

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry of High Education and Scientific
Research
Abbes Laghrou University- Khenchela-
Natural and life sciences Faculty
Molecular and Cellular Biology Department



N° de série: ...

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES **DE MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences de la nature et de la vie**

Filière : **Sciences Biologiques**

Spécialité : **Biochimie Appliquée**

Présenté par :

Amina RABEHI

Ferial BELAFDAL

Thème

La fabrication et la caractérisation physicochimique et
biochimiques d'un fromage traditionnel frais (*Jben*)
fabriqué à l'aide d'un coagulant végétal (fleurs de
chardon)

Mémoire soutenu publiquement le 17/06/2025 .Devant le jury composé de :

Dr. DOUAOUYA Lilia

MCA, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Présidente

Dr. TABET Rachid

MCB, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Encadreur

Dr. ABAIDIA A.El Ghafour

MCB, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Examineur

Année Universitaire 2024/2025

Remerciement

Avant toute chose, nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu, pour nous avoir accordé la force, le courage, la santé et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers notre directeur de mémoire, **Monsieur TABET Rachid**, pour son encadrement, ses conseils avisés et ses observations constructives qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions sincèrement **Madame DOUAOUYA Lilia** d'avoir acceptée de présider le jury d'évaluation de notre mémoire, ainsi que **Monsieur ABAIDIA A.El Ghafour** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du personnel du laboratoire du département de Biologie pour leur collaboration

Ainsi qu'aux enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance envers le personnel de l'Université **ABBES LAGHROUR KHENCHELA** pour leur soutien dans la réalisation de ce projet.

Dédicace

À mes parents,

Dans les silences de mes doutes et l'écho de mes réussites, vos mains ont toujours soutenu les miennes. Ce mémoire porte l'empreinte invisible de vos sacrifices quotidiens, de ces nuits où vous avez veillé quand je travaillais, de ces repas préparés avec amour pour nourrir non seulement mon corps mais aussi mes ambitions.

Baba, tu m'as appris que la persévérance n'est pas seulement une vertu, mais une nécessité. Quand le chemin semblait trop escarpé, c'est ton exemple de résilience qui m'a donné le courage d'avancer malgré tout.

Mama, dans ta tendresse infinie, j'ai trouvé le repos quand la fatigue m'accablait. Tes encouragements murmurés sont devenus ma voix intérieure aux moments où je voulais abandonner.

À mes chères sœurs, Loubna, Achouak, Sarah, et Selma

Dans la tapisserie de ma vie, vous êtes les fils d'or qui brillent même dans les coins les plus sombres. Ce travail porte en lui l'écho de nos rires partagés dans les longues nuits, de nos larmes essuyées en secret, et de ces instants où vos paroles ont reconstruit mon courage, morceau par morceau.

Vous avez été les gardiennes silencieuses de mes rêves fragiles. Quand le monde ne voyait en moi que des doutes, vous perceviez déjà le succès qui sommeillait en moi.

Votre sœur qui vous aime au-delà de l'infini

À mon oncle Messaoud et ma tata Nabila

Votre bienveillance a été le phare qui a guidé mes pas dans les moments de doute, vos encouragements silencieux ont nourri ma persévérance quand les obstacles semblaient insurmontables, et l'amour que vous m'avez témoigné a transformé ce voyage académique en une aventure portée par votre indéfectible confiance.

À mon petit frère Sami et ma petite sœur Sajeda,

Vos sourires et votre tendresse ont été ma plus douce source de force. Dans vos regards brillants, j'ai trouvé l'énergie d'avancer et la joie simple qui donne un sens à tout.

À mon amie Fériel,

Merci d'avoir été cette lumière constante dans mes moments d'incertitude. Ton amitié sincère, tes rires, et ta foi en moi ont transformé mes doutes en courage et mes fatigues en beaux souvenirs.

RABEHI Amina

Dédicace

À ceux qui ont suspendu leurs rêves aux murs des universités,
À ceux qui ont porté leurs cahiers comme un combattant porte son fusil :
Aux étudiants de Palestine, partis vers le martyre avant que l'histoire ne soit complète,
Avant que leurs noms ne soient appelés dans les cours de remise des diplômes.
Ils sont devenus lumière éternelle dans le ciel de Jérusalem, et gloire indestructible sous les décombres.

Ils sont partis avec leurs cœurs pleins de science, de patrie et d'espoir de retour.
Ô vous, martyrs sur le seuil de l'espérance, paix à vos âmes pures,
Paix à vos cahiers dont les lettres saignent la liberté.
Notre rendez-vous est avec un Seigneur qui n'oublie rien : ni sang versé, ni terre spoliée, ni cause éteinte.

Ensuite, à ceux qui méritent toute ma reconnaissance...

À ma mère et à mon père : qui m'ont appris que la faiblesse n'est pas faite pour celui qui possède la prière de ses parents,
À ceux dont les bras furent un refuge, la patience une école, et la satisfaction un chemin vers Dieu et la lumière.
Je ne pourrai jamais vous rendre ce que je vous dois, mais je vous offre ce modeste travail comme gage d'un amour éternel.

À mes frères et sœurs bien-aimés : Siham, Samra, Souha, Chawki, Rafiq, Fayçal et Nour El-Amine,
Vous êtes les battements de mon cœur, les compagnons de ma route, et la lumière de mes jours sombres.

Aux fleurs de la famille : Israa et Islam, sources d'innocence et d'espoir renouvelé.

À mon estimé professeur Tabet Rachid : qui a fait de la science une lumière et de la supervision un message.
Un grand merci pour la connaissance impérissable que vous avez semée, et pour vos conseils sincères.

À mon amie et compagne de route Amina Rabehi : partenaire des longues journées,
Témoin de chaque fatigue tissée avec les fils de l'ambition. Que Dieu te guide et t'accorde le succès dans ta vie.

Ferial BELAFDAL

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Liste des abréviations.....	IX
Introduction.....	1

Partie bibliographique

Chapitre 01 : Le fromage

1. Aperçu historique.....	3
2. Définition du fromage.....	4
3. La production du fromage.....	4
3.1. La coagulation du lait.....	4
3.1.1. La coagulation par voie enzymatique.....	4
3.1.1.1. Les enzymes protéolytiques d'origine animale (présure).....	5
3.1.1.2. Les enzymes protéolytiques d'origine végétale.....	6
3.1.1.3. Les enzymes protéolytiques d'origine microbienne.....	9
3.1.2. Facteurs influençant le processus de coagulation.....	10
3.1.2.1. La composition du lait.....	10
3.1.2.2. Le pH du lait.....	10
3.1.2.3. La teneur en calcium.....	10
3.1.2.4. La température.....	11
3.1.2.5. Le type et la concentration de coagulant.....	11
3.1.3. La coagulation par voie acide.....	11
3.1.4. La coagulation mixte.....	13
3.2. Le Salage.....	13
3.3. L'égouttage.....	13
3.4. L'Affinage.....	14

Chapitre 02 : Principaux fromages traditionnels Algériens

1. Principaux fromages traditionnels Algériens.....	15
1.1. Les fromages à pâte dure.....	17
1.1.1. <i>Klila</i>	17
1.1.2. <i>Takammart</i>	18
1.1.3. <i>Aoules (Ioulsân)</i>	18
1.2. Les fromages fondus.....	19
1.2.1. <i>Madghissa</i>	19
1.3. Les fromages affinés	19
1.3.1. <i>Bouhazza</i>	19
1.4. Les fromages frais.....	21
1.4.1. <i>Méchouna</i>	21
1.4.2. <i>Kémaria</i>	22
1.4.3. <i>Jben</i>	23

Partie expérimentale

Chapitre 01 : Matériel et méthodes

1. Matériel.....	25
1.1. Matériel non biologique.....	25
1.1.1. Produits chimiques et réactifs.....	25
1.1.2. Appareillage.....	25
1.2. Matériel biologique.....	26
1.2.1. Lait cru de vache.....	26
1.2.2. Coagulants.....	26
2. Méthodes	26
2.1. Fabrication du Fromage Traditionnel.....	26
3. Analyses.....	29
3.1. Analyses physico-chimiques.....	29
3.1.1. Détermination du pH.....	29
3.1.2. Mesure de l'acidité titrable.....	29
3.2. Analyses biochimiques.....	29

3.2.1 Détermination de la matière sèche.....	29
3.2.2. Détermination de l'azote total.....	30
3.2.3. Détermination de la teneur en cendres.....	31
3.2.4. Détermination de la matière grasse.....	32
4. L'activité anti-radicalaire par la méthode DPPH.....	33
4.1. Principe de la méthode.....	33
4.2. Procédure expérimentale.....	34
5. Analyse statistique.....	35
Chapitre 02 : Résultat et discussion	
1. Résultats des analyses physico-chimiques.....	36
1.1. pH.....	36
1.2. Acidité titrable.....	37
2. Analyses biochimiques.....	38
2.1. Le teneur en matière sèche.....	39
2.2. La teneur en cendres.....	40
2.3. La teneur en matière grasse.....	41
2.4. La teneur en protéines.....	42
3. L'activité antioxydante.....	43
4. Relation entre les paramètres physico-chimiques du fromage.....	44
Conclusion	47
Résumés	49
Références bibliographiques	52
Annexes.....	62

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Protéases végétales coagulantes du lait caractérisé à partir de différentes sources végétales.....	7
Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques de (<i>Jben</i>).....	36
Tableau 3 : Résultats des analyses biochimiques de (<i>Jben</i>).....	39
Tableau 4 : Valeurs-r entre les paramètres physico-chimiques du fromage frais (<i>Jben</i>).....	46

Liste des figures :

Figure 1 : Micelle de caséine native avec une caséine κ intacte fournissant une charge et une stabilisation stérique contre l'agréation (A), et des micelles de caséine qui ont perdu le glycomacropeptide de la caséine κ en raison de l'hydrolyse induite par la présure (B).....	6
Figure 2 : Formation du gel lactique.....	12
Figure 3 : Schéma de fabrication des principaux fromages traditionnel algérien.....	16
Figure 4 : Aspect du fromage <i>Klila</i> selon le lait utilisé. A : <i>Klila</i> au lait de chèvre. B : <i>Klila</i> au lait de brebis. C : <i>Klila</i> au lait de vache.....	17
Figure 5 : fromage <i>Medghissa</i>	19
Figure 6 : fromage <i>Bouhazza</i>	20
Figure 7 : Fromage <i>Mechouna</i>	21
Figure 8 : Fromage <i>Kémaria</i>	22
Figure 9 : Le de fromage <i>Jben</i>	24
Figure 10 : Etapes de la fabrication du fromage (<i>Jben</i>).....	28
Figure 11 : Principe de fonctionnement de l'appareil de Soxhlet.....	33
Figure 12 : Variation de pH du fromage (<i>Jben</i>).....	37
Figure 13 : Résultat d'acidité Dornic (D°) pour le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	38
Figure 14 : La teneur de la matière sèche dans le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	40
Figure 15 : La teneur des cendres dans le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	41
Figure 16 : la teneur en Matière grasse (g/100g) dans le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	42
Figure 17 : La teneur en protéines dans le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	43
Figure 18 : La teneur de l'activité antioxydante dans le fromage traditionnel (<i>Jben</i>).....	44
Figure 19. Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques analysés dans le fromage <i>Jben</i> fabriqué à partir du coagulant végétal. Les coefficients de Pearson sont proportionnellement aux valeurs du diagramme circulaire et à l'intensité des couleurs. AC (Acidité), MS (Matière sèche), MG (Matière grasse), PR (Protéine) et CE (Cendre).....	45

