d'ébullition.

- **Titration**

Puisque l'acide borique a été utilisé comme solution de récupération, l'excès des anions de borate est alors titré avec l'acide chlorhydrique (0,1N) jusqu'au changement de la coloration du vert au rose-violet. L'azote total est calculé suivant la formule présentée ci-après :

$$N\% = \frac{V1 - V0 \times NHCl \times 14.01}{m} \times 100$$

N% : Pourcentage d'azote.

V1 : Volume de l'acide sulfurique concentré (mL).

V0 : Volume de l'acide sulfurique concentré utilisé pour le témoin (mL).

m : La masse de la prise d'essai (g).

14.01 : La masse molaire de l'azote

Le taux d'azote total est converti en taux de protéines brutes selon la formule suivante :

$$\text{Taux de protéines (\%)} = N \text{ total (\%)} \times 6,38$$

IV.4. Détermination de la teneur en Matière grasse par la méthode GERBER - ISO 1211

➤ Principe

La méthode consiste à dissoudre les composants du fromage à l'aide d'acide sulfurique ou d'un mélange d'acides, afin de libérer la matière grasse. Celle-ci est ensuite séparée par centrifugation dans un butyromètre. L'addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylque favorise l'efficacité de cette séparation.

➤ Mode opératoire

Dans des godets, 3 g de fromage de chaque échantillon ont été pesés. Les godets ont été placés dans le butyromètre, l'acide sulfurique (70 %) a été ajouté, le tout est incubé dans un bain marie pendant 60 minutes, pour faciliter la dissolution. Après incubation, 1 mL d'alcool isao-amylque a été additionné et le mélange a été centrifugé pendant 10 minutes à 5000 tr/min.

La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre en pourcentage, et la moyenne des deux essais a été calculée.

X' : position supérieure X : position inférieure

$X' - X$ représente le taux de matière grasse dans 100g de fromage

IV.5. Détermination du taux d'humidité

➤ Principe

Un dessiccateur à infrarouge est utilisé pour mesurer le taux d'humidité. Cet instrument produit des radiations infrarouges facilitant l'évaporation de l'eau présente dans l'échantillon. L'échantillon est pesé en utilisant une balance intégrée (AFNOR, 1985).

➤ Mode opératoire

Mettre 1g d'échantillon à examiner dans une coupelle à l'intérieur d'un dessiccateur, puis étaler l'échantillon uniformément à la surface et activer le dessiccateur. Le niveau d'humidité s'affiche sur l'écran du dessiccateur, exprimé en pourcentage (AFNOR, 1985).

IV.6. Détermination de la teneur en cendres (ISO 6884, 2008).

➤ Principe

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 550°C jusqu'à combustion complète de la matière organique

➤ Mode Opératoire

Un creuset vide est d'abord pesé à l'aide d'une balance de précision, puis 5 g de l'échantillon sont introduits et le creuset contenant la prise d'essai est à nouveau pesé. L'ensemble est placé dans un four réglé à 550 °C pendant quatre heures. Après calcination, les creusets sont transférés dans un dessiccateur pour refroidissement, puis pesés une dernière fois avec une précision de 0,001 g. La teneur en cendres est calculée à partir de ces pesées, exprimée avec une exactitude de 0,01 % et rapportée à la matière sèche.

$$T_c (\%) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

- Tc : Taux de cendres (%)
- P0 : Poids du creuset vide
- P1 : Poids du creuset + prise d'essai
- P2 : Poids du creuset + résidu calciné

IV.7. Détermination de la teneur en chlorure de sodium (NaCl) par la méthode de Mohr

Cette méthode concerne les produits neutres et légèrement basiques. Elle s'applique au beurre et au fromage.

➤ Principe

Le titrage colorimétrique est basé sur la précipitation différentielle de deux anions : Cl⁻ et CrO₄⁻² par ajout d'une solution de nitrate d'argent (AgNO₃) en milieu neutre ou alcalin. L'ajout d'un indicateur coloré, est nécessaire (Nielsen et al., 2010).

➤ Mode Opératoire

La détermination de la teneur en chlorures dans le fromage s'effectue de la manière suivante :

01g de fromage râpé est pesé et placé dans un bécher, puis 9 mL d'eau distillée y sont ajoutés pour assurer une bonne dispersion de l'échantillon. On incorpore ensuite 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 % en tant qu'indicateur. La solution est titrée par ajout de nitrate d'argent (AgNO₃) à 0,1 N, goutte à goutte, jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge brique, signe de la fin de la réaction. La teneur en sel est calculée de la manière suivante :

$$\text{Pourcentage de sel} = V_0 \text{ AgNO}_3 \times 0,585 / m$$

- Ts : Teneur en sel exprimée en %
- N : Normalité d'AgNO₃ (0.1N)
- V (ml) : Volume en mL d'AgNO₃ utilisé pour le titrage Eq.g
- (NaCl) : Equivalent grammes de NaCl égal à 58.5
- m: Prise d'essai en g.

IV.8. Dosage des sucres par la méthode colorimétrique à l'anthrone

➤ Principe

Le dosage des sucres repose sur la méthode colorimétrique à l'anthrone. Ce réactif interagit avec différents types de glucides, notamment les oses, les disaccharides et les

polysaccharides. Dissous dans un milieu sulfurique concentré, l'anthrone, de couleur jaune pâle, développe en présence de sucres une coloration allant du vert au bleu-vert, dont l'intensité varie selon la teneur en glucides (**Bachelier et Gavinelli, 1996**).

Avant de procéder au dosage par la méthode à l'anthrone, une étape de déprotéinisation de l'échantillon est nécessaire à l'aide de la méthode de Carrez. Cette préparation permet d'éliminer les protéines interférentes. Le principe du dosage repose ensuite sur l'ajout du réactif d'anthrone à l'extrait obtenu. En présence d'hydrates de carbone et sous l'effet de la chaleur, une coloration verte se développe. Les densités optiques des solutions colorées sont alors lues à une longueur d'onde de 625 nm (**Yemm et Willis, 1954 ; Richards, 1959**).

➤ Mode opératoire

A 0,5g d'échantillon écrasé dans un bécher, 0,5 ml de chaque réactif de Carrez (I et II) ont été ajoutés, on ajuste à 25 ml dans une fiole jaugée avec l'eau distillée, le mélange est mis au repos avant sa filtration. Après filtration et dilution au 1/10, 2 ml d'anthrone (0,2%) sont ajoutés à 1 ml de la dilution. Ensuite, le mélange a été chauffé au bain-marie à 100°C pendant 10min, avant de le refroidir. La lecture a été effectuée à 625 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (**Shields et Burnett, 1960**).

Pour déterminer le taux de sucres, une courbe d'étalonnage avec du glucose doit être tracée. Les résultats sont exprimés en équivalent mg de glucose par gramme d'échantillon.

IV.9. Dosage des composés phénoliques et activité antioxydants

Chaque échantillon de fromage (2.5g) a été homogénéisé avec 15ml de l'éthanol 80. Les échantillons obtenus ont été centrifugés à 4000tr/ min pendant 10min, le surnageant a été récupéré et analysé. (**Pereira et al., 2013**)

IV.9.1. Dosage des polyphénols

➤ Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), se réduit en présence de polyphénols pour former un mélange d'oxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}). La teinte bleue générée est proportionnelle à la concentration de composés phénoliques dans le milieu réactionnel (**Lapornik et al., 2005**).

➤ Mode opératoire

Le dosage des composés phénoliques totaux a été réalisé en utilisant la méthode colorimétrique au Folin-Ciocalteu. Un volume de 200 μ L d'extrait a été mélangé avec 1 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (0,1N). Après un temps de repos de 5 minutes à température ambiante, 800 μ L d'une solution de carbonate de sodium à 7,5 % ont été ajoutés au mélange. L'ensemble a ensuite été incubé à 50 °C pendant 5 minutes. Après refroidissement, l'absorbance a été mesurée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant un blanc comme référence (**Škerget *et al.*, 2005**).

La détermination des concentrations de phénols totaux solubles se fait en utilisant une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique comme référence (annexe II). Les résultats sont exprimés en mg Éq AG pour 100 g de l'échantillon.

IV.9.2. Dosage des flavonoïdes

➤ Principe

Le dosage des flavonoïdes repose sur la formation d'un complexe de couleur jaune résultant de la chélation de l'ion Al^{3+} . Cette réaction se produit entre le chlorure d'aluminium ($AlCl_3$) et les flavonoïdes possédant un groupe hydroxyle libre ($-OH$). L'intensité de la coloration jaune obtenue est proportionnelle à la teneur en flavonoïdes présente dans l'extrait (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

➤ Mode opératoire

La méthode de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) citée par **Djeridane *et al.* (2006)** est utilisée pour quantifier les flavonoïdes totaux dans les extraits de chaque échantillon.

Un volume de 1 mL d'extrait est mélangé avec le même volume de la solution de trichlorure d'aluminium à 2%, l'ensemble est agité à l'aide d'un vortex puis incubé à l'abri de la lumière à température ambiante pendant 10 minutes, après incubation, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 430 nm contre un blanc.

Les résultats sont exprimés en équivalent milligramme de quercétine (annexe II.) par gramme (mg EQ/100g).

IV.9.3. Evaluation de l'activité antioxydants par le test de DPPH

➤ Principe

Le 1,1-Diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH•) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517 nm. En présence de composés anti-radicalaires, le radical DPPH• est réduit et change de couleur en virant au jaune.

Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH•, qui est proportionnel au pouvoir antiradicalaire de l'échantillon (Chaabi, 2008 ; Djeridane, et al., 2005)



Figure 5: Les formes oxydée et réduite du DPPH (Molyneux, 2004)

➤ Mode opératoire

Dans des tubes à essai 1 mL de solution de DPPH (60 µM dans éthanol) sont introduits, puis 1ml d'extrait aqueux de chaque échantillon a été ajouté. Après 10 min d'incubation à l'obscurité, une lecture des absorbances a été faite à 517 nm (Apostolidis et al., 2007). Le pourcentage d'inhibition est calculé suivant la formule ci-dessous :

$$\text{DPPH}(\%) = [(\text{Abs}_{\text{contrôle}} / \text{Abs}_{\text{échantillon}}) / \text{Abs}_{\text{contrôle}}] \times 100$$

Où $\text{Abs}_{\text{contrôle}}$ et $\text{Abs}_{\text{échantillon}}$ sont les absorbances du contrôle et de l'échantillon respectivement.

V. Analyses microbiologiques

Des analyses microbiologiques ont été réalisées exclusivement sur le fromage, dans le but de vérifier l'innocuité du produit fini.

V.1.Préparation de la solution mère et des dilutions décimales

Pour chaque échantillon, 1g de fromage a été prélevé puis dilué de manière aseptique dans 9 ml d'eau physiologique stérile, afin d'obtenir la solution mère. Des dilutions décimales successives ont ensuite été réalisées, de 10^{-6} à 10^{-8} , conformément à la méthode décrite par Cambaztepe et al. (2009) avant l'ensemencement sur milieux de culture.