Liste des abréviations :

(NH₄)₂SO₄ : Sulfate d'ammonium

°C : Degré Celsius

Abs : Absorbance (valeur lue au spectrophotomètre)

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

AFNOR – Association Française de Normalisation

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

AT – Azote total

CE – Commission Européenne

CuSO₄ : Sulfate de cuivre

DPPH : 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (radical libre utilisé pour tester l'activité antioxydante)

EST : Extrait sec total

FAO – Food and Agriculture Organization

H₂BO₃⁻ : Ion borate

H₃BO₃ : Acide borique

IDF – International Dairy Federation

ISO – International Organization for Standardization

J.-C. : Jésus-Christ

Kj – Kjeldahl (méthode de détermination de l'azote)

Mg – Magnésium

MS – Matière sèche

Na – Sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium

NF – Norme Française

NH₃ : Ammoniac

NH₄⁺ – Ion ammonium

NO₃⁻ – Ion nitrate

P – Protéines totales

R : Logiciel statistique R

RSD – Relative Standard Deviation (écart-type relatif)

SNF – Solids-Not-Fat (matière sèche dégraissée)

STAN A-6 : Standard (Norme générale)

TC% : Teneur en cendres en pourcentage

V : Volume

Introduction

Introduction

Les procédés de transformations alimentaires sont utilisés depuis plusieurs milliers d'années dans le monde entier. Ils permettent non seulement de conserver de nombreuses matières premières périssables (lait, céréales, viande...), d'augmenter leur valeur nutritionnelle mais aussi de développer d'intéressantes qualités organoleptiques. Ainsi, ces produits ont perduré au cours de l'Histoire, donnant lieu à des spécialités culinaires particulières selon les régions du monde, dépendantes des produits locaux (Hebert, 2010).

La transformation laitière constitue ainsi une stratégie alimentaire fondamentale qui permet non seulement de prolonger la durée de conservation du lait de quelques jours à plusieurs semaines, voire plusieurs mois, mais également de réduire significativement l'incidence des maladies d'origine alimentaire (FAO, 2019). Les procédés de fermentation spontanée permettent une conservation de courte durée, tandis que la transformation fromagère offre des possibilités de conservation beaucoup plus étendues, pouvant atteindre plusieurs mois selon les techniques employées (Konte, 1999).

Les méthodes traditionnelles de fabrication du fromage constituent à la fois un bien culturel et une ressource économique. En Algérie, la fabrication de produits laitiers traditionnels, principalement assurée par les femmes rurales, constitue une activité productive séculaire utilisant des procédés artisanaux transmis de génération en génération (Boudalia et al., 2016 ; Leksir et al., 2019 ; Medouni et al., 2006).

Beaucoup de produits de terroir notamment les fromages risquant de disparaître, continuent à être fabriqués par-ci et par-là à petite échelle ou plus simplement pour l'autoconsommation familiale. Ces fromages méritent la particularité d'être produits à petite et grande échelle industrielle pour améliorer leurs qualités et les commercialiser par des voies formelles surtout avec l'augmentation du risque de disparition (Amimour, 2019).

En Algérie, au moins dix types de fromages traditionnels de différentes régions du pays sont actuellement recensés. Les plus connus sont seulement ceux portant les dénominations *Jben* et *Klila*, probablement très répandus et utilisés dans l'ensemble des pays du Maghreb. Parmi les moins connus, ont été identifiés les fromages tels *Bouhezza*, *M'chouna*, et *Medghessa* dans le nord-est de l'Algérie (région des Chaouia), *Takemerit* et *Aoules* au sud et *Igounenes* au nord centre (région Kabyle) (Hamama, 2014). Parmi ces fromages de terroir le *Jben*, dont le mode de

production reste encore utilisé aujourd'hui, et sa consommation augmente en raison de ses propriétés sensorielles et nutritionnelles agréables (Dahou et al., 2015).

Bien que *Jben* soit un fromage traditionnel largement fabriqué et apprécié dans tout le pays, en particulier à l'Est, peu de données scientifiques publiées concernant l'effet de divers coagulants sur ses caractéristiques et ses compositions et même les informations sur ses procédés de fabrication sont encore très limités (Senoussi et al., 2022).

Généralement le procédé traditionnel du Jben implique l'utilisation de lait cru provenant de différentes espèces (vache, brebis, chèvre), coagulé soit par l'action d'enzymes coagulantes d'origine végétale (fleurs de *Cynara cardunculus* L., *Cynara scolymus*, feuilles de *Ficus carica*) ou animale (caillotte de veau, agneau ou chevreau) (Adewumi, 2019 ; Hayaloglu, 2017 ; Ouadghiri et al., 2005). Le caillé est ensuite égoutté dans une mousseline jusqu'à atteindre la consistance désirée et salé ou non, selon les goûts (Benkerroum et Tamime, 2004 ; Leksir et al., 2019).

Ce travail est structuré en trois parties principales. La première partie est dédiée à une synthèse bibliographique, centrée sur un chapitre portant sur les fromages traditionnels. La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail, comprenant l'ensemble des analyses physico-chimiques, biochimiques ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante du fromage traditionnel *Jben*. Enfin, la troisième partie expose les résultats obtenus, accompagnés de leur interprétation et discussion, et se conclut par une conclusion générale résumant les principaux enseignements de l'étude.

Chapitre 01 : Le fromage

1. Aperçu historique

En raison de son instabilité qui lui confère une faible aptitude à la conservation, le lait a subi des transformations dès les débuts de la domestication. Il subit de nombreux traitements pour prolonger sa durée de conservation et donne une valeur ajoutée à la matière première, c'est pourquoi les habitants des zones rurales transforment le lait en plusieurs produits de manière traditionnelle tel que les fromages (Mutwedu et al., 2018).

Le fromage, l'un des aliments les plus anciens et les plus diversifiés, De sa découverte fortuite à sa transformation en mets gastronomique, le parcours du fromage est une fascinante histoire d'innovation, de tradition et d'échanges culturels. Avant d'aborder l'histoire du fromage, il faut se pencher sur la domestication des animaux laitiers et l'histoire de la production laitière. Le Croissant fertile, région de l'Asie du Sud-Ouest qui comprend des parties de la Turquie, de l'Irak, de l'Iran, de la Jordanie, du Liban et de la Syrie actuels, est l'endroit où les humains ont commencé à domestiquer le bétail vers 8 000 avant J.-C., en commençant par les chèvres et les moutons. Vers 7000 avant J.-C., les premiers bovins ont été domestiqués et, vers 6500 avant J.-C., les humains avaient élevé les animaux qu'ils avaient domestiqués à l'origine pour la viande afin qu'ils produisent un excès de lait (Kindstedt, 2017).

En outre, Les progrès considérables dans les techniques de récupération, d'évaluation et d'analyse statistique des restes squelettiques et dentaires, des études génétiques mitochondriales d'ovins, de caprins et de bovins modernes, ainsi que des analyses d'ADN mitochondrial extrait de restes squelettiques néolithiques, étaient également la conclusion selon laquelle la première domestication de ces animaux s'est produite dans le bassin du Moyen Euphrate dans la région du Croissant fertile en Asie du Sud-Ouest (Vigne, 2011; Vigne et Helmer, 2007).

D'autre part, des découvertes archéologiques zoologiques et chimiques récentes révèlent que l'élevage laitier était pratiqué bien plus tôt, à une époque proche de la domestication. (Helmer et al., 2007). La première preuve directe de la production laitière dans les archives archéologiques a été observée à l'aube de la fabrication de la poterie au 7ème millénaire avant JC, dans l'ouest de l'Anatolie (Evershed et al., 2008; Thissen et al., 2010).

Des preuves similaires ont également été observées dans des tamis en céramique néolithiques récupérés dans le nord-est et le nord-ouest de l'Europe, datant du 6ème millénaire avant JC (Salque et al., 2013). Il a été suggéré que ces anciens tamis en poterie étaient utilisés pour séparer le caillé du lactosérum lors de la fabrication du fromage (Gouin, 1997).

2. Définition du fromage

La définition « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitières (lait, lait partiellement ou totalement écrémé, babeurre) utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la phase aqueuse (Brulé et al., 1997).

Le fromage, selon la norme du codex alimentaire (STAN A-6 – 1978 Amendé en 2006) ; est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra dure obtenu après coagulation du lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème, crème de lactosérum ou babeurre, seuls ou en combinaison, qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum : caséines ne dépasse pas celui du lait (St-Gelais et al., 2002).

Le fromage affiné est un fromage qui n'est pas prêt à la consommation peu après sa fabrication, mais qu'on doit maintenir pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

3. La production du fromage

La production de la plupart des variétés de fromages suit le même procédé de base, où la fabrication implique plusieurs processus, dont certains sont communs pour les différents types de fromage. La transformation du lait en fromage s'effectue en quatre étapes principales : la coagulation, l'égouttage, salage et l'affinage. L'étape de coagulation est toutefois généralement précédée d'une étape de prétraitement du lait au cours de laquelle le lait peut subir des procédés tels que la thermisation, la pasteurisation, la standardisation, l'homogénéisation et l'ajout de chlorure de calcium, qui ont des implications technologiques importantes dans la fabrication du fromage (Walstra et al., 2006).

3.1. La coagulation du lait

La coagulation du lait est une étape cruciale pour la fabrication de fromage. Au cours de celle-ci, le lait passe de l'état liquide à l'état solide, par la formation d'un gel ou coagulum, appelé caillé. Elle peut être provoquée par acidification, par l'action d'une enzyme ou encore par l'action combinée des deux (Lapointe-Vignola, 2002).

3.1.1. La coagulation par voie enzymatique

La coagulation par voie enzymatique du lait s'effectue par l'hydrolyse des caséines par le biais des enzymes protéolytiques d'origine animale (présure). Cependant, il existe également

différents substituts de présure appelés « coagulants », d'origine végétale ou microbienne (Jaros et al., 2017 ; Moschopoulou, 2011). Depuis les années 1960, des coagulants microbiens, en réalité des protéases purifiées, sont obtenus à partir d'espèces fongiques comme *Rhizomucor miehei*, *Rhizomucor pusillus* ou *Cryphonectria parasitica* (Andrén, 2011 ; Horne et al. 2017 ; Jaros et al. 2017). Dans les années 1980, la technologie des ADN recombinants a permis la production de chymosine en clonant le gène de production de protéine au sein d'*Escherichia coli* (Andrén, 2011 ; Uniacke-Lowe et al. 2017).

3.1.1.1. Les enzymes protéolytiques d'origine animale (présure).

L'appellation « présure » est consacrée à un mélange d'enzymes animales extraite de la caillotte des jeunes ruminants abattus avant le sevrage (Troch et al., 2017). Cette enzyme est constituée de la pepsine (représente 20%) et de la chymosine (représente 80%). Son mécanisme d'action comporte deux phases :

La phase enzymatique qui correspond à l'hydrolyse de la caséine kappa par la présure (plus précisément de la chymosine) au niveau de la liaison peptidique phénylalanine¹⁰⁵-méthionine¹⁰⁶ libère une partie hydrophile de la caséine kappa (le segment 106-169 caséinomacropéptide (CMP)) dans le lactosérum et une partie restante hydrophobe la paracaséine kappa (le segment 1-105) rattachée à la micelle (Sandra et al., 2007 ; Walstra et al., 2006).

La perte du GMP provoque une diminution progressive de la répulsion électrostatique entre les micelles de caséine et leur état d'hydratation. Lorsque 80 à 90 % de la caséine κ est hydrolysée, la stabilité colloïdale des micelles est fortement perturbée permettant à la phase d'agrégation secondaire spontanée de se produire (Anema et Li, 2003). A ce stade, les micelles de caséine se rapprochent (due à l'augmentation des forces d'attraction des micelles de para-caséine) par le biais d'interactions hydrophobes provoquant la formation d'une structure semblable à un gel lorsque les micelles de caséine perdent leur solubilité. Le gel est ensuite solidifié davantage par réticulation au calcium (Dalglish et Corredig, 2012 ; Ferreira, 2011) (**Fig.1**).

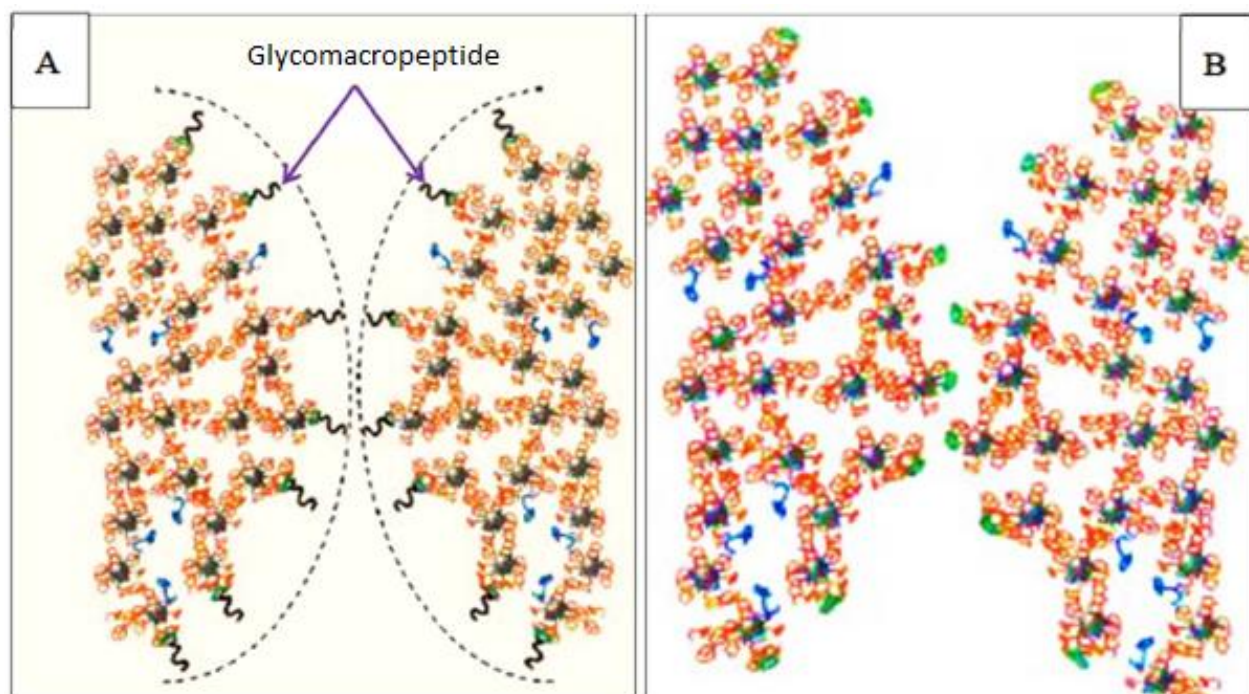


Figure 1 : Micelle de caséine native avec une caséine κ intacte fournissant une charge et une stabilisation stérique contre l'aggrégation (A), et des micelles de caséine qui ont perdu le glycomacropeptide de la caséine κ en raison de l'hydrolyse induite par la présure (B) (Dalglish et Corredig, 2012)

3.1.1.2. Les enzymes protéolytiques d'origine végétale.

Récemment, une grande attention s'est portée de plus en plus sur les coagulants d'origine végétale tels que les protéases présentes dans divers tissus végétaux comme la fleur de cardon. Les présures végétales sont devenues un sujet d'intérêt croissant dans l'industrie fromagère, en raison de leur disponibilité facile et de leurs processus de purification simples (Grozdanovic et al., 2013). De plus, l'utilisation de protéases végétales dans la fabrication du fromage favorise une meilleure acceptation par les végétariens et peut améliorer leur apport nutritionnel (**Tab.1**).

Tableau 1 : Protéases végétales coagulantes du lait caractérisé à partir de différentes sources végétales

Protéase	Source	Références
Bromelain	Pineapple (<i>Ananas comosus</i>)	Harrach et al., 1998
Papain	Papaya (<i>Carica papaya</i>)	Mitchel et al., 1970
Ficin	Figuier (<i>Ficus racemosa</i>)	Devaraj et al., 2008
Cardosin	Chardon (<i>Cynara cardunculus</i>)	Ordiales et.al., 2012
Actinidin	Kiwi (<i>Actinidia chinensis</i>)	Katsaros et al., 2010
Cucumisin	Melon (<i>Cucumis melo</i>)	Uchikoba et Kaneda, 1996
Lettucine	Laitue (<i>Lactuca sativa</i>)	Lo Piero et al., 2002

Les protéases végétales sont classées en différents groupes en fonction du mécanisme catalytique utilisé au cours du processus hydrolytique. Les principales classes de protéases de coagulation du lait sont les protéases aspartiques, sérine et cystéine (Shah et al., 2014).

Les protéases aspartiques (PAs)

Se trouvent dans de nombreuses variétés d'espèces végétales. Cette catégorie des protéases a deux résidus d'acide aspartique dans le site catalytique (Mandujano-González et al., 2016). Ces types de protéases sont plus actifs à pH acide (pH 3–5) (Yegin et al., 2011) et se composent de deux lobes contenant les résidus d'acide aspartique mentionnés ci-dessus, qui sont essentiels pour réaliser la fonction catalytique de l'enzyme (Rawlings et Bateman, 2009). Ces protéases ont été trouvées dans de nombreux tissus végétaux, tels que : les fleurs de *Citrus aurantium* (Mazorra-Manzano et al., 2013), les fruits de *Withania coagulans* (Salehi et al., 2017) et les fleurs de *Cirsium vulgare* (Lufrano et al., 2012). Les protéases aspartiques les plus répandues et les plus utilisées sont certainement les cardosines extraites de *Cynara cardunculus* (Veríssimo et al., 1995). Les plus abondantes sont la cardosine A et la cardosine B ; plus récemment, quatre cardosines supplémentaires ont été isolées des fleurs (cardosines E, F, G et H) (Sarmiento et al., 2009 ; Veríssimo et al., 1995). Les cardosines A et B sont souvent comparées respectivement à la chymosine et à la pepsine, car la cardosine B est moins sélective que la A pour hydrolyser les caséines (Simões, 2013). Cependant, une comparaison entre la chymosine et les cardosines montre que ces dernières ont une PA plus élevée, ce qui conduit à l'apparition de saveurs amères (Macedo et al., 1996 ; Sousa et Malcata, 2002).

Les protéases de type cystéine (PCs)

Les protéases à cystéine ou thiol-protéases ont un mécanisme catalytique qui implique un groupe cystéine dans leur site actif. Le domaine catalytique actif contient trois résidus catalytiques (Cys-His-Asn) ayant des fonctions spécifiques. Ces types d'enzymes sont produits sous forme de précurseurs inactifs et possèdent un peptide qui agit comme signal pour la sécrétion de la protéine et un prodomaine auto-inhibiteur pour empêcher la dégradation indésirable des protéines (Coulombe et al., 1996).

L'une des protéases à cystéine les plus étudiées est la *papaine* de *Carica papaya* (Konno et al., 2004), mais d'autres protéases à cystéine ont été extraites de *rhizomes de gingembre* (Konno et al., 2004), du latex de racine de *Jacaratia corumbensis* (Hashim et al., 2011) et d'*Actinidia chinensis* (Duarte et al., 2009). De Farias et al., (2020) ont découvert une protéase à cystéine présente dans les fruits de *Morinda citrifolia*. L'extrait enzymatique de ces fruits présente une température optimale de 50 °C et un pH de 6,0. Les fromages produits avec cet extrait ont montré un poids frais et un rendement significativement plus élevé que les fromages produits avec de la présure de veau commerciale avec une mastication similaire, mais une dureté, une cohésion, une élasticité, une adhésivité et une adhérence inférieures.

Les protéases à sérine (PSs)

Les protéases à sérine sont des enzymes qui impliquent un résidu Ser dans leur site catalytique et sont regroupées en plus de 20 familles. Les sérines protéases forment des complexes covalents enzyme/substrat, elles possèdent de forts résidus d'acides aminés nucléophiles dans leur site catalytique et effectuent ainsi une attaque nucléophile sur le groupe carbonyle de la liaison peptidique du substrat (Dunn, 2009).

Elles sont présentes dans de nombreux tissus végétaux, mais plus abondamment dans les fruits, et participent à de nombreuses voies métaboliques de la plante (ND, 2009). Une sérine protéase capable de coaguler le lait a été extraite de *Solanum dubium*, appelée dubiumine, qui s'est révélée très stable sur une large plage de pH (4,0 à 11,0) ainsi que sur une large plage de températures (20 à 90 °C) (Uchikoba et Kaneda, 2009). D'autres protéases à sérine végétales capables de coaguler le lait sont la cucumisine issue de *Cucumis melo* (Ahmed et al., 2009), la religiosine issue de *Ficus religiosa* (Kumari et al., 2012) et la strebline issue de *Streblus Asper* (Tripathi et al., 2011). Une alternative à la présure animale est la protéase à sérine extraite des

tissus du fenouil (*Foeniculum vulgare*). Cette enzyme reste active et stable à un pH compris entre 6 et 7,5 et à des températures comprises entre 40 et 60 °C (Bey et al. 2018).