V.2. Recherche de la flore totale mésophile

Le dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT), par comptage des colonies se fait par la méthode **NF V 08-051**, il est généralement réalisé en milieu solide GN.

➤ Mode opératoire

Les analyses microbiologiques sur gélose GN ont été réalisées selon le protocole suivant. À partir des dilutions décimales 10^{-3} et 10^{-4} , 1 mL de chaque dilution est prélevé de façon aseptique et introduit dans une boîte de Pétri stérile. Dans un délai maximal de 15 minutes après la répartition de l'inoculum, on verse environ 15 mL de gélose GN préalablement fondue puis refroidie à 47 °C. Afin d'homogénéiser l'inoculum et le milieu, la boîte est doucement inclinée en effectuant des mouvements circulaires et des allers-retours en forme de « 8 » sur une surface plane et fraîche. La gélose est laissée à prendre à température ambiante, puis les boîtes sont incubées, couvercles vers le bas, à 30 °C pendant 24 à 48 heures. Des colonies seront formées et chaque colonie est supposée être le résultat du développement d'une bactérie. On parle alors d'unité formant colonies (UFC).

V.3. Dénombrement des Entérobactéries ISO : 16654

➤ Mode opératoire

Un millilitre de chacune des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} est prélevé à l'aide d'une pipette Pasteur et déposé dans une boîte de Pétri stérile. On y coule ensuite la première couche de gélose VRBG, puis on homogénéise l'inoculum en réalisant des mouvements circulaires en « 8 ». Après solidification de cette couche, une seconde couche de VRBG est versée et laissée à durcir. Parallèlement, un témoin constitué uniquement de gélose VRBG est préparé. Enfin, toutes les boîtes sont incubées à 44 °C pendant 24 heures. Un résultat positif se traduit par la présence de colonies roses.

V.3. Recherche de *Staphylococcus aureus* ISO : 6888-3

Le dénombrement est effectué sur milieu Chapman par étalement en surface de 0,1ml de chaque dilution. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 h. Les boîtes de Chapman ainsiensemencées sont incubées à 37 °C pendant 24 à 48 h. Repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisse, brillantes, pigmentées en jaune.

V.4. Recherche des salmonelles

La recherche de Salmonella a été réalisée en deux étapes : Enrichissement puis l'isolement (**Petransxiene et Lapied, 1981**).

➤ Mode opératoire

- **Pré-enrichissement**

Introduire 25 ml de lait dans 225 ml d'eau peptonée tamponnée préalablement stérilisée. La préparation est homogénéisée puis incubée à 37°C pendant 48 heures.

- **Enrichissement**

Introduire 1 ml du liquide pré-enrichi dans 9 ml de bouillon rappaport vassiliadys. Incuber 24 heures à 37°C.

- **Isolement**

A partir des cultures obtenues, ensemencement (0,1ml) du milieu sélectif solide XLD.

Incubation du milieu gélosé à 42°C pendant 24 heures

➤ Lecture

Les Salmonelles se présentent sous forme des colonies bleues vertes au centre noir sur gélose XLD.

VI. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle, également connue sous le nom de métrologie sensorielle, regroupe l'ensemble des méthodes et outils permettant d'évaluer les propriétés organoleptiques d'un produit. Ces propriétés font appel aux cinq sens humains : le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe. Cette discipline permet de décrire et de quantifier de façon rigoureuse et méthodique les perceptions sensorielles humaines (**Lefebvre et Bassereau, 2003**).

Dans le but d'évaluer les caractéristiques organoleptiques du fromage de manière précise, une analyse sensorielle a été réalisée par un jury expert composé de 10 dégustateurs. Trois échantillons différents, codés A (Mozzarella nature), B (Mozzarella ail et Origan) et C (Mozzarella ail et poivron blanc), ont été soumis à l'appréciation des membres du panel. Chaque dégustateur a reçu les échantillons accompagnés d'une fiche d'évaluation sensorielle (**voir annexes 1**), permettant une analyse rigoureuse des qualités perçues.

II. Résultats des analyses physico-chimiques

II.1. Analyses physico-chimiques du lait de vache

Les résultats du pH, acidité et densité du lait sont représentés dans le tableau IV :

Tableau IV: Résultats d'analyses physico-chimiques du lait de vache.

Analyses	Valeur	Norme (N.A)
pH (A 20 C°)	6.76 ±0.03	6.6 – 6.8
Acidité (D)	17.66 ±0.5	14 – 18
Densité	1.031±0.001	1.030– 1.034

Chaque valeur représente une moyenne ± un écart type

N.A : Norme Algérienne du JORA N°69 du 27 octobre 1993.

➤ pH

D'après les résultats obtenus, le lait présente un pH moyen de 6.76 ± 0.03 ce qui se situe dans l'intervalle réglementaire de 6,6 à 6,8, défini par le Journal Officiel de la République Algérienne (**JORA, 1993**). Cette valeur témoigne d'un bon état initial du lait, sans altération notable, ce qui est favorable à sa transformation fromagère.

Le pH du lait frais est généralement compris entre 6.6 et 6.8. Contrairement à l'acidité titrable, le pH ne reflète pas la concentration des composés acides, mais plutôt celle des ions hydrogène (H^+) en solution. Il constitue un indicateur important de la fraîcheur du lait notamment en ce qui concerne sa stabilité. En effet le pH joue un rôle essentiel dans la solubilité des protéines influençant ainsi leur comportement en solution (**Vignola et al., 2002**). Les valeurs de pH obtenues sont également proches de celles rapportées par **El Marnissi et al. (2013)**, qui a trouvé une moyenne de 6,6 dans le lait cru.

Selon **Albenzio et Santillo, (2011)**, le pH du lait, généralement autour de 6,66, est principalement déterminé par la stabilité de la caséine. Il serait également influencé par des facteurs tels que la période de sevrage, l'alimentation, la race de l'animal, ainsi que par la présence de bulles de dioxyde de carbone générées lors de la traite, du refroidissement et du transport du lait.

➤ Acidité titrable

Elle désigne la quantité du lactate présent dans un échantillon de lait. L'acidité titrable de l'échantillon de lait cru a été évaluée à travers trois essais répétés, donnant une moyenne de $17.66 \pm 0.5^\circ D$. Cette valeur se situe dans les limites fixées par la norme

AFNOR (1985) et FAO (2007) qui est entre 15°D et 18°D, indiquant une acidité acceptable et conforme aux exigences réglementaires. Cette acidité titrable est également conforme à l'arrêté n° 069 du 27 octobre 1993 publié au **Journal Officiel de la République Algérienne (2014)**, qui fixe une limite maximale d'acidité à 1,8 g d'acide lactique par litre, soit 18 °D.

Les valeurs obtenues sont similaires à celles rapportées par **Labioui et al. (2009)** au Maroc, avec une acidité moyenne de 16,75 °D.

➤ Densité

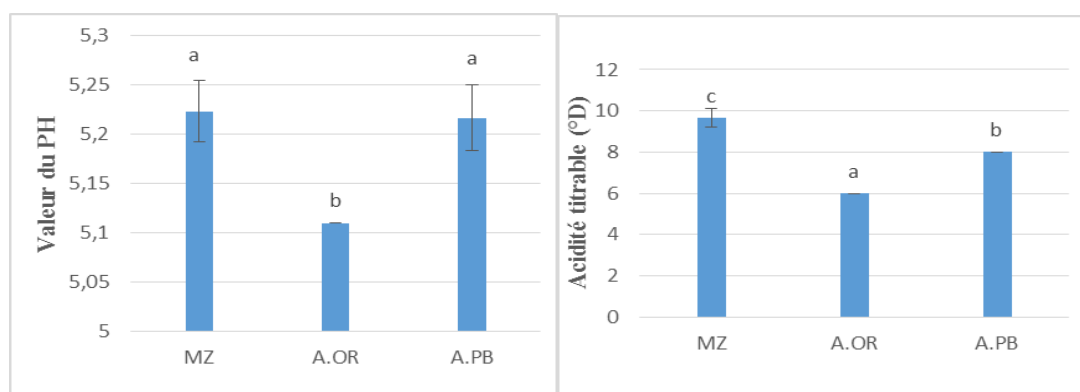
La densité moyenne du lait analysé est de $1.031 \pm 0.001 \text{ g/cm}^3$, une valeur conforme aux normes de **JORA (2014)**, qui la situe entre 1,030 et 1,034 g/cm³ pour des laits crus de qualité. Cette adéquation confirme à la fois l'intégrité de l'échantillon (absence de mouillage) et sa richesse normale en matière sèche.

Nos résultats sont comparables à ceux d'**Aggad, (2009)** pour les laits crus de l'Ouest algérien et se rapprochent également des données rapportées par **Taybi et al. (2014)**.

II.2. Résultats des analyses physicochimiques effectuées pour le fromage

II.2.1. pH et acidité titrable

Le pH et l'acidité des échantillons de mozzarella varient selon la composition. Le fromage MZ nature présente l'acidité la plus élevée ($9,67 \pm 0,4 \text{ °D}$) avec un pH de ($5,22 \pm 0,03$). Les échantillons A.OR ($6,00 \text{ °D}$; pH 5,11) et A.PB ($8,00 \text{ °D}$; pH $5,21 \pm 0,03$) présentent des acidités plus faibles et des pH légèrement plus bas (figure 6).



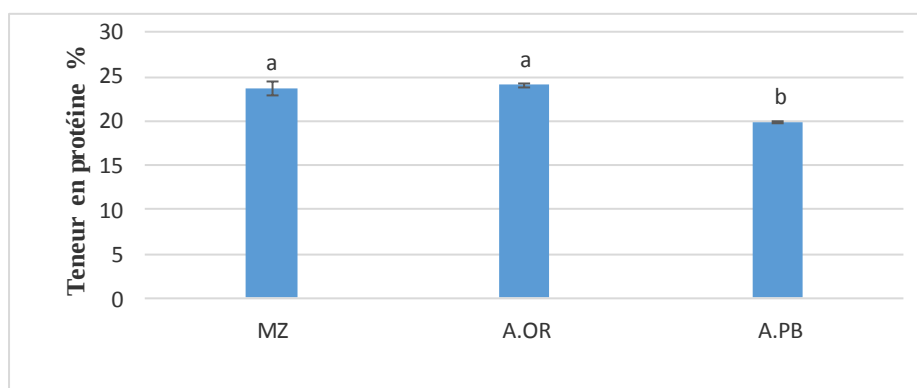
Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type
Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 6: Résultats d'analyses de PH et acidité

Cette tendance peut être liée à l'effet inhibiteur possible des composés bioactifs des épices en poudre, qui réduisent l'activité des bactéries lactiques responsables de l'acidification. **Zantar et al, (2013)** ont montré que certains extraits végétaux peuvent entraîner une hausse du pH en inhibant la flore acidifiante. Les résultats obtenus restent proches de ceux rapportés par **Mijan et al. (2010)**, avec un pH moyen de $5,0 \pm 0,1$ et une acidité de $7,7^\circ\text{D}$ dans la mozzarella traditionnelle.