3.1.1.3. Les enzymes protéolytiques d'origine microbienne.

La substitution de la présure animale peut être réalisée non seulement par des protéases végétales, mais aussi par des enzymes de type pepsine d'origine microbienne. L'avantage des enzymes microbiennes : faible coût de production, respect des critères d'origine naturelle et des exigences végétariennes. Déjà en 1974, les protéases *Rhizomucor miehei*, *Rhizomucor pusillus* et *Cryphonectria parastica* étaient utilisées dans la production de 60 % du fromage fabriqué aux États-Unis. Ces champignons filamenteux, producteurs d'enzymes coagulantes du lait, restent aujourd'hui d'un grand intérêt pour la fabrication fromagère (Aktayeva et al. 2018).

L'aspartate protéase obtenue à partir de *Rhizomucor miehei* et *Rhizomucor pusillus* a une structure tridimensionnelle similaire à celle de la chymosine, appelée mucorpepsine (EC 3.4.23.23) et est l'enzyme présure la plus courante d'origine microbiologique. Cette protéase clive la κ -caséine en glycomacropeptide et para- κ -caséine en hydrolysant uniquement la liaison peptidique Phe105 et Met106 (Altaelva et al. 2018). Le précurseur de la mucorpepsine, obtenu à partir de *Rhizomucor pusillus*, est constitué de 437 acides aminés, dont 22 sont des peptides signal, les 44 acides aminés suivants sont des propeptides et 361 acides aminés constituent une protéase mature. Dans le cas de *Rhizomucor miehei*, le précurseur comprend un peptide signal de 22 acides aminés, un propeptide de 47 acides aminés et une protéase mature de 361 acides aminés (Neelakantan et al., 1999).

L'endotiapepsine (EC 3.4.23.22) est produite par *Cryphonectria. parastica*. Le précurseur est composé de 419 acides aminés, le peptide signal de 20 acides aminés, le propeptide de 69 acides aminés et l'enzyme mature de 330 acides aminés. Initialement, les propriétés de liaison au lait de l'endotiapepsine ont été attribuées au clivage de Phe105 et Met106, mais des études ultérieures ont montré que l'enzyme agit sur la liaison peptidique voisine Ser104-Phe105 dans la molécule de κ -caséine (Neelakantan et al., 1999). Une caractéristique particulière de cette protéase est sa grande thermolabilité, grâce à laquelle l'endotiapepsine a trouvé une large application dans la production de fromages tels que le cheddar, le suisse, le colby et l'italien. Les fromages fabriqués à partir d'endotiapepsine sont évalués par les experts fromagers comme étant de qualité équivalente, voire supérieure, à celle des fromages témoins produits à partir de chymosine animale (Feijoo-Siota et al., 2014).

3.1.2. Facteurs influençant le processus de coagulation

Tous les aspects de la production du caillé (coagulation enzymatique, fermeté du caillé, synérèse) sont influencés par la composition du lait et notamment par les concentrations en caséine, en calcium et le pH, la concentration de la présure, La température et bien d'autres. Certains des facteurs les plus importants sont présentés ci-dessous (Fox et Mc Sweeney, 2004).

3.1.2.1. La composition du lait

La composition du lait a un impact significatif sur le rendement et la composition du produit fromager. Les quantités de caséine et de matière grasse sont les principaux facteurs influençant la coagulation du lait et ses performances. La proportion de matière grasse par rapport à la caséine détermine la quantité de matière grasse présente dans la matière sèche du fromage. Ce rapport influence également la synérèse et donc la teneur en eau du produit final (Walstra et al., 2006). La teneur en caséine du lait a également un effet sur la vitesse de raffermissement ; le gel augmente avec la concentration en caséine. Cependant, le temps de prise du caillé n'augmente que légèrement avec la teneur en caséine (Vignola, 2002). La taille des micelles de caséine influence la coagulation du lait : des micelles plus petites donneront un caillé plus ferme (Glantz et al., 2010).

3.1.2.2. Le pH du lait

Le pH du lait influence le temps de coagulation, la vitesse de gélification et la fermeté maximale. La coagulation est plus rapide, le gel est plus résistant et la fermeté est plus élevée lorsque le pH est compris entre 6,0 et 6,7 (Remeuf et al., 1991). Cependant, selon Croguennec et al., (2008), le pH optimal pour l'action de la présure est d'environ 5,1–5,5, et son activité augmente avec la diminution du pH.

3.1.2.3. La teneur en calcium

La teneur en calcium affecte le temps de coagulation et la fermeté du gel. Le calcium influence les propriétés rhéologiques et fonctionnelles du fromage en raison des interactions calcium-dépendantes entre les protéines de caséine (Lucey et al., 2003). Le calcium n'a aucune influence sur la phase enzymatique de la coagulation de la présure si le pH est maintenu constant, mais la phase d'agrégation dépend fortement de la concentration de calcium ionique (Ca^{2+}), une corrélation assez forte a été observée entre le raffermissement du gel et la teneur en calcium (Remeuf et al., 1991).

3.1.2.4. La température

La température a également un effet sur la coagulation du lait (Vignola, 2002). En dessous de 10 °C, l'enzyme reste active, mais la gélification ne se produit pas. Entre 10 et 20 °C, la coagulation est lente. Entre 30 et 42 °C, elle est progressive. Au-delà de 42 °C, la coagulation commence à diminuer et s'arrête complètement à 55 °C (Walstra et al., 2006). On sait que la température affecte à la fois la phase enzymatique et non enzymatique de l'agrégation pendant la coagulation du lait, et il a été constaté que cet effet est beaucoup plus important sur la phase secondaire, c'est-à-dire sur la réaction d'agrégation elle-même (Castillo et al., 2000).

3.1.2.5. Le type et la concentration de coagulant

Le type et la concentration de coagulant utilisé contribuent au rendement par la structure et la fermeté du caillé produit lors de l'hydrolyse de la caséine et sa coagulation (Lopez et al., 1998; Walstra et al., 2006). Le temps de coagulation est inversement proportionnel à la quantité d'enzyme utilisé (Mahaut et al., 2003). D'autre part, Le taux de raffermissement et la fermeté du gel augmentent quant à eux avec la concentration en présure (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002).

3.1.3. La coagulation par voie acide

La coagulation acide représente un processus fondamental dans la transformation laitière, caractérisé par la précipitation des caséines lorsqu'elles atteignent leur point isoélectrique (pH 4,6). Ce phénomène peut être provoqué soit par voie biologique, grâce à l'action de ferments lactiques spécifiques, soit par voie chimique, notamment par l'introduction de dioxyde de carbone ou l'ajout de gluconodeltalactone (Abakar, 2012).

Sur le plan biochimique, la fermentation lactique génère des protons H^+ qui réduisent progressivement les charges négatives présentes à la surface des micelles de caséine. Cette neutralisation entraîne une diminution significative de leur couche d'hydratation ainsi qu'un affaiblissement des forces de répulsion électrostatique entre ces structures protéiques (Walstra, 1990). Le processus s'accompagne d'une migration du calcium et du phosphate colloïdal, composants essentiels au maintien de l'intégrité micellaire, vers la phase aqueuse du lait. Ce transfert ionique contribue à la fragilisation structurelle des micelles, aboutissant à leur désintégration en sous-unités (Fox et McSweeney, 1998).

Comme l'expliquent Cayot et Lorient (1998), bien que la micelle de caséine présente une remarquable stabilité au pH naturel du lait, sa structure se dégrade progressivement avec l'acidification du milieu. L'effet tampon des caséines α et β s'amenuise, favorisant la solubilisation

croissante du phosphate de calcium, jusqu'à un pH de 5,2, ces modifications n'altèrent pas substantiellement l'architecture micellaire, mais lorsque le milieu atteint le point isoélectrique (pH 4,6), la solubilisation du phosphate devient totale, compromettant sévèrement les liaisons hydrophobes qui participent à la cohésion des micelles (Phadungath, 2005) (**Fig.2**) Le gel obtenu à pH 4,6 présente des caractéristiques physiques particulières : une perméabilité satisfaisante mais une élasticité et une plasticité quasi nulles en raison d'une structuration insuffisante du réseau protéique. Les liaisons impliquées, principalement de type hydrophobe et de faible énergie, confèrent au coagulum une résistance limitée aux contraintes mécaniques (Abiazar, 2007).

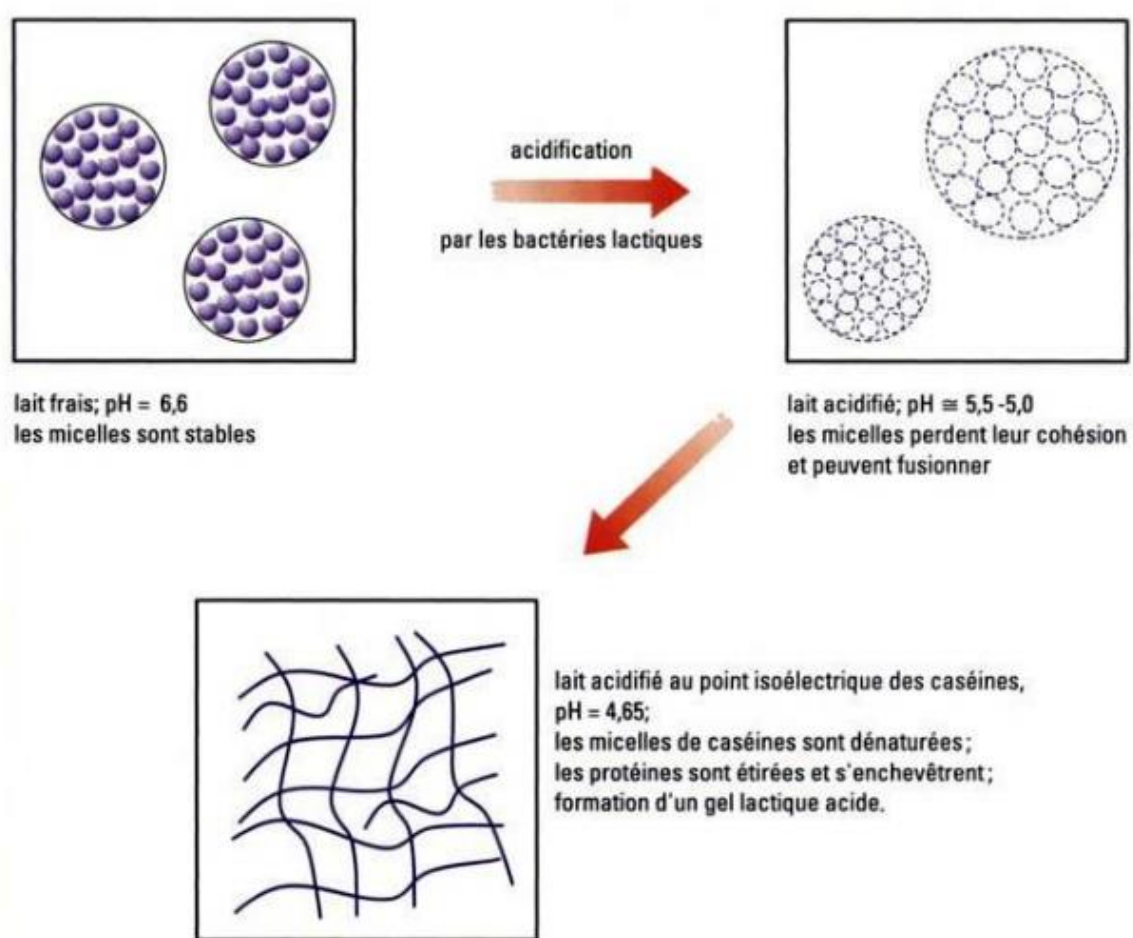


Figure 2 : Formation du gel lactique (Lapointe-Vignola, 2002)

3.1.4. La coagulation mixte

D'autre part, la coagulation mixte peut se produire de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification (Mahaut et al., 2003). Le processus de coagulation mixte constitue une approche hybride combinant l'action enzymatique de la présure avec une acidification simultanée ou séquentielle du lait. Cette méthode représente la technique prédominante dans l'industrie fromagère contemporaine, particulièrement pour l'élaboration de fromages frais tels que le petit suisse ou les demi-sel, ainsi que pour la production de variétés à pâte molle comme le Camembert et le Brie (Soumeiya, 2017).

3.2. Le Salage

En fromagerie, le salage est une phase indispensable de la fabrication des produits affinés. La teneur en sel des fromages varie selon le type de fromage, Le processus de salage contribue à la synérèse par l'action de la pression osmotique, bien qu'il ne constitue pas une technique efficace pour gérer la teneur en eau du fromage, contrairement à l'acidification et à la cuisson (Fox et al., 2017).

En termes de méthodes de salage, le fromage est soit plongé dans une saumure ou du sel est frotté sur la surface du fromage ou du sel est ajouté sur le caillé moulu. L'absorption du sel dépend de plusieurs facteurs : la concentration de la saumure ou la quantité de sel ajoutée dans le cas du salage à sec, l'humidité du fromage, la température ambiante et le rapport entre la surface et le volume du fromage (Bintsis, 2006).

Le salage remplit plusieurs fonctions essentielles : préserver le fromage, renforcer sa sécurité sanitaire et développer sa saveur salée. En particulier, le salage, en plus de réguler le pH et l'activité de l'eau, aide à préserver le fromage en réduisant la propagation de micro-organismes indésirables ou pathogènes. Le salage influence également le profil aromatique du fromage, ses caractéristiques rhéologiques et texturales, son comportement à la cuisson et par conséquent sa qualité globale (Fox, 1987 ; Fox et al., 2017).

3.3. L'égouttage

Ce phénomène appelé également synérèse permet de séparer le caillé, contenant la caséine et la matière grasse, du sérum qui contient le lactose, des minéraux et les protéines solubles du lait (St-Gelais et Tirard-Collet, 2002). L'égouttage peut être spontané ou amélioré par pressage, par découpage et par brassage (Guiraud, 2003).

L'égouttage conduit à l'obtention d'un caillé correspondant au fromage formé et avec une teneur en matière sèche plus ou moins élevée (Brulé et al., 1997). Ce phénomène dépend des facteurs directs (il s'agit des traitements mécaniques et thermiques), des facteurs indirects (il s'agit de la coagulation enzymatique et/ou de l'acidification) et des facteurs liés à la matière première (richesse en caséines, en protéines solubles et en matière grasse) (Ramet, 1985).

3.4. L'Affinage

A l'exception des fromages à pâte fraîche, tous les types de fromages sont affinés. La phase d'affinage représente une étape cruciale dans l'élaboration fromagère pendant laquelle le fromage acquiert ses caractéristiques organoleptiques spécifiques. Ces propriétés varient selon divers facteurs tels que la nature des ferments utilisés, l'acidité de la pâte, la composition nutritionnelle du fromage (teneur en eau, protéines, matières grasses et minéraux) ainsi que les conditions environnementales lors de la maturation, notamment la température et l'hygrométrie (Bintsis et Papademas, 2017).

Pendant l'affinage, le fromage subit diverses transformations biochimiques, principalement la glycolyse, la protéolyse et la lipolyse. Des modifications secondaires complexes interviennent également, conférant au produit final toute la richesse de ses arômes (Fox et al., 2017). Sa durée d'affinage varie considérablement selon les variétés de fromages : relativement brève pour les pâtes molles (quelques semaines) ou particulièrement longue pour certains fromages à pâte cuite comme le parmesan (jusqu'à plus de 30 mois) (Bintsis et Papademas, 2017).

**Chapitre 02 : Principaux fromages
traditionnels Algériens**

1. Principaux fromages traditionnels Algériens

Contrairement aux idées reçues, l'Algérie possède une tradition bien établie de fabrication de produits laitiers, même si cette activité se limite à la sphère domestique. Le fromage constitue le groupe de produits laitiers le plus vaste et le plus diversifié. Sa production artisanale est étroitement liée au terroir (McSweeney et al., 2017). Les fromages traditionnels sont des biens culturels qui méritent d'être étudiés, caractérisés et protégés (El Rhazi et al., 2015 ; McSweeney et al., 2004) (**Fig.3**). Certains fromages sont connus, fabriqués et consommés jusqu'à nos jours, tandis que d'autres sont malheureusement menacés de disparition pour diverses raisons, notamment le manque de fourrage, l'exode rural et le changement des habitudes alimentaires.

Le répertoire fromager Algérien est riche et contient une grande variété de produits, des fromages frais aux fromages durs. Les fromages traditionnels algériens sont divisés en différentes classes comprenant : les fromages fondus (*Medghissa*), les fromages affinés (*Bouhazza*), les fromages à pâte dure (*Klila*, *Takammart*, *Ioulsân*) et les fromages frais (*Kemariya*, *Mechouna*, *Jben*) (Leksir et al., 2019).

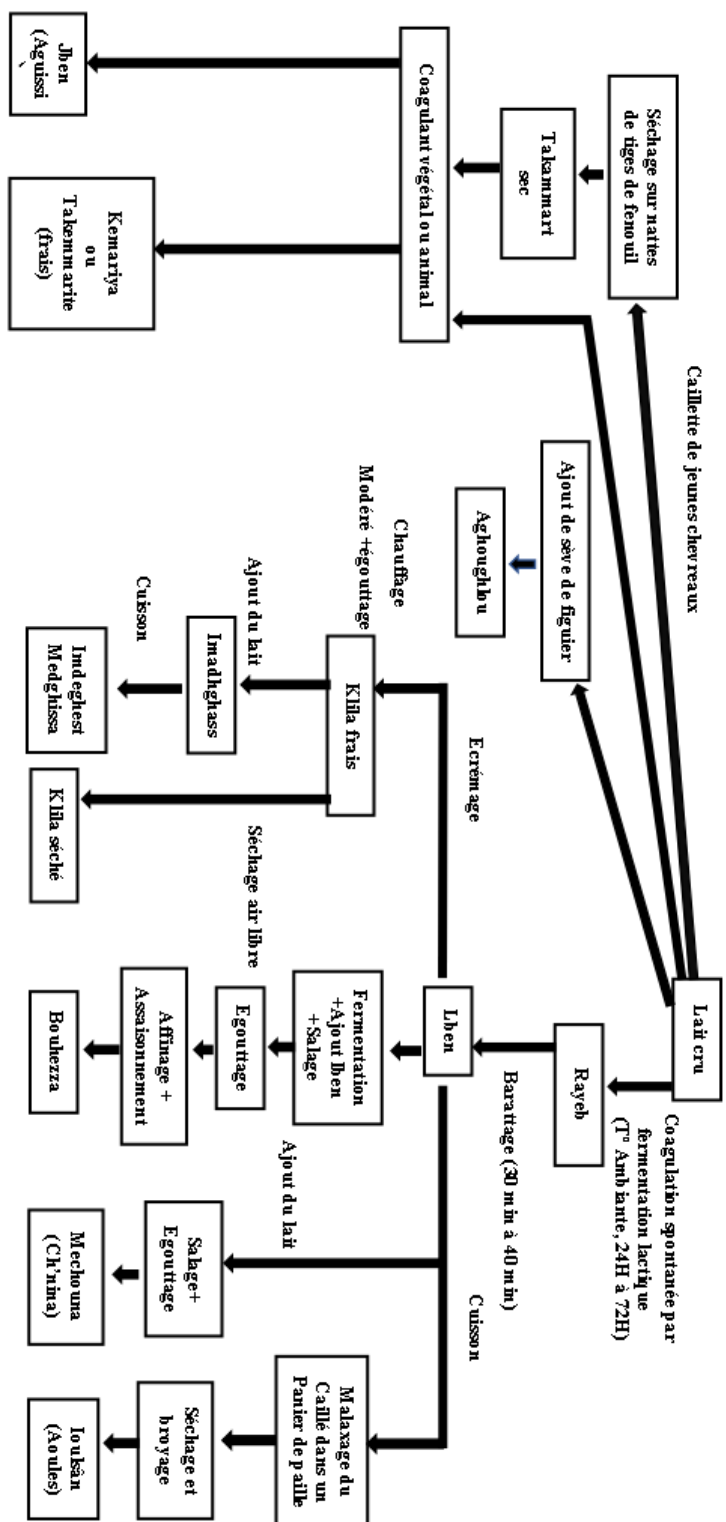


Figure 3 : Schéma de fabrication des principaux fromages traditionnel algérien (Leksir, 2018).

1.1. Les fromages à pâte dure :

1.1.1. *Klila*

Le fromage *Klila*, produit fermier traditionnel algérien occupant une position socio-économique centrale dans les milieux ruraux et périurbains, représente l'un des produits laitiers fermentés les plus répandus dont le procédé artisanal de fabrication perdure malgré l'évolution des pratiques agro-alimentaires (Leksir et al., 2019). Ce fromage, élaboré empiriquement dans diverses régions algériennes, résulte d'un processus de transformation où le "*Lben*" (lait fermenté) est soumis à un chauffage modéré, généralement entre 55 et 75°C jusqu'à obtention d'un caillé et séparation du lactosérum, avant d'être égoutté dans une mousseline (Benlahcen et al., 2017 ; Leksir et Chemmam, 2015) (**Fig.4**). Cette technique de chauffage préalable constitue également une méthode de conservation permettant d'éviter la détérioration du produit pendant la période de stockage, comme l'ont souligné plusieurs chercheurs (Adewumi, 2019).

La polyvalence culinaire du *Klila* constitue l'une de ses caractéristiques distinctives, puisqu'il peut être consommé immédiatement après production comme fromage frais, ou bien être soumis à un processus de déshydratation pour une conservation prolongée, auquel cas il nécessite une réhydratation avant son incorporation dans diverses préparations culinaires traditionnelles, témoignant ainsi de son ancrage profond dans le patrimoine gastronomique algérien et de son adaptation aux contraintes de conservation en milieu rural (Leksir et al., 2019).