II.2.2. Dosage des protéines

La teneur en protéines varie selon les échantillons, avec $24,04 \pm 0,29\%$ pour A.OR, $23,67 \pm 0,75\%$ pour MZ nature, et $19,89 \pm 0,09\%$ pour A.PB (Figure 7). Ces valeurs se situent dans la plage rapportée par **Mijan et al, (2010)**, ($20,5\text{--}23,5\%$) pour des mozzarellas artisanales, mais restent inférieures à celles de **Guinee et al, (2000)**, qui ont trouvé 27% dans des productions industrielles.



Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type

Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 7: Résultats du dosage des protéines

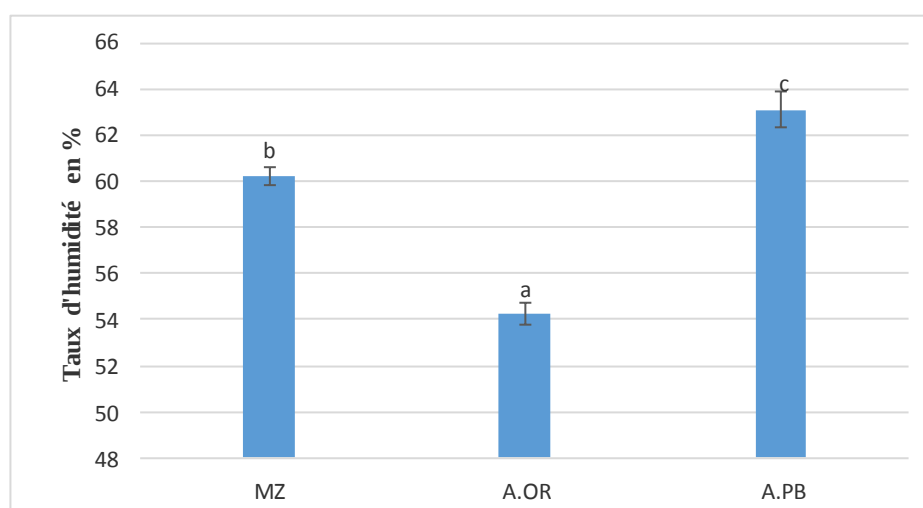
L'élévation observée dans A.OR pourrait être liée à l'effet stabilisant des composés phénoliques de l'origan et l'ail, favorisant la rétention des protéines dans la matrice. À l'inverse, la teneur plus faible dans A.PB pourrait résulter d'une structure du caillé plus ouverte sous l'effet du poivre blanc et ail, facilitant la perte de protéines solubles dans la saumure. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Dharaiya et al, (2021)**, qui ont montré que la composition finale en protéines dépend de l'interaction entre les additifs, le pH, l'humidité et la texture du fromage.

II.2.3. Teneur en Matière grasse

Les teneurs en matière grasse varient entre les échantillons : 13 % pour la MZ nature, 12,5 % pour celle à A.OR, et 11,5 % pour celle A.PB. Ces écarts peuvent s'expliquer par une perte partielle de matière grasse lors du filage dans le lactosérum chaud, notamment si la    te présente une texture moins cohésive (**Paz, Noelia Fernanda, et al, 2017**). La qualité du lait utilisé, non enrichi en crème, pourrait également justifier ces valeurs modérées. Nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Karuna et Bajwa. (2015)**, **Andreatta et al. (2009)** et **El-Alfy et al. (2008)**, qui ont observé respectivement 26,17 %, 28,60 % et 21,70 % de matière grasse dans des mozzarellas élaborées par des procédés industriels.

II.2.4. Détermination du taux d'humidité

L'analyse de l'humidité des trois échantillons MZ nature, A.PB, et A.ORG ont montré des moyennes significativement différentes de 60,22 $\pm$ 0.35%, 54,25 $\pm$ 0.44% et 63,11 $\pm$ 0.75%, respectivement (Figure 8). Ces résultats sont supérieurs à ceux rapportés par **Dharaiya et al, (2021)**, qui ont observé une humidité de 53,65 % pour la mozzarella naturelle, et proches de ceux rapportés par **Breene et al, (1964)** avec une teneur de 57.40%. Les écarts relevés peuvent s'expliquer par les différences de formulation, les ingrédients ajoutés et les méthodes artisanales de fabrication.

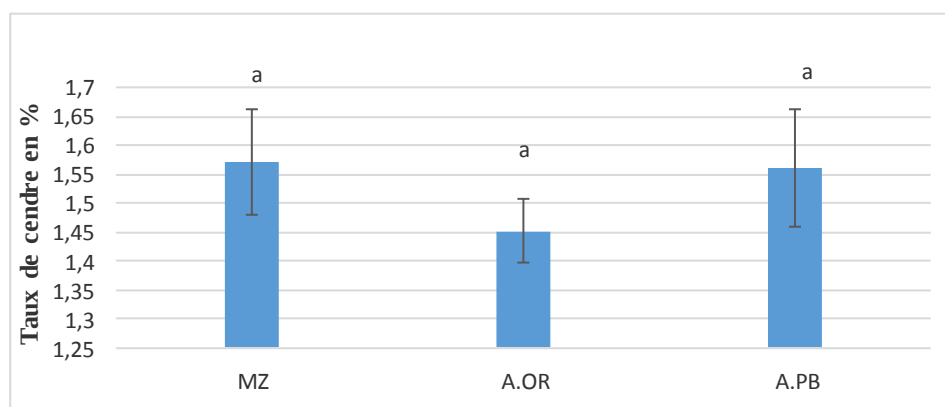


Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type
Les valeurs portant la même lettre ne montre aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 8: Résultats du taux d'humidité

II.2.5. Taux de cendres

Les taux de cendres mesurés pour 3 échantillons sont représentés dans la figure 9



Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type

Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 9: Résultats de la teneur en cendres

La teneur en cendre, indicateur de la charge minérale du fromage, reste globalement modérée dans les trois échantillons, dont aucune différence significative n'est observée. Elle atteint $1,57 \pm 0,09$ % dans la mozzarella témoin, $1,56 \pm 0,1$ % dans celle à A.PB, et diminue légèrement à $1,45 \pm 0,05$ % dans l'échantillon A.OR

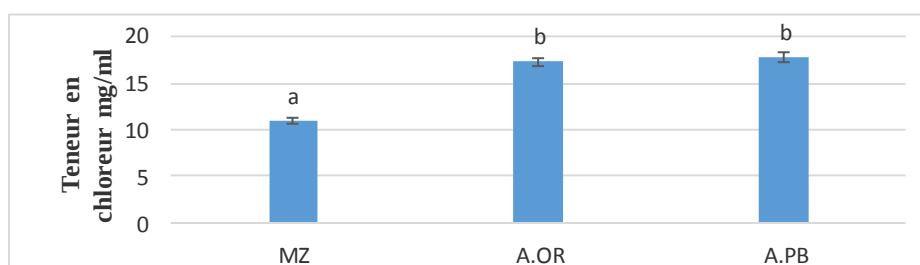
Cette baisse peut s'expliquer par une possible interaction entre certains composés phénoliques de l'origan et ail et les minéraux, ou par une perte partielle de ces derniers dans la saumure. Selon Ong et al. (2014) et Guinee et al. (2002), un pH acide favorise la solubilisation du phosphate de calcium micellaire, entraînant une perte de calcium dans le lactosérum. Cette explication justifie les teneurs en cendres modérées observées dans nos échantillons.

Selon Dharaia et al. (2021), les fromages analogues enrichis présentent généralement une teneur en cendre plus élevée (jusqu'à 3,78 %), en raison de l'incorporation d'ingrédients tels que des sels émulsifiants, du chlorure de calcium et d'autres additifs.   l'inverse, la mozzarella artisanale obtenue par acidification directe, comme dans notre étude, subit une déminéralisation partielle pendant la fabrication Dave et al. (2003), ce qui explique les valeurs plus faibles observées. Nos résultats se rapprochent ainsi de ceux rapportés pour des fromages naturels, dont la teneur en cendre reste souvent inférieure à 2,66 % (Dharaia et al., 2021).

Les fromages produits par acidification directe à l'aide d'acide citrique ou malique présentent des pertes importantes en calcium dans le lactosérum (supérieures à 80 %). Ce paramètre technologique influence ainsi à la fois les propriétés fonctionnelles du fromage et la composition du lactosérum (**Gernigon et al., 2010**).

II.2.6. Teneur en chlorure de sodium (NaCl)

Le dosage en chlorures montre une teneur significativement plus élevée dans les mozzarellas aromatisées (17,27–17,75 mg/ml) comparées à l'échantillon nature (10,89 ± 0,33 mg/ml) (Figure 10).



Chaque valeur représente une moyenne ± un écart type
Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

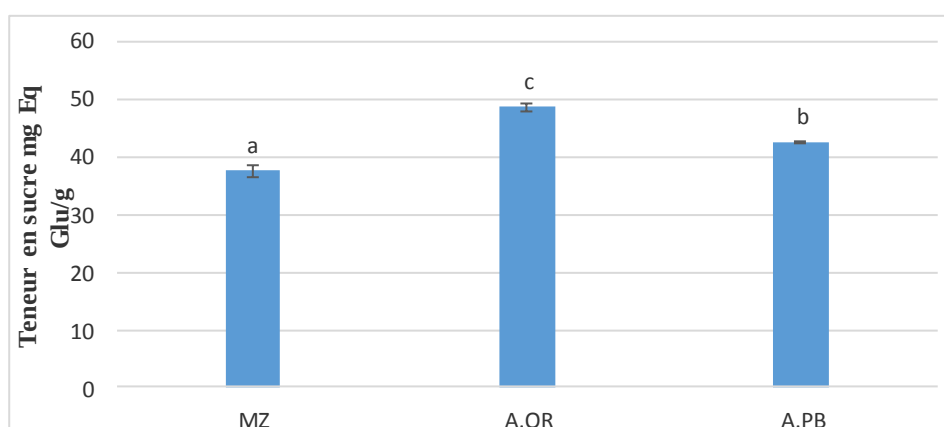
Figure 10: Résultats de la teneur en chlorure

Cette différence peut être liée à une meilleure absorption du sel, potentiellement favorisée par les interactions entre les composés bioactifs des épices et la matrice protéique. Selon **Lucey et al. (2003)**, les forces moléculaires entre les caséines influencent la structure du fromage. L'ajout d'épices pourrait avoir modifié ces interactions, augmentant la porosité de la pâte. **Parada et Aguilera. (2007)** et **Gierczynski et al., (2011)** ont montré que les composés aromatiques peuvent interagir avec la matrice alimentaire, influençant la libération et la diffusion de certains composants. **Moro et al. (2015)** ont également établi que la perméabilité du gel fromager détermine l'absorption des molécules, ce qui appuie l'hypothèse que la structure modifiée par les épices a favorisé la pénétration des ions chlorure.

Le sel est généralement ajouté pour contrôler la croissance des bactéries lactiques et prévenir la croissance microbienne indésirable en éliminant ou en limitant la croissance des agents pathogènes d'origine alimentaire et des micro-organismes d'altération (**El-Bakry, 2012**). Selon **Fox et al. (2017)**, la vitesse d'absorption du sel augmente avec la concentration en saumure.

II.2.6. Dosage des sucres par la méthode à l'anthrone

Les résultats montrent que la teneur en sucres est significativement plus élevée dans la mozzarella à l'ail et origan ($48,62 \pm 0,67$ mg/g), suivie de celle à l'ail et poivre blanc ($42,55 \pm 0,12$ mg/g), tandis que la mozzarella nature présente la valeur la plus faible ($37,60 \pm 0,98$ mg/g) (Figure 11). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence. Peut-être que l'utilisation d'un procédé de coagulation acide sans ferments, entraîne l'absence de fermentation lactique et donc une rétention plus importante du lactose résiduel dans la matrice fromagère. Peut-être aussi que la composition du lait et le pH de fabrication influencent cette répartition, comme le suggèrent **Swaminathan et al. (2025)**.



Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type
Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

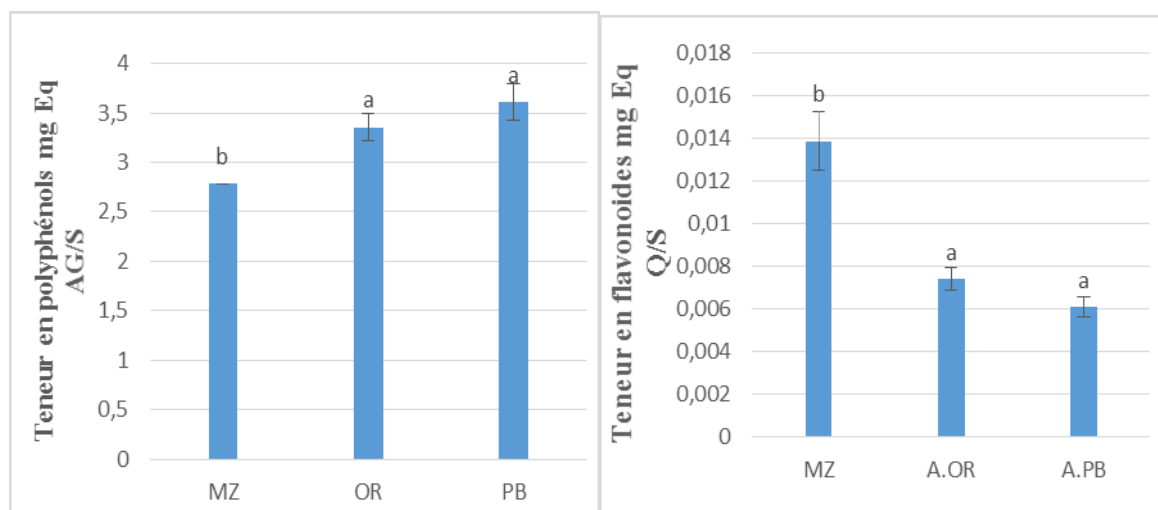
Figure 11: Résultats de dosage des sucres

De plus, l'ajout d'ingrédients aromatiques comme l'origan ou le poivre blanc et ail pourrait légèrement contribuer à l'augmentation des glucides. Enfin, les étapes de filage et d'étirage pourraient également favoriser la migration du lactose vers le lactosérum, influençant ainsi la distribution finale du sucre dans le fromage. Ces valeurs restent toutefois inférieures à celles rapportées par **Mijan et al. (2010)**, qui ont observé une teneur de $54,5 \pm 1,2$ mg/g dans une mozzarella fermentée de type classique.

II.2.7. Teneur en antioxydants

L'analyse des teneurs en composés phénoliques totaux (CPT) et en flavonoïdes dans les différents échantillons des extraits de la mozzarella a révélé des concentrations faibles et des différences peu marquées entre les formulations (Figure 12). Cette situation peut s'expliquer par plusieurs facteurs communs. Tout d'abord, la migration limitée des

composés bioactifs depuis les épices vers la matrice fromagère, en raison notamment du temps de contact réduit et de la nature dense du fromage, a probablement entravé leur libération (**Yildirim-Elikoglu, 2018**). Ensuite, des interactions entre les polyphénols ou flavonoïdes et les protéines du lait, en particulier les caséines, peuvent former des complexes peu extractibles, réduisant leur détection (**Ozdal et al., 2013**).



Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type
Les valeurs portant la même lettre ne montre aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 12: Résultats d'analyses des composés phénoliques totaux (CPT) et flavonoïdes

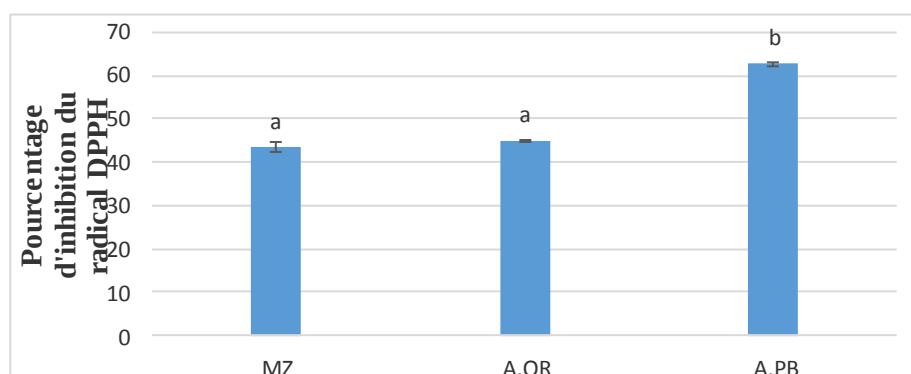
De plus, les méthodes analytiques utilisées, comme le test de Folin-Ciocalteu, sont sensibles aux interférences avec d'autres composés réducteurs naturellement présents dans le fromage, ce qui peut fausser les résultats (**Gmeiner et Seelos, 1994**). La structure de la mozzarella elle-même, riche en eau (50–60 %), favorise l'hydrolyse et l'oxydation de ces composés sensibles (**Ribereau-Gayon, 1968**).

Enfin, la stabilité limitée des flavonoïdes et polyphénols au cours du stockage, ou leur dégradation partielle, peut aussi expliquer les valeurs faibles observées (**Tresserra-Rimbau et al., 2017**). Ainsi, bien que les ingrédients ajoutés soient réputés riches en antioxydants, leur incorporation dans une matrice comme la mozzarella reste technologiquement délicate et dépend fortement de la méthode de formulation et des conditions de conservation (**Rashidinejad et al., 2013**).

II.2.8. Activités anti radicalaire (DPPH)

Le radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est couramment utilisé comme substrat pour évaluer l'action antioxydante de différentes substances. Cette méthode permet de déterminer la capacité de piégeage des radicaux libres présents dans les échantillons testés (Achat *et al.*, 2012).

L'activité antiradicalaire des extraits de mozzarella, évaluée par la méthode du radical libre DPPH, est présentée dans la figure 13. Les résultats montrent une variation de l'inhibition en fonction du type de saumure utilisée pour la conservation des fromages.



Chaque valeur représente une moyenne $\pm$ un écart type
Les histogrammes portant la même lettre ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$)

Figure 13: Résultats d'activités anti radicalaire (DPPH)

L'échantillon PB (conservé dans une saumure contenant du sel, de l'ail et du poivre blanc) a présenté la meilleure activité antiradicalaire, avec un taux d'inhibition de $62.66 \pm 0.42\%$, suivi de l'échantillon A.OR ($45.02 \pm 0.22\%$) et enfin MZ nature ($43.46 \pm 1.04\%$), qui affiche la valeur la plus faible.

Ces résultats suggèrent que l'ajout d'épices telles que le poivre blanc et l'ail a contribué à l'amélioration significative de la capacité antioxydante de la mozzarella. L'échantillon A.OR, malgré l'enrichissement en origan et ail, n'a pas montré d'amélioration par rapport à l'échantillon A.PB, ce qui pourrait s'expliquer par un transfert limité des composés actifs de l'origan et ail vers la matrice fromagère ou par une faible efficacité antioxydante dans les conditions de traitement utilisées.

Des travaux antérieurs, tels que ceux d'Apostolidis *et al.*, (2006), ont montré que l'activité antiradicalaire des fromages peut varier entre 25 % et 90 %, selon le type de fromage, les ingrédients ajoutés et les conditions de maturation. Les résultats obtenus dans

cette étude confirment ces observations, avec une activité DPPH dans une plage comparable (75–85 %), soulignant l'influence des composants ajoutés à la saumure sur les propriétés antioxydantes du fromage.

II.4. Résultats des analyses microbiologiques

En se basant sur les résultats des analyses microbiologiques présentés dans le tableau correspondant, portant sur les différents échantillons de mozzarella (témoin, ail et origan, ail et poivre blanc), nous constatons une absence totale des germes pathogènes recherchés, notamment les entérobactéries et *Salmonella*.

Tableau V: Résultats d'analyses microbiologiques du fromage mozzarella

Germes	Mz (nature)	A.PB	A.Or	Norme JORA
FTAM	1.8×10^5	1.5×10^5	1.6×10^5	/
Entérobactéries	ABS	ABS	ABS	10²UFC/ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	ABS	ABS	20	10⁴UFC/ml
Salmonelles	ABS	ABS	ABS	Absence dans 25 g

Cette absence pourrait s'expliquer, selon **Facchin et al. (2012)**, par l'efficacité du traitement thermique appliqué lors du filage (entre 80 et 90 °C), qui permet la destruction de la majorité des micro-organismes indésirables, garantissant ainsi une bonne qualité microbiologique du produit fini. Une légère présence de *Staphylococcus aureus* et de flore totale a été détectée dans certains échantillons, mais les valeurs restent inférieures aux limites réglementaires, conformément aux normes microbiologiques en vigueur (**JORA n°93, 2017**). Cette faible contamination pourrait être liée, selon **Marinheiro et al. (2015)**, à des manipulations post-traitement, telles que l'utilisation de matériel non stérile ou un contact avec des surfaces insuffisamment désinfectées. En conclusion, nos résultats indiquent que la mozzarella obtenue présente une qualité microbiologique satisfaisante, conforme aux exigences de l'arrêté interministériel du **04 octobre 2016 (JORA n°93)**.

II.5. Evaluation sensorielle

On peut considérer l'évaluation sensorielle comme un test de préférence ou d'acceptabilité **Schlich et al. (2010)**. Le test de préférence consiste à comparer plusieurs produits afin de sélectionner ou d'établir un classement basé sur la préférence du

participant. L'évaluation d'acceptabilité implique de noter chaque produit de l'étude selon une échelle donnée.