Figure 4 : Aspect du fromage *Klila* selon le lait utilisé. A : *Klila* au lait de chèvre. B : *Klila* au lait de brebis. C : *Klila* au lait de vache (Benamara et al. 2022)

1.1.2. *Takammart*

Le *Takammart*, terme signifiant simplement "fromage" dans la langue Tamasheq parlée par les populations touarègues, représente un produit fromager emblématique des zones désertiques du Hoggar situées dans la province méridionale algérienne de Tamanrasset, dont le processus d'élaboration traditionnel témoigne d'une adaptation ingénieuse aux conditions environnementales arides caractéristiques de cette région (McSweeney et al. 2017 ; Ramalho Ribeiro et al. 2006).

Sa méthode de fabrication ancestrale repose sur un principe de coagulation obtenu par l'incorporation d'un fragment d'abomasum (quatrième poche stomacale) prélevé sur de jeunes caprins directement dans le lait, cette matière biologique contenant naturellement les enzymes nécessaires à la précipitation des protéines lactiques ; le caillé ainsi formé est ensuite recueilli soigneusement à l'aide d'ustensiles simples comme la louche, puis déposé et façonné sur des nattes végétales préalablement garnies de tiges de fenouil sauvage, cette plante aromatique jouant un rôle déterminant dans le développement du profil organoleptique distinctif de ce fromage en lui conférant des notes anisées caractéristiques (McSweeney et al., 2017).

La phase finale du processus de transformation comprend une étape cruciale de séchage solaire durant laquelle les nattes supportant le fromage frais sont exposées directement aux rayonnements intenses du soleil saharien pendant une période de deux journées complètes, suivie d'une phase de maturation progressive à l'ombre jusqu'à ce que le produit atteigne le niveau de déshydratation et de fermeté souhaité, ces conditions environnementales spécifiques contribuant significativement au développement des caractéristiques texturales et gustatives qui définissent l'authenticité du *Takammart* au sein du patrimoine fromager algérien (Leksir et al., 2019 ; Ramalho Ribeiro et al., 2006)

1.1.3. *Aoules (Ioulsân)* :

L'*Aoules* est un fromage traditionnel désertique du Sahara Algérienne fabriqué par les Touaregs du Hoggar ou Ihaggarren (Lekcir et al., 2019 ; McSweeney et al., 2017).

C'est un fromage à pâte dure, sec typique (92% de matière sèche) (Amimour, 2019), très similaire au "Skyr" (Islande), "Karish" (Egypte) et "Quark" (Allemagne), obtenu à partir du lait de chèvre, coagulé spontanément, qui est brassé pour enlever le beurre (Lekcir et al., 2019 ; McSweeney et al., 2017). Le *Lben* de chèvre résultant versé dans un pot en argile et chauffé légèrement sur le feu jusqu'à la précipitation des caséines. Le précipité est filtré dans un panier de paille et le caillé est pétri en petite quantité à la fois pour donner la forme d'un petit cylindre plat (2 cm d'épaisseur, 6 à

8 cm de Diamètre). Le fromage est ensuite séché au soleil, broyé et stocké. Ce fromage se consomme généralement avec les dates (Benkerroum, 2013 ; Lekcir et al., 2019).

1.2. Les fromages fondus :

1.2.1. Madghissa

Selon Khoualdi (2017), l'*Imdeghest* ou *Medghissa* représente une variété de fromage fondu traditionnellement élaboré dans la région Chaouia, située au nord-est de l'Algérie est consommé comme un dessert, dont la préparation le *Klila* frais après salage et incorporation de lait frais provenant de vache, de chèvre ou de brebis, dans une casserole le tout est porté à ébullition à feu doux jusqu'à séparation du caillé et du lactosérum. Après refroidissement du mélange, la casserole est inclinée pour retirer le lactosérum (**Fig.5**).



Figure 5 : fromage *Medghissa* (Khoualdi, 2017).

1.3. Les fromages affinés :

1.3.1. Bouhazza

Bouhezza, c'est un fromage à pâte molle affiné emblématique des régions orientales de l'Algérie comme Oum El Bouaghi, Khenchela et Batna, tire son origine de l'élevage extensif caprin et ovin autrefois prépondérant dans ces territoires, bien qu'une évolution récente des pratiques fromagères témoigne d'une utilisation croissante du lait bovin comme alternative aux laits

traditionnels de chèvre et de brebis (Aissaoui Zitoun et al., 2011, 2012 ; Licitra et al., 2019 ; Medjoudj et al., 2017a, 2017b).

Ce produit laitier traditionnel se distingue par son procédé d'élaboration unique reposant sur la transformation du *Lben* (lait fermenté) dans un contenant spécifique appelé Chekoua, confectionné à partir d'une peau de chèvre préalablement traitée au sel et au genévrier pour ses propriétés conservatrices et aromatiques (Aissaoui Zitoun et al., 2011). La particularité du *Bouhezza* réside dans la simultanéité des phases d'égouttage, de salage et d'affinage, toutes réalisées à l'intérieur de cette outre sur une période prolongée de deux à trois mois, pendant laquelle du *Lben* et du lait sont régulièrement incorporés au mélange en maturation, générant ainsi un développement progressif des caractéristiques organoleptiques typiques de ce fromage (Aissaoui Zitoun et al., 2011) (**Fig.6**).

Une autre caractéristique distinctive de ce produit fromager réside dans l'ajout, juste avant sa consommation, de poudre de piment rouge qui lui confère non seulement une coloration spécifique mais également une saveur piquante particulière, contribuant ainsi à son identité gastronomique unique au sein du patrimoine culinaire algérien (Aissaoui Zitoun et al., 2011 ; Medjoudj et al. 2017b).



Figure 6 : fromage *Bouhazza* (Zitoun et al., 2011)

1.4. Les fromages frais :

1.4.1. *Méchouna*

Michouna ou *Méchouna* c'est un fromage frais fréquemment fabriqué dans la région de Tébessa, en particulier en milieu rural. Il peut être préparé tout au long de l'année, surtout pendant la période d'abondance du lait. La façon de fabriquer ce fromage est simple. Le procédé utilisé est unique, et seulement la matière première (lait de vache ou de chèvre) ça change. Traditionnellement, la *Méchouna* est préparée avec du lait de chèvre, mais le lait de vache est désormais plus fréquemment utilisé (**Fig.7**).

Le processus commence par un traitement thermique du lait jusqu'à ébullition. Ensuite du *Lben* est ajouté avec du sel. Souvent la quantité de *Lben* est la moitié de la quantité du lait. Le tout est à nouveau chauffé jusqu'à ce que le caillé et le lactosérum coagulent et se séparent. Le caillé est séparé du lactosérum par filtration dans un tissu (chèche ou mousseline) suspendu et laissé égoutter jusqu'à élimination complète du lactosérum. En général, cette étape peut durer une nuit afin d'assurer que l'égouttage est terminé (Derouiche et Zidoune, 2015).



Figure 7 : Fromage *Mechouna* (Derouiche et Zidoune, 2015).

1.4.2. Kémaria

Fromage traditionnel à base de lait du chèvre, la *Kemariya*, *Kémaria* ou *Takkmerit* (Berbère) est fabriqué par les femmes selon des procédés traditionnels dans les régions du Sud algérien notamment dans les wilayates de Ghardaia et Naama. Souvent ce fromage est fabriqué par des coagulants d'origine végétale ou animale et est aussi fabriqué à partir de lait de vache ou de chamelle. Après coagulation, le caillé est découpé et égoutté dans un tissu en mousseline (chache), puis suspendu et laissé s'égoutter jusqu'à élimination de la totalité du lactosérum, ce fromage souvent consommé comme un dessert lors d'occasions festives et de fêtes religieuses avec du miel, et servi avec du thé à la menthe (McSweeney et al., 2017; Nouani et al., 2009) (**Fig.8**).

Du fait de la forte demande de ce fromage, il est de plus en plus produit par des petites et moyennes entreprises selon des processus semi industriels pour être commercialisé aussi bien sur les marchés traditionnels qu'au niveau de certaines grandes surfaces du Nord algérien (Nouani et al., 2009).



Figure 8 : Fromage *Kémaria* (Benderouich, 2009)

1.4.3. *Jben*

Le *Jben* (*Aguissi*), représentant une des catégories majeures des fromages traditionnels algériens aux côtés des fromages affinés, fondus et à pâte dure, constitue un patrimoine culinaire maghrébin menacé par l'indisponibilité des fourrages, l'exode rural et l'évolution des

comportements alimentaires, justifiant ainsi des efforts de caractérisation et de préservation (El Rhazi et al., 2015 ; McSweeney et al., 2004 ; McSweeney et al., 2017).

Généralement ce fromage frais produit principalement à partir de lait cru de vaches, chèvres et brebis, à petite échelle pendant la période d'abondance laitière dans une zone restreinte du Nord-Est et -Ouest de l'Algérie (Tadjine et al., 2020) (**Fig.9**).

Concernant la fabrication traditionnelle du *Jben*, le lait est d'abord filtré pour éliminer les impuretés grossières qu'il peut contenir, puis il est chauffé dans un récipient à 40 °C pendant 10 min, puis un morceau de présure d'origine animale (veau, agneau ou chevreau) est mis dans le lait, ce qui fait cailler le lait, ou une quantité d'un coagulant d'origine végétale provenant de fleurs de cardon (*Cynara cardunculus L.*), d'une plante épineuse sauvage (*Cynara humilis*), d'artichaut (*Cynara scolymus*) ou de graines de citrouille (Ouadghir et al., 2005), est mise à macérer dans le lait jusqu'à coagulation (Amimour, 2019 ; Lahsaoui, 2009). La variété végétale utilisée varie d'une région à l'autre ; elle confère un goût et une texture appréciés des habitants de la région concernée. Le caillé est ensuite égoutté dans une mousseline jusqu'à atteindre la consistance désirée et salé ou non, selon les goûts (Benkerroum et Tamime, 2004 ; Leksir et al., 2019).



Figure 9 : Le de fromage *Jben* (Amimour, 2019).