Durant cette évaluation, trois échantillons codés A, B et C, comme indiqué dans le tableau VI, ont été présentés à chaque dégustateur. Elle a été effectuée avec une évaluation d'analyse sensorielle.

Tableau VI: Codage des échantillons à déguster.

Code	Indication
A	Mozzarella nature
B	Mozzarella ail et Origan
C	Mozzarella ail et poivron blanc

L'analyse sensorielle a été évaluée par un groupe de 10 individus experts, au niveau du laboratoire d'analyse sensorielle de l'université A. Mira de Bejaia. Des critères ont été évalués selon un questionnaire présenté en notant sur une échelle d'évaluation de 1 à 5 et la préférence a été notée de 1 à 9.

Ces critères inclus : la couleur, l'odeur, l'arôme, texture, l'acidité, amertume, arrière-gout, intensité salé (Annexe I). L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel XL-STAT après traitement des données sensorielles, les tests sélectionnés pour l'interprétation sont :

- Caractérisation des produits ;
- Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) ;
- Analyse de la composante principale (ACP) ;
- La cartographie externe de préférence (PREFMAP).

II.5.1. Pouvoir discriminant par descripteur

Ce test permet de présenter les descripteurs ordonnés de celui qui a le plus fort pouvoir discriminant sur les produits à celui qui a le pouvoir discriminant le plus faible, c'est-à-dire celui qui détermine si les caractéristiques des produits A et B sont différentes ou non, en fonction des valeurs de p. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 14:

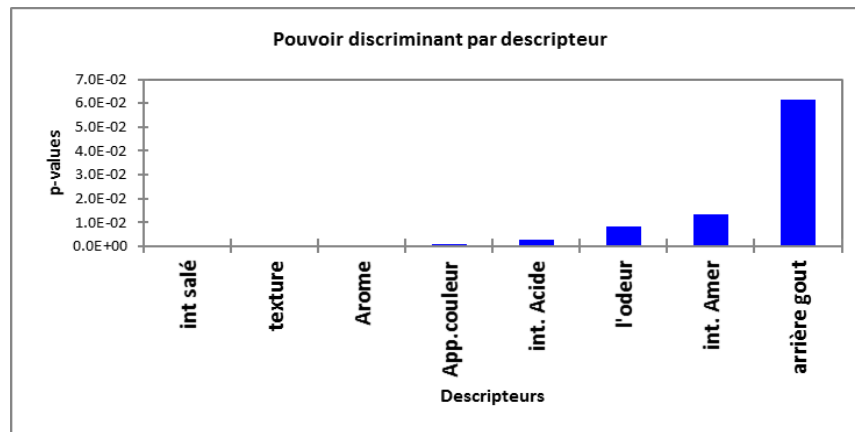


Figure 14: Pouvoir discriminant par descripteur.

Le graphique montre les valeurs numériques du pouvoir discriminant pour chaque descripteur

➤ L'intensité salée, la texture et l'arôme ont été différenciées avec de très faibles valeurs de p-values, proches de zéro. Cela signifie que les juges ont clairement perçu des différences marquées entre les trois échantillons présentés pour ces caractéristiques. Ces descripteurs présentent donc un fort pouvoir discriminant, ce qui indique que ces dimensions varient réellement d'un échantillon à l'autre et sont bien identifiées par le panel.

➤ L'apparence couleur a également montré une faible p-value, ce qui confirme que les juges ont remarqué des différences de couleur perceptibles entre les produits

➤ L'intensité acide a une p-value modérée, indiquant que les experts ont remarqué de légères différences dans ce descripteur entre les trois échantillons.

➤ En revanche, l'odeur, l'intensité amère et l'arrière-goût présentent des p-values plus élevées, notamment l'arrière-goût avec une p-value avoisinant les 6.0E-02. Ce qui indique que la différence entre les trois échantillons est très petite. Cela indique que les experts trouvent que cette caractéristique ne change pas vraiment d'un produit à un autre.

II.5.2. Coefficients des modèles

Dans ce test, un traitement de données a été effectué pour chaque combinaison descripteur et produit. Pour chaque combinaison, nous avons obtenu un coefficient, une moyenne estimée, une p-value et un intervalle de confiance sur le coefficient, ce qui permet de décrire à partir de ces résultats les caractéristiques une par une pour chaque produit par rapport à la moyenne des juges.

Trois histogrammes (A, B et C) représentant les coefficients du modèle ont été générés et sont représentés dans la figure 15. Celle-ci permet une visualisation rapide pour identifier les coefficients qui définissent chacun des produits.

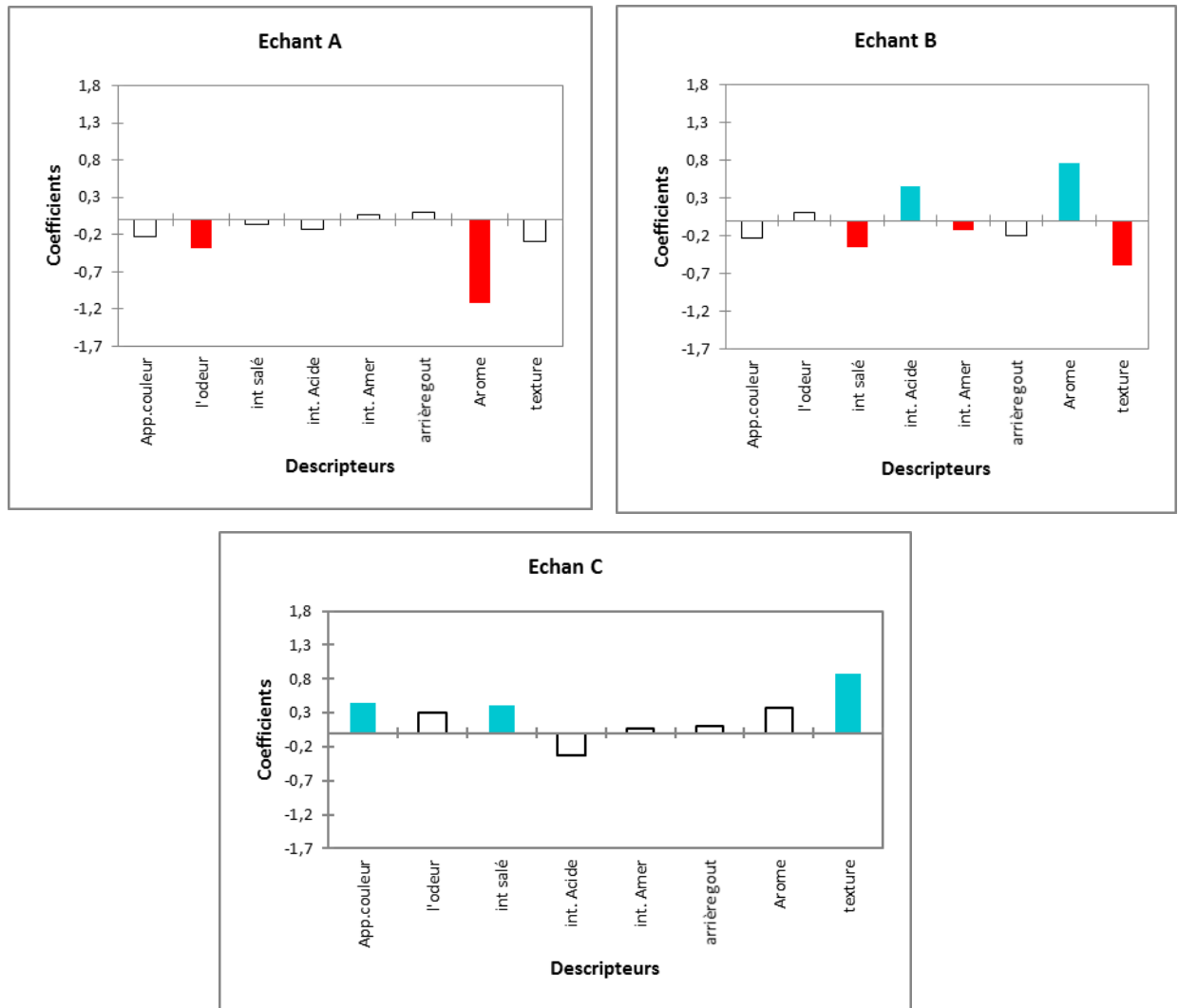


Figure 15: Coefficients des modèles des échantillons des fromages mozzarella A, B et C.

Le graphe représente et définit les appréciations des échantillons selon les experts :

- En rouge, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement négatifs.
 - En blanc les coefficients dont les caractéristiques ne sont pas significatifs.
 - En bleu, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement positifs.
- Pour **l'échantillon A**, **l'odeur** et **l'arôme** sont représentés en rouge, ce qui indique que ces caractéristiques sont inférieures à la moyenne des juges, donc faiblement intenses ou moins

intenses par rapport aux échantillons B et C. Les autres caractéristiques telles que l'apparence, l'intensité salée, l'intensité acide, l'amertume, l'arrière-goût et la texture sont de couleur blanche, ce qui signifie qu'elles sont proches de la moyenne des juges.

- Pour l'échantillon B, les caractéristiques **arômes** et **intensité acide** sont en bleu, indiquant une intensité supérieure à la moyenne des juges. En revanche, les caractéristiques **intensités salées**, **amertume**, et **texture** apparaissent en rouge, traduisant une perception inférieure à la moyenne. Les descripteurs restants tels que l'apparence, l'odeur et l'arrière-goût sont représentés en blanc, donc jugés moyens ou neutres par les experts.
- Pour l'échantillon C, les caractéristiques **apparence/couleur**, **intensité salée**, et **texture** sont en bleu, signalant une intensité supérieure à la moyenne des juges. À l'inverse, l'**intensité acide** est en rouge, ce qui signifie qu'elle est faiblement perçue. Les autres caractéristiques telles que l'odeur, l'arôme, l'amertume et l'arrière-goût sont représentées en blanc, donc proches de la moyenne des juges.

II.5.3 Moyennes ajustées par produit

Le tableau VI représente les moyennes ajustées obtenues à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit. Les couleurs indiquent, pour le bleu ; un effet significativement positif du descripteur sur le produit et pour le rouge ; un effet significativement négatif du descripteur sur le produit. Le tableau permet de récapituler toutes les caractéristiques et de calculer la moyenne des notes attribuées par les juges pour chaque descripteur caractérisant les trois produits.

Tableau VII: Moyennes ajustées par produit des fromages mozzarella A, B et C.

	int. Acide	Arome	l'odeur	App.couleur	int. Amer	arrière-gout	texture	int salé
Echant B	4,500	3,400	3,000	1,900	4,600	4,100	2,100	2,200
Echant A	3,900	1,500	2,500	1,900	4,800	4,400	2,400	2,500
Echant C	3,700	3,000	3,200	2,600	4,800	4,400	3,600	3,000

Il est possible de différencier les trois échantillons A, B et C en fonction de l'intensité de leurs caractéristiques sensorielles. L'échantillon C se caractérise par la plus grande intensité globale, alors que l'échantillon A présente un **arôme** et une **odeur** significativement faible et l'échantillon B se distingue par une intensité plus faible pour les trois caractéristiques (int.amer,texture,int.salé) mais une acidité et un arôme significativement plus élevé.

II.5.4. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique est utilisée pour constituer des regroupements successifs homogènes d'objets (classes) regroupant l'ensemble des individus sur la base de leur description par un ensemble de variables, ou à partir d'une matrice décrivant la similarité ou la dissimilarité entre les objets. Dans notre cas le nombre de classe est fixé à 3 et chaque classe de sujets a des préférences pour les produits A, B ou C comme présenté dans la figure 16.

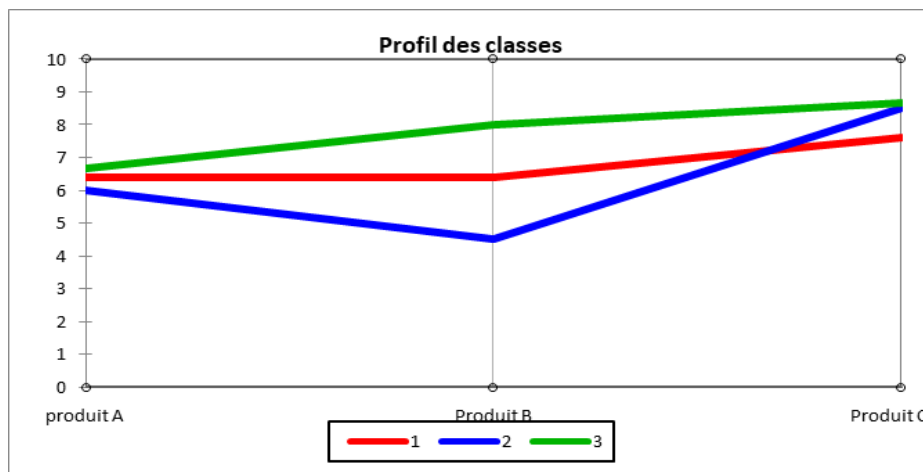


Figure 16: Profil des différentes classes

L'utilisation de l'analyse des données CAH permet de créer divers tableaux et graphiques. La représentation visuelle du profil des classes (obtenue à partir des données de préférences) permet de comparer les moyennes des différentes classes créées.

- La classes 1,2 : Le produit C est préféré en première position, suivi du produit A et en troisième position du produit B.
- La classe 3 préfère le produit C en tête, suivi du produit B et du produit A en troisième position.

II.5.6. Synthèse de mapping des préférences

La Figure 17 définit la courbe des niveaux et la carte de la préférence. Elle représente la superposition des résultats de l'ACP et de la CAH, et permet de faire le lien entre les préférences des différentes classes avec les caractéristiques des produits.

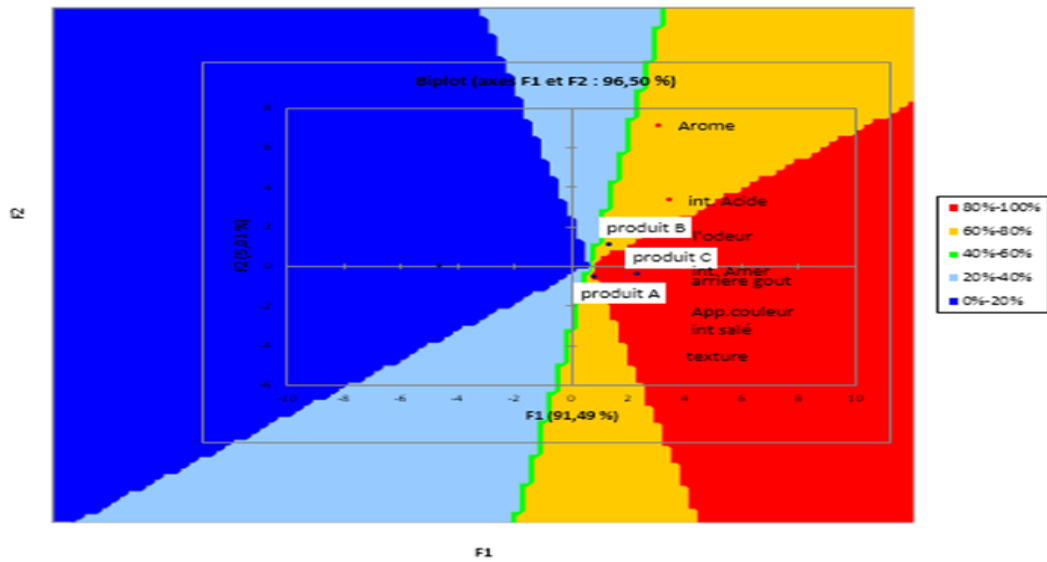


Figure 17: cartographie de préférences

D'après la figure 17, il apparaît que les échantillons A et C (présentes dans la zone rouge) sont appréciées avec un pourcentage de 80 % pour A et de 100% pour C, principalement en raison de leur couleur, odeur, texture. Par la suite, l'échantillon B (exposé dans la zone jaune) est apprécié avec un pourcentage de 60%.

Au cours de cette étude, nous avons pu apprendre et maîtriser le processus de fabrication artisanale d'un fromage à pâte filée de type mozzarella, à base de lait cru de vache et obtenu par acidification directe. La méthode choisie, simple et économique, s'est révélée efficace pour obtenir un produit satisfaisant du point de vue microbiologique, nutritionnel et sensoriel.

Trois variantes de mozzarella ont été évaluées, dont deux enrichies en épices (ail, poivre blanc, origan) via la saumure. Les résultats ont montré que l'ajout de ces ingrédients améliore significativement l'activité antioxydants, atteignant 62,66 % pour l'échantillon ail et poivre blanc (A.PB), contre 45,02 % pour l'échantillon ail et origan (A.OR) et 43,46 % pour la mozzarella nature et, dans une certaine mesure, la qualité organoleptique du fromage, sans compromettre sa stabilité microbiologique.

Bien que la teneur en composés phénoliques et flavonoïdes ait été faible (1,56 % de cendres pour A.PB, 1,57 % pour la nature et 1,45 % pour A.OR), probablement en raison d'une faible diffusion dans la matrice dense de la mozzarella, cette approche reste prometteuse pour enrichir les fromages en substances bioactives. On note aussi des différences de composition : une teneur en protéines de 24,04 % pour A.OR, 23,67 % pour la mozzarella nature et 19,89 % pour A.PB, et des taux de matières grasses modérés (13 % pour la nature, 12,5 % pour A.OR et 11,5 % pour A.PB). La teneur en sucres atteint 48,62 mg/g pour A.OR, 42,55 mg/g pour A.PB et 37,60 mg/g pour la nature.

Pour approfondir cette étude, il serait pertinent de :

-  Explorer d'autres méthodes d'enrichissement, notamment par inclusion directe dans la pâte fromagère ;
-  Étudier l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques au cours de la conservation prolongée ;
-  Tester d'autres plantes aromatiques locales pour valoriser les ressources naturelles algériennes ;
-  Évaluer la faisabilité d'une production semi-industrielle et son acceptabilité par les consommateurs.

A

Achat, S., Tomao, V., Madani, K., Chibane, M., Elmaataoui, M., Dangles, O., & Chemat, F. (2012). Direct enrichment of olive oil in oleuropein by ultrasound-assisted maceration at laboratory and pilot plant scale. *Ultrasonics sonochemistry*, 19(4), 777-786.

Aggad, H., Mahouz, F., Ahmed Ammar, Y., & Kihal, M. (2009). Evaluation de la qualité hygiénique du lait dans l'ouest algérien. *Rev. Méd. Vét*, 160(12), 590-595.

Ah, J., & Tagalpallewar, G. P. (2017). Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application. *Journal of food science and technology*, 54, 3766-3778.

Albenzio, M., & Santillo, A. (2011). Biochemical characteristics of ewe and goat milk: Effect on the quality of dairy products. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), 33-40.

Almena-Aliste, M., & Miettton, B. (2014). Cheese classification, characterization, and categorization: a global perspective. *Cheese and microbes*, 39-71.

Almena-Aliste, M., & Miettton, B. (2014). Cheese classification, characterization, and categorization: a global perspective. *Cheese and microbes*, 39-71.

Andreatta, E., Fernandes, A. M., Santos, M. V., Mussarelli, C., Marques, M. C., & Oliveira, C. A. F. D. (2009). Composition, functional properties and sensory characteristics of Mozzarella cheese manufactured from different somatic cell counts in milk. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52, 1235-1242.

Apostolidis, E., Kwon, Y. I., & Shetty, K. (2007). Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innovative food science & emerging technologies*, 8(1), 46-54.

B

Bachelier, G., & Gavinelli, R. (1966). Dosage global des glucides du sol par les méthodes colorimétriques à l'anthrone et à l'orcinol. *Cahier Orstom Série Pédologique*, 4, 97-103.

Bihola, A., Jana, A. H., Parmar, S. C., & Adil, S. (2024). Feasibility study of utilizing *Saccharomyces boulardii* as an adjunct culture in Mozzarella type cheese and its quality characterization. *Discover Food*, 4(1), 105.

Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, In: Numéro spécial, 79-82.

Brandsma, R. L., & Rizvi, S. S. (2001). Manufacture of Mozzarella cheese from highly-concentrated skim milk microfiltration retentate depleted of whey proteins 1. *International journal of food science & technology*, 36(6), 611-624.

Breene, W. M., Price, W. V., & Ernstrom, C. A. (1964). Manufacture of Pizza cheese without starter.

C

Chaabi, M. (2008). *Étude phytochimique et biologique d'espèces végétales africaines: Euphorbia stenoclada Baill.(Euphorbiaceae), Anogeissus leiocarpus Guill. & Perr.(Combretaceae), Limoniastrum feei (Girard) Batt.(Plumbaginaceae)* (Doctoral dissertation, Strasbourg 1).

Collectif, C. (2018). *Science et technologie du lait*. Presses de l'Université Laval.

D

Dave, R. I., McMahon, D. J., Oberg, C. J., & Broadbent, J. R. (2003). Influence of coagulant level on proteolysis and functionality of mozzarella cheeses made using direct acidification. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 114-126.

Dharaiya, C., Jana, A., Patel, A., & Patel, D. (2021). Comparison of natural Mozzarella cheese with acid casein based Mozzarella cheese analogue. *Indian Journal of Dairy Science*, 74(4).

Diao, M. (2000). La qualité du lait et produits laitiers. *Institut Sénégalais de recherches*.

Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660.

E

Ebing, P. et Rutgers, Agrodok, K. (2006). La préparation des laitages 6^{ème} édition. Agrodok N°36. p89 , wageningen, Pays-bas.

El Marnissi, B., Belkhou, R., & Bennani, L. (2013). Caractérisation microbiologique et physicochimique du lait cru et de ses dérivés traditionnels Marocains (Lben et Jben). *Les technologies de laboratoire*, 8(33).