Partie expérimentale

Chapitre 01 : Matériel et méthodes

1. Matériel

1.1. Matériel non biologique

1.1.1. Produits chimiques et réactifs :

Colorants et réactifs spécifiques :

- Sulfate de cuivre (CuSO_4) (Usage : tests de Fehling/Benedict, indicateur d'ions réducteurs)
- Réactif de Tashiro (Usage : indicateur pour les titrages)
- Acide borique (H_3BO_3) (Usage : tampon, antiseptique, conservation d'échantillons)
- Phénolphthaléine (Usage : indicateur de pH (virage autour de pH 8.2–10))
- Tartrate de potassium et de sodium (sel de Seignette) (Usage : stabilisateur, agent complexant dans certains réactifs)
- Réactif de Folin–Ciocalteu (Usage : dosage des polyphénols / protéines totales)

1.1.2. Appareillage :

- Spectrophotomètre (JENWAY 6305 UV–Visible)
- Évaporateur rotatif
- Balance électronique (KERN PCB)
- PH-mètre (WTW PH 3310)
- Etuve (memmert UN55)
- Agitateurs (SCILOGEX)
- Soxhlet
- Thermomètre
- Verrerie (béchers, fioles jaugées, pipettes graduées, burette de précision, verre de montre, erlenmeyers, entonnoirs, éprouvette, cristalliseur, baguette en verre, tube à essai...etc.)
- Four à moufle (Nabertherm)
- Sable de quartz purifié
- Dessiccateur (BOEKEL SCIENTIFIC)
- Bain-marie (memmert)
- Doseur d'azote (UDK 126 D – VELP Scientifica)

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Lait cru de vache

Nous avons collecté les échantillons de lait cru de vache directement après la traite dans une ferme familiale située à Bouzougla, dans la région de Khenchela. Environ 5 litres de lait ont été recueillis et immédiatement placés dans des glacières propres. Nous avons ensuite transporté ces échantillons jusqu'au laboratoire dans des contenants stériles, en les maintenant réfrigérés à 4°C. Ce lait a été conservé à cette température jusqu'à la fabrication du fromage et la réalisation des différentes analyses prévues.

1.2.2. Coagulants

Parmi les diverses enzymes d'origine végétale utilisées comme alternatives à la présure animale, les cardosines issues des fleurs de chardon (*Cynara cardunculus*) qui se distinguent notamment par leur excellente activité coagulante (Roseiro et al., 2003).

Concernant la préparation de ce coagulant végétal, nous avons sélectionné les parties violettes supérieures des fleurs de chardon récoltées dans la ville de Zawia au sud de la Wilaya de Khenchela, principalement les pistils. Après les avoir soigneusement coupées et séparées du reste de la plante, nous avons éliminé toutes les impuretés. Les fleurs fraîchement récoltées ont ensuite été mises à sécher pendant environ un mois (30 jours) à température ambiante (entre 20 et 25°C), en évitant toute exposition directe à la lumière solaire (Gomes et al., 2018).

2. Méthodes

2.1. Fabrication du Fromage Traditionnel

Dans les procédures traditionnelles de préparation du *Jben* on suit les démarches suivantes (Bensiameur-Touati, 2004) :

- **Préparation d'échantillon** : Utiliser environ 1 gramme de fleurs pour chaque litre de lait de vache.
- **Chauffage du lait** : Réchauffer le lait cru frais à environ 30°C pendant 15min.
- **Ajout du coagulant** : Verser les fleurs de chardon dans le lait tiède.
- **Mélange** : Bien remuer pour répartir uniformément le coagulant dans le lait.
- **Coagulation** : Laisser reposer jusqu'à ce que le caillé se forme (observer visuellement).
- **Travail du caillé** : Une fois formé, découper le caillé et le remuer doucement avec une louche pour aider l'évacuation du petit-lait.

Moulage : Verser le caillé dans des moules préalablement tapissés d'un tissu fin (sacs en mousseline).

- **Égouttage** : Laisser égoutter complètement, pour éliminer le sérum.
- **Conservation** : Placer le fromage frais au réfrigérateur à 4°C.



Préparation d'échantillon

+



Chauffage du lait



Ajout du coagulant

15min



Coagulation



Fromage frais

Figure 10 : Etapes de la fabrication du fromage (*Jben*)

3. Analyses

Après égouttage, les échantillons du fromage ont été coupés et divisés en plusieurs morceaux pour déterminer les caractéristiques physicochimiques, biochimique ainsi que l'activité anti-radicalaire.

3.1. Analyses physico-chimiques

3.1.1. Détermination du pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Hanna), préalablement calibré par des solutions tampon à 0,01 unités de précision selon la méthode mentionnée par Benamara et al., (2016). Un échantillon de 10 grammes du fromage a été homogénéisé avec 90 ml d'eau distillée, puis l'électrode du pH- mètre est placée directement dans l'homogénat (le procédé a été évalué en triple).

3.1.2. Mesure de l'acidité titrable

La détermination de l'acidité titrable exprimée en degré Dornic (°D), ou en gramme d'acide lactique pour cent gramme de fromage consiste à solubiliser l'acide lactique d'une prise d'essai de 10 g de *Jben* dans 90 ml de l'eau distillée. Par la suite 10 ml de la solution homogénéisée a été titrée par une solution de NaOH (N/9) en présence de phénolphtaléine jusqu'à ce que la couleur vire au rose (Amimour, 2019).

L'acidité du fromage est calculée selon la méthode officielle de l'AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (AOAC, 2005a) selon la formule suivante :

Acidité du fromage = $V' \times 0,009$; exprimée en g acide lactique/ 100 g du fromage.

V' représente le volume de NaOH qui neutralise 100 g de fromage.

3.2. Analyses biochimiques

3.2.1. Détermination de la matière sèche

La méthode a consisté à mettre 5 g de fromage dans une capsule d'étuvage placée à l'étuve à une température comprise entre 101 et 105 °C pendant 3 heures. Les capsules ont été ensuite transférées dans un dessiccateur pendant quelques minutes le temps qu'elles refroidissent et atteignent la température ambiante, puis elles ont été pesées conformément à la norme ISO NF ISO (ISO, 2004). Le résultat a été calculé selon la formule :

$$EST = (P3 - P1) / (P2 - P1)$$

- P1 : le poids de la capsule vide
- P2 : le poids de la capsule + du fromage avant étuvage

- P3 : le poids de la capsule plus celui du fromage après étuvage et dessiccation

3.2.2. Détermination de l'azote total

La détermination de l'azote total a été effectuée selon la méthode de Kjeldahl conformément à la norme ISO 8968-1:2014 (ISO, 2014). La teneur en azote total a été obtenue en trois étapes :

- **Phase de digestion (minéralisation)**

Dans un premier temps, 1 g de fromage a été introduit dans un matras de Kjeldahl avec 25 ml de l'acide sulfurique concentré et 2 g du catalyseur (mélange de sulfate de cuivre et sulfate de potassium), puis on chauffe soigneusement le ballon sur l'appareil de minéralisation par chauffage plus intense à 450 °C (pendant 3 à 4 heures) jusqu'à ce que la couleur devienne limpide, à ce moment-là l'azote organique est transformé en azote minéral (digestion complète) selon l'équation suivante :



- **Phase de distillation**

Après refroidissement, le contenu du matras a été transversé dans une fiole de 100mL, le matras a été lavé avec l'eau distillée tout en ajustant le volume jusqu'à 100 ml. 10 mL du contenu de la fiole ont été introduits dans un matras avec 20mL d'eau distillée et 30 mL de la soude à 35%. Cette alcalinisation provoque la libération d'ammoniac gazeux (NH_3) selon l'équation suivante :



En parallèle, pour recueillir l'ammoniac gazeux, une solution 20 ml d'acide borique à 0,1N avec 10 gouttes d'indicateur de Tashiro (de couleur rose- violette en présence d'un milieu acide et verte dans le cas d'un milieu alcalin) a été ajoutée. La distillation s'est déroulée dans un appareil spécifique, elle a été arrêtée au bout de 4 minutes à compter du début d'ébullition. Sachant que, l'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des ions borate :



- **Phase de titration**

La titration est l'étape où l'ammoniaque, fixé sous forme de borate d'ammonium est titré avec une solution d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique 0,1 N. en présence de l'indicateur coloré Tashiro jusqu'à virage de l'indicateur à sa teinte acide (couleur rose- violet) selon l'équation suivante :



Il est nécessaire d'effectuer un essai à blanc pour chaque digestion. La teneur en azote exprimé en masse du produit (g / 100 g d'échantillon) est calculée selon la formule suivant :

$$\text{Azote total (AT)} = (\text{V1-V0}) \times \text{N} \times 0.014 \times 100 / \text{m}$$

V0 : est le volume, en ml de la solution d'acide chlorhydrique utilisée pour l'essai à blanc

V1 : est le volume, en ml de la solution d'acide chlorhydrique utilisée pour la prise d'essai

N : est la normalité de la solution d'acide chlorhydrique utilisée lors du titrage = 0.1 N

M : est la masse en gramme, de la prise d'essai

La teneur en protéines totales est calculée en multipliant par 6,38 la teneur en azote obtenue selon cette méthode par la formule suivante :

$$\text{Protéine (P)} = \text{AT \%} \times 6.38$$

3.2.3. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres a été déterminée par incinération de la matière fromagère (5 g) dans un four à moufle à 550 °C pendant 6 h. Après refroidissement dans un dessiccateur pendant 45 minutes, le % de la teneur totale en cendres est calculé sur base sèche selon les normes françaises (AFNOR, 2004) (AFNOR : NF ISO 8070).

Le calcul du taux de cendres se fait alors comme suit :

$$\text{TC \%} = \frac{\text{P2} - \text{P0}}{\text{P1} - \text{P0}} \times 100 \%$$

Où :

P₀ = masse du creuset vide (g)

P₁ = masse du creuset contenant l'échantillon avant incinération (g)

P₂ = masse du creuset contenant les cendres après incinération (g)

3.2.4. Détermination de la matière grasse

La teneur en matière grasse a été déterminée à l'aide de la méthode de référence de Soxhlet (AOAC, 2005b).

Le principe de cette technique repose sur l'attaque du fromage par l'acide chlorhydrique. Séparation de l'insoluble par filtration suivie de séchage. Extraction de cet insoluble par l'oxyde diéthylique suivie d'évaporation du solvant et pesée du résidu.

- **Attaque chlorhydrique**

Peser 1,5 gramme à 2 grammes de fromage dans une fiole conique ; noter la masse **m_e**. Ajouter à la prise d'essai 20 mL d'acide chlorhydrique. Porter la fiole obturée par un petit entonnoir sur l'orifice du bain d'eau bouillante et l'y maintenir pendant trente à quarante minutes, en agitant de temps en temps. La température du milieu doit atteindre 80°C à 85°C. Rincer ensuite le col de la fiole et son obturateur avec 10 à 15 mL d'eau chaude.

- **Filtration**

Disposer dans un entonnoir deux filtres plats emboîtés et inversés. Mouiller les filtres avec de l'eau. Filtrer le contenu chaud de la fiole. Laver la fiole et les filtres à l'eau bouillante jusqu'à disparition de l'acidité du dernier filtrat. Il est recommandé de ne pas dépasser 400 mL de filtrat. Laisser égoutter les filtres, puis les sécher complètement soit à l'air libre, soit à l'étuve pendant une heure. Les filtres peuvent être laissés dans l'entonnoir en les décollant de la paroi ou être transférés dans un cristalliseur à bec (diamètre 100 mm environ).