El-Alfy, M. B., Shenana, M. E., Hassaan, H. M., Sania, M. A., & Nasr, W. I. (2008). Using ultrafiltered (UF) retentate in Mozzarella cheese making. In *Alex J Food Sci Technol Spec Conf Vol* (pp. 45-60).

El-Bakry, M. (2012). Salt in Cheese: A Review. *Current Research in Dairy Sciences*, 4(1), 1-5.

F

Facchin, S., Barbosa, A. C., Carmo, L. S., Silva, M. C. C., Oliveira, A. L., Morais, P. B., & Rosa, C. A. (2013). Yeasts and hygienic-sanitary microbial indicators in water buffalo mozzarella produced and commercialized in Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44, 701-707.

G

Gaouar, Z. L., Loukaf, K., & Masmi, N. (2021). Les résidus d'antibiotiques dans le lait cru de vache: état des lieux dans la wilaya d'Oran. *Journal de la Faculté de Médecine*, 5(1), 653-660.

Gernigon, G., Schuck, P., & Jeantet, R. (2010). Processing of Mozzarella cheese wheys and stretchwaters: A preliminary review. *Dairy Science & Technology*, 90(1), 27-46.

Gierczynski, I., Guichard, E., & Laboure, H. (2011). Aroma perception in dairy products: the roles of texture, aroma release and consumer physiology. A review. *Flavour and fragrance journal*, 26(3), 141-152.

Gmeiner, B. M., & Seelos, C. (1994). Nonreaction of phosphotyrosine with the Folin Phenol reagent. *Analytical Chemistry*, 66(6), 917-918.

Granville, A., & Desmet, F. (1951). Détermination de la teneur en matière grasse des fromages, au moyen du butyromètre Gerber. *Le Lait*, 31(308), 501-505.

Guillou, H., Pelissier, J. P., & Grappin, R. (1986). Méthodes de dosage des protéines du lait de vache. *Le Lait*, 66(2), 143-175.

Guinee, T. P., & McSweeney, P. L. H. (2006). Significance of milk fat in cheese. In *Advanced dairy chemistry volume 2 lipids* (pp. 377-440). Boston, MA: Springer US.

Guinee, T. P., Feeney, E. P., Auty, M. A. E., & Fox, P. F. (2002). Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese. *Journal of dairy science*, 85(7), 1655-1669.

H

Hayaloglu, A. A., & Farkye, N. Y. (2011). Cheese| cheese with added herbs, spices and condiments.

Hayder, N., Abdelwahed, A., Kilani, S., Ammar, R. B., Mahmoud, A., Ghedira, K., & Chekir-Ghedira, L. (2004). Anti-genotoxic and free-radical scavenging activities of extracts from (Tunisian) *Myrtus communis*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 564(1), 89-95.

J

Johnson, M., & Law, B. A. (2010). The origins, development and basic operations of cheesemaking technology. *Technology of cheesemaking*, 68-97.

K

Kindstedt, P. S. (2017). Global cheesemaking technology: cheese quality and characteristics.

Kindstedt, P. S., & Fox, P. F. (1993). Effect of manufacturing factors, composition, and proteolysis on the functional characteristics of Mozzarella cheese. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(2), 167-187.

L

Labioui, H., Elmoualdi, L., Benzakour, A., El Yachoui, M., Berny, E., & Ouhssine, M. (2009). Etude physicochimique et microbiologique de laits crus. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 148(2009), 7-16.

Lapointe-Vignola, C. (2002). *Science et technologie du lait: transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.

Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food engineering*, 71(2), 214-222.

Lecoq, D. R. (1965). *Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles: par Raoul Lecoq,.... A à E.* Doin, Deren et Cie.

Lefebvre, A., & Bassereau, J. F. (2003). L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception: ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. *Application aux emballages*, 10, 3-11.

Levieux, D. (1999). Le colostrum, un lait particulièrement riche en de nombreux composants: peut-on en déceler la présence dans les livraisons de lait de vache?. *Le lait*, 79(5), 465-488.

Loignon, C., & Castagnaro, C. (2023). *Passionnément italien: lien De mère en fille : le meilleur de nos origines en 100 recettes*: Pratico Édition Cuisine.

Lucey, J. A., Johnson, M. E., & Horne, D. S. (2003). Invited review: Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of dairy science*, 86(9), 2725-2743.

M

Mamdouh El-Bakry, 2012. *Salt in Cheese: A Review. Current Research in Dairy Sciences*, 4: 1-5.

Marinheiro, M. F., Ghizzi, L. G., Cereser, N. D., de Lima, H. G., & Timm, C. D. (2015). Qualidade microbiológica de queijo mussarela em peça e fatiado. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3), 1329-1334.

Martelli, L., & Navellier, P. (1962). Lactodensimètre de précision. étude et réalisation. *Le Lait*, 42(413-414), 134-152.

McMahon, D. J., & Oberg, C. J. (1998). Influence of fat, moisture and salt on functional properties of Mozzarella cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 53(2), 98.

Mijan, M. A., Haque, M. A., Habib, M. A., & Wadud, M. A. (2010). Evaluation of quality of mozzarella cheese. *Bangladesh Veterinarian*, 27(1), 36-42.

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, 26(2), 211-219.

Moro, A., Librán, C. M., Berruga, M. I., Carmona, M., & Zalacain, A. (2015). Dairy matrix effect on the transference of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil compounds during cheese making. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(7), 1507-1513.

Mutwedu, V. B., Ayagirwe, R. B. B., Mugumaarhahama, Y., Bahindwa, G., Barume, A., & Matendo, R. (2018). Effets des techniques de transformation sur la qualité du fromage blanc traditionnel «Mashanza» produit au Sud-Kivu, RD Congo. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38(1), 6097-6111.

N

Nielsen, S. S., Ward, R. E., & Carpenter, C. E. (2010). Traditional methods for mineral analysis. *Food analysis*, 201-215.

O

Oberg, C. J., Wang, A., Moyes, L. V., Brown, R. J., & Richardson, G. H. (1991). Effects of proteolytic activity of thermolactic cultures on physical properties of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 74(2), 389-397.

Ozturk, M., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., Johnson, M. E., & Lucey, J. A. (2018). Investigating the properties of high-pressure-treated, reduced-sodium, low-moisture, part-skim Mozzarella cheese during refrigerated storage. *Journal of dairy science*, 101(8), 6853-6865.

P

Parada, J., & Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of food science*, 72(2), R21-R32.

Patrick, F. (2000). *Fundamentals of cheese science*. Springer..

Pauline Ebing, K. R. AD36F 2006 *La préparation de laitages*: Agromisa Foundation.

Pereira, O. R., Macias, R. I., Perez, M. J., Marin, J. J., & Cardoso, S. M. (2013). Protective effects of phenolic constituents from *Cytisus multiflorus*, *Lamium album* L. and *Thymus citriodorus* on liver cells. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1170-1179.

Paz, N. F., Goncalvez de Oliveira, E., Villalva, F. J., Armada, M., & Ramón, A. N. (2017). Effect of pH at drainage on the physicochemical, textural and microstructural characteristics of mozzarella cheese from goat milk. *Food Science and Technology (Campinas)*, 37(2), 193-201.Pa.

R

Rashidinejad, A., Birch, E. J., Sun-Waterhouse, D., & Everett, D. W. (2013). Effects of catechin on the phenolic content and antioxidant properties of low-fat cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(12), 2448-2455.

Remeuf, F. (1993). Influence du polymorphisme génétique de la caséine α_1 caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait. *Le lait*, 73(5-6), 549-557.

Ribéreau-Gayon, P. (1968). Métabolisme et propriétés des composés phénoliques. *Les composés phénoliques des végétaux*. Paris: Dunod.

Ribereau-Gayon, P. (1968). Notions generales sur les composes phenoliques, methodes generales d'études des composes phenoliques. *Les composés phénoliques des végétaux*.

Richards, E. L. (1959). The reaction of lactose with anthrone and its application to the estimation of lactose in casein and other dairy products. *Journal of Dairy Research*, 26(1), 53-57.

S

Sales, D. C., Rangel, A. H. N., Urbano, S. A., Freitas, A. R., Tonhati, H., Novaes, L. P., ... & Borba, L. H. F. (2017). Relationship between mozzarella yield and milk composition, processing factors, and recovery of whey constituents. *Journal of dairy science*, 100(6), 4308-4321.

Salzano, A., Manganiello, G., Neglia, G., Vinale, F., De Nicola, D., D'Occhio, M., & Campanile, G. (2020). A preliminary study on metabolome profiles of buffalo milk and

corresponding mozzarella cheese: Safeguarding the authenticity and traceability of protected status buffalo dairy products. *Molecules*, 25(2), 304.

Seth, K., & Bajwa, U. (2015). Effect of acidulants on the recovery of milk constituents and quality of Mozzarella processed cheese. *Journal of food science and technology*, 52, 1561-1569.

Seth, K., & Bajwa, U. (2015). Effect of acidulants on the recovery of milk constituents and quality of Mozzarella processed cheese. *Journal of food science and technology*, 52, 1561-1569.

Shields, R., & Burnett, W. (1960). Determination of protein-bound carbohydrate in serum by modified anthrone method. *Analytical Chemistry*, 32(7), 885-886.

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2013). Antioxidant activity and inhibition of key enzymes linked to type-2 diabetes and hypertension by *Azadirachta indica*-yogurt. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(3), 295-301.

Silva, L. F., Sunakozawa, T. N., Amaral, D. M. F., Casella, T., Nogueira, M. C. L., Lindner, J. D. D., ... & Penna, A. L. B. (2020). Safety and technological application of autochthonous *Streptococcus thermophilus* cultures in the buffalo Mozzarella cheese. *Food Microbiology*, 87, 103383.

Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., & Knez, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 89(2), 191-198.

T

Taybi, N. O., Arfaoui, A., & Fadli, M. (2014). Evaluation de la qualité microbiologique du lait cru dans la région du Gharb, Maroc [Evaluation of microbiological quality of raw milk in the region of Gharb, Morocco]. *international journal of innovation and scientific research*, 487-493.

Tresserra-Rimbau, A. (2020). Dietary polyphenols and human health. *Nutrients*, 12(9), 2893.

Tuohy, J. J. (Ed.). (2023). *Sensory Profiling of Dairy Products*. John Wiley & Sons.

V

Vuillemard, J.C. (2018). Science et technologie du lait. 3^{ème} édition. p548

W

Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy science and technology*. CRC press.

Y

Yang, Z., Wang, J., Wang, B., & Cao, Y. (2025). Characterization of Volatile Compounds in Mozzarella Cheeses Made from Bovine and Buffalo Milk by SPME-GC× GC-O-TOFMS, SPME-Arrow-GC-MS and GC-IMS. *Journal of Dairy Science*.

Yemm, E. W., & Willis, A. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical journal*, 57(3), 508.

Yildirim-Elikoglu, S., & Erdem, Y. K. (2018). Interactions between milk proteins and polyphenols: Binding mechanisms, related changes, and the future trends in the dairy industry. *Food reviews international*, 34(7), 665-697.

Z

Zantar, S., Zerrouk, H. M., Zahar, M., Saidi, B., Notfia, Z., Laglaoui, A., ... & Chentouf, M. (2013). Effet de l'utilisation des huiles essentielles (du thym, du romarin, de l'origan et du myrte) sur les propriétés physicochimiques, microbiologiques et sensorielles du fromage de chèvre frais et semi-affiné. *Technology creation and transfer in small ruminants: roles of research, development services and farmer associations*, (108).

Annexe 1**Questionnaire d'évaluation sensorielle d'échantillons de fromage**Sexe: *homme/femme*

date : / /

Trois échantillons de fromage préparés à base de lait, codés **A, B, C** sont présentés, il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques et d'attribuer une note de 1 à 5 pour chaque échantillon sur l'échelle suivante :

1. Couleur :

1 : blanc, 2 : blanc crème, 3 : blanc brillant, 4 : jaune pâle, 5 : autre (.....)

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

2. Odeur : 1 : très faible , 2 : Faible, 3 : Moyen, 4 : forte, 5 : Très forte

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

Gout**a- Gout salé :**

1 : Absent, 2 : Faible, 3 : Moyen, 4 : Intense, 5 : Très intense

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

b- Gout acide : 1 : Très intense, 2 : Intense, 3 : Moyen, 4 : Faible, 5 : Absent

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

c- Gout amère : 1 : Très intense 2 : Intense 3 : Moyen 4 : Faible 5 : Absent

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

d- Arrière-gout : 1 : Très intense, 2 : Intense, 3 : Moyen, 4 : Faible, 5 : Absent

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

e- Arôme identifié : 1 : Absent, 2 : non identifié, 3 : Ail, 4 : poivre blanc, 5 : origan

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

4. Texture :

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

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

5. Préférences :

Classez selon l'ordre de préférence les échantillons (A, B, C) en leur attribuant une note de 1 à 9 sachant que 1 correspond au moins préféré et 9 au plus préféré comme présenté dans l'échelle ci-dessous :

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

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

6. Entourez les caractéristiques qui ont motivé votre préférence

1 : la couleur, 2 : L'odeur, 3: La texture, 4: Le gout, 5: le tout

Autres.....

Merci pour votre coopération

Annexe 2

Les courbes d'étalonnage :

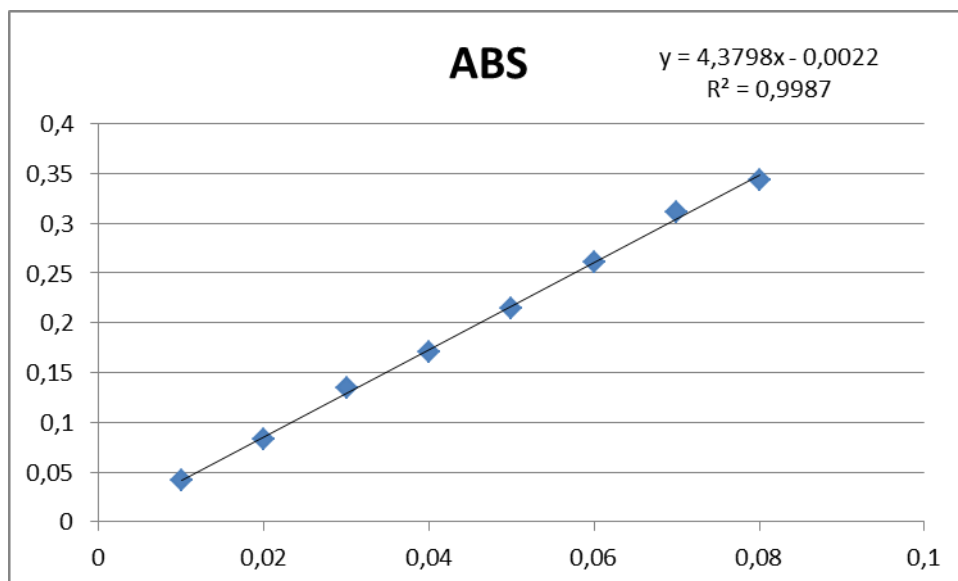


Figure N°01 : Courbe d'étalonnage de dosage des polyphénols

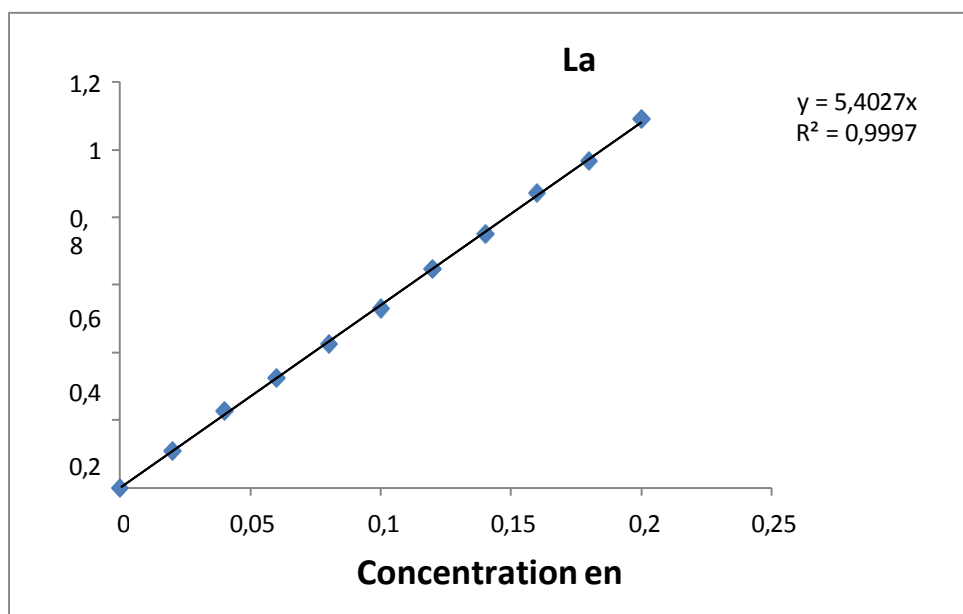


Figure N°02 : Courbe d'étalonnage de dosage des flavonoïdes

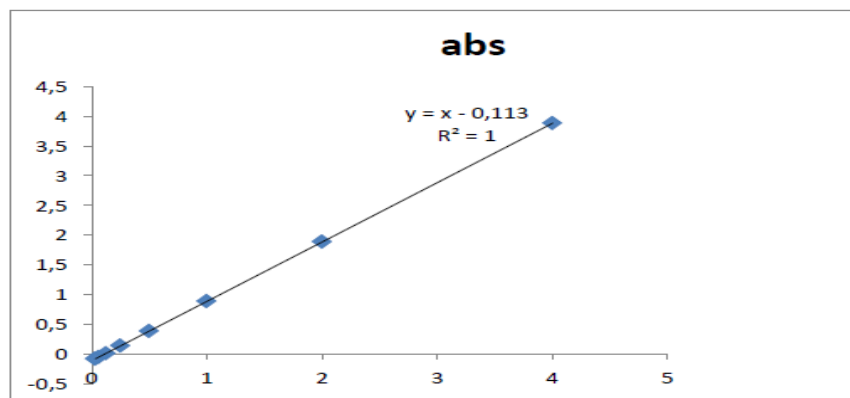


Figure N°03 Courbe d'étalonnage de dosage des sucres

Annexe 3



Figure 4 : Récupération du caillé après coagulation



Figure 5 : Filage et façonnage de la mozzarella



Figure 6 : Refroidissement et conservation dans de la saumure

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de mettre au point un protocole de fabrication artisanale d'un fromage à pâte filée de type mozzarella, à partir de lait cru de vache, basé sur une coagulation acide (vinaigre + jus de citron), tout en conservant les qualités fonctionnelles et sensorielles attendues du produit fini et d'en évaluer la qualité globale. Trois échantillons de mozzarella ont été fabriqués : une nature (immergée dans du lactosérum salé), une deuxième dans une saumure à l'ail et au poivre blanc (A.PB), et une troisième dans une saumure à l'ail et origan (A.OR). Après une conservation de 5 jours à 4 °C, les échantillons ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques (pH, acidité, humidité, matière grasse, sucres, protéines, polyphénols, flavonoïdes, DPPH), microbiologiques et sensorielles. Les résultats obtenus révèlent une bonne qualité microbiologique des fromages, avec absence de germes pathogènes majeurs (entérobactéries, salmonelles), ce qui confirme l'efficacité du traitement thermique appliqué. Sur le plan nutritionnel, les fromages présentent une teneur correcte en protéines (jusqu'à 24,04 %), une humidité élevée (jusqu'à 63,11 %), et une activité antioxydante notable dans les échantillons aromatisés, particulièrement celui à l'ail et poivre blanc (DPPH = 81.20%). Les résultats des dosages en polyphénols et flavonoïdes restent toutefois limités, probablement en raison de la faible migration des composés bioactifs dans la matrice fromagère. Enfin, l'analyse sensorielle montre une préférence globale pour l'échantillon A.PB, jugé plus agréable en goût et en arôme. Ces résultats démontrent la faisabilité de produire une mozzarella artisanale innovante, avec des propriétés fonctionnelles améliorées grâce à l'incorporation d'épices naturelles.

Mots-clés : Mozzarella, lait cru, coagulation acide, saumure aromatisée, polyphénols, activité antioxydante, analyse sensorielle.

Abstract

The aim of this work was to develop an artisanal protocol for a stretched-curd cheese of the mozzarella type, using raw cow's milk and based on acid coagulation (vinegar + lemon juice), while preserving the functional and sensory qualities expected of the final product, and to evaluate its overall quality. Three mozzarella samples were produced: a plain control (immersed in salted whey), a second one immersed in a brine containing garlic and white pepper (G.WP), and a third in a brine with garlic and oregano (G.OR). After 5 days of storage at 4 °C, the samples were subjected to physicochemical (pH, acidity, moisture, fat, sugars, proteins, polyphenols, flavonoids, DPPH), microbiological, and sensory analyses. The results revealed good microbiological quality, with no detection of major pathogens (Enterobacteriaceae, Salmonella), confirming the effectiveness of the heat treatment. The cheeses showed satisfactory protein levels (up to 24.04%), high moisture content (up to 63.11%), and notable antioxidant activity in the flavored samples, particularly G.WP (DPPH = 81.20%). However, polyphenol and flavonoid contents remained limited, likely due to low migration of bioactive compounds into the cheese matrix. Sensory analysis showed a general preference for the G.WP sample, considered more pleasant in taste and aroma. These results confirm the feasibility of producing an innovative artisanal mozzarella with enhanced functional properties through the use of natural spices.

Keywords:

Mozzarella, raw milk, acid coagulation, flavored brine, polyphenols, antioxidant activity, sensory analysis,