- **Extraction**

Peser une fiole rodée ; noter la masse **m₀**. Envelopper le double filtre dans un filtre (cartouche) neuf et l'introduire dans la cellule d'extraction de l'appareil. Mettre en place la fiole rodée. Rincer avec le solvant l'entonnoir et le cristalliseur, en introduisant ce solvant dans l'appareil. Procéder à l'extraction avec du solvant en quantité appropriée aux dimensions de l'appareil pendant quatre heures.

Distiller la presque totalité du solvant de la fiole. Éliminer par évaporation à l'air libre la plus grande partie du solvant résiduel. Placer ensuite la fiole en position inclinée dans l'étuve et l'y maintenir pendant quarante-cinq minutes. Placer la fiole dans un dessiccateur le temps de ramener à température ambiante et la peser. Reprendre la séquence séchage-refroidissement-pesée jusqu'à ce que deux pesées ne diffèrent pas plus de 1 mg ; noter la masse **m₁**.

La teneur en matière grasse est donnée par la relation suivante :

$$\text{Matière grasse en \% m/m} = ((m_1 - m_0) / m_e) \times 100$$

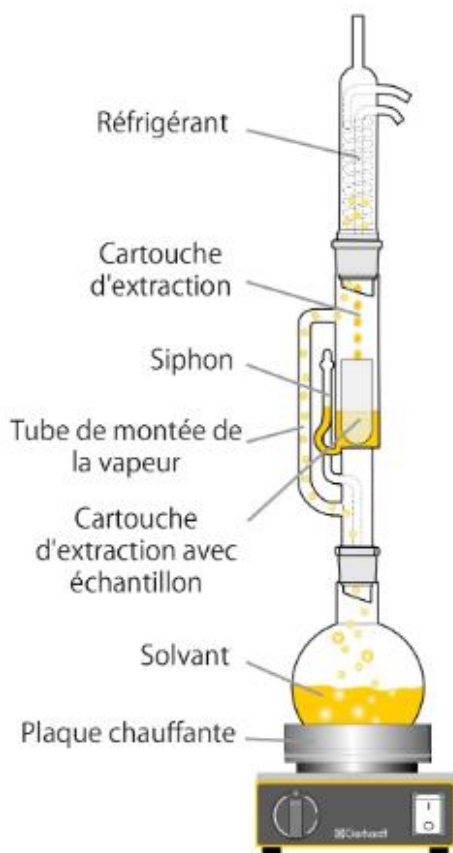


Figure 11 : Principe de fonctionnement de l'appareil de Soxhlet (Malik & Mandal, 2022)

4. L'activité anti-radicalaire par la méthode DPPH

L'évaluation de l'activité anti-radicalaire constitue une approche essentielle pour déterminer le potentiel antioxydant des échantillons fromagers. Cette méthode repose sur l'utilisation du radical libre DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle). Ce protocole standardisé permet de quantifier objectivement la capacité des composés présents dans le fromage à neutraliser les radicaux libres.

4.1. Principe de la méthode

Cette technique repose sur la capacité des antioxydants à céder un atome d'hydrogène au radical DPPH. Lorsqu'un composé doté de propriétés antioxydantes entre en contact avec le DPPH, celui-ci capte un proton, ce qui entraîne une décoloration progressive de la solution, passant du violet au jaune pâle. Cette transformation colorimétrique est proportionnelle à la

concentration en antioxydants et peut être quantifiée par spectrophotométrie à 517 nm (Moon et Shibamoto, 2009). Plus la décoloration est importante, plus l'activité antioxydante de l'échantillon est élevée.

4.2. Procédure expérimentale

Préparation de la solution de DPPH

- Peser précisément 2,4 mg de DPPH
- Solubiliser dans 100 ml de méthanol
- Homogénéiser soigneusement
- Conserver la solution à l'abri de la lumière

Note importante : cette solution ne se conserve pas plus de 4-5 jours, même à l'obscurité

Préparation des échantillons

- Peser avec précision 0,5 g d'échantillon fromager
- Ajouter 9,5 ml de la solution méthanolique de DPPH
- Homogénéiser vigoureusement à l'aide d'un vortex

Incubation

- Placer les échantillons à l'obscurité
- Maintenir à température ambiante (20-25°C)
- Incuber pendant exactement 30 minutes

Mesure spectrophotométrique

- Calibrer le spectrophotomètre avec le blanc (solution DPPH/méthanol)
- Mesurer l'absorbance des échantillons à 517 nm
- Réaliser les mesures rapidement pour éviter toute variation due à l'exposition à la lumière

Pour garantir la fiabilité des résultats, chaque mesure doit être effectuée en triplicata (trois répétitions indépendantes pour chaque échantillon).

L'activité anti-radicalaire est exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH, calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle}] \times 100$$

Sachant que **Abs contrôle** représente l'absorbance du blanc (DPPH/méthanol).

5. Analyse statistique

L'analyse descriptive des résultats est réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2011, pour déterminer les moyennes et les écarts-type.

Les corrélations de Pearson ont été appliquées pour tester les relations entre les paramètres physico-chimiques dans le fromage *Jben* fabriqué à partir de fleurs de chardon (*Cynara cardunculus*). Les matrices de corrélation ont été visualisées dans des tracés interactifs à l'aide du package (Wei et al., 2021) sous le logiciel R version 4.2.1 (R Core Team, 2022).

Résultats et discussion

Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques :

Les résultats des paramètres physico-chimiques (pH, acidité titrable) et paramètres biochimiques (matière sèche, matières grasses, protéines, cendres) analysés (**Tab.2**) qui illustre l'effet du coagulant végétal du lait (fleurs de chardon) sur la composition physicochimique du fromage frais traditionnel « *Jben* » fabriqué à partir de lait cru de vache.

Tableau 02 : Résultats des analyses physico-chimiques de (*Jben*)

Paramètre	Valeur moyenne $\pm$ écart type
pH	6.043 $\pm$ 0.171
Acidité (°D)	44,78 $\pm$ 3,33

1.1. pH

Le pH est l'indicateur le plus vital de la qualité et de la sécurité des aliments. Le pH des aliments tels que le lait et les produits laitiers est mesuré pour garantir la qualité des aliments (Razzaq, 2003). D'après les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les différents échantillons de *Jben*, les valeurs de pH oscillent entre 5,82 et 6,27, avec une valeur moyenne de 6,043 $\pm$ 0,171. Dans l'ensemble, nos résultats révèlent un caractère légèrement acide (**Tab.2**).

Par rapport aux données de la littérature, nos valeurs moyennes se rapprochent à celles obtenues par Abdeen et al., (2021) (6,06) pour le fromage obtenu par *Moringa oleifera* et par Islam et al. (2021) (5,90 $\pm$ 0,06) pour le fromage obtenu par *Papaya latex*. Cependant, nos valeurs s'avèrent significativement supérieures à celles documentées dans la littérature notamment par Tadjine et al., (2020) (4,69 $\pm$ 0,12) pour le *Jben* à base de coagulant animal, par Dahou et al., (2015) (4,62) pour les fromages traditionnels frais *Jben* issus du lait de vache et par Bendimerad, (2013) sur le fromage *Jben* algérien (4.3).

Nombreuses variables, notamment les procédés de fabrication comme les quantités de présure utilisées pour la coagulation, qui entraînent des temps de coagulation très variables, les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du lait, l'origine des agents de coagulation

du lait ont un fort impact sur la matière grasse du fromage (Amimour, 2019; Dahou et al., 2015 ; De la Haba Ruiz et al., 2016).

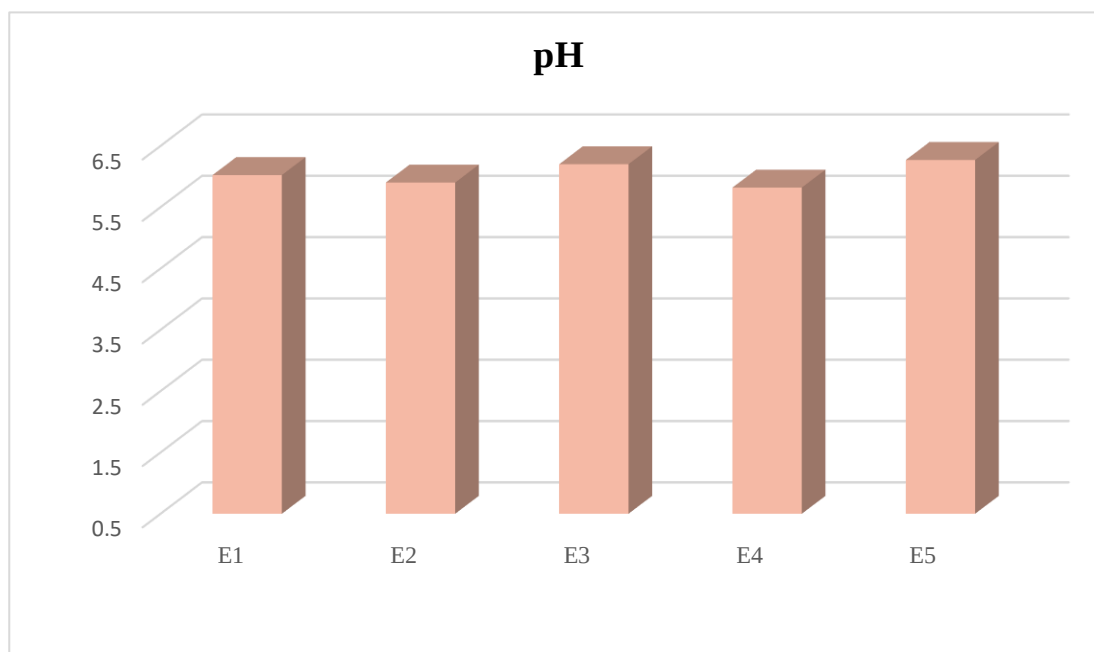


Figure 12 : Variation de pH du fromage (*Jben*).

1.2. Acidité titrable

La détermination de l'acidité titrable constitue un paramètre fondamental dans la caractérisation physicochimique des produits laitiers fermentés. Les valeurs de l'acidité titrable des échantillons de *Jben* analysés varient de 41.05 D   50,442 D (**Fig.13**), avec une moyenne de $44,78 \pm 3,33^\circ\text{D}$ (**Tab.2**). Nos résultats pour l'acidité se rapprochent de la fourchette de nombreuses études notamment par Tadjine et al. (2020) ($43.9 \pm 10.2^\circ\text{D}$ - $46.9 \pm 8.49^\circ\text{D}$) pour le *Jben* , par Elkholy, (2015) (34°D - 48°D) pour un fromage frais fabriqué à base des fleurs de chardon et par Brandielli et al., (2015) ($0.33 \pm 0.02^\circ\text{D}$ - $0.43 \pm 0.01^\circ\text{D}$).

D'autre part, nos teneurs d'acidité sont différentes par rapport aux valeurs trouvées par Abd El-Galeel et al. (2017) (85°D), Tabet et al., (2023) ($92,52 \pm 2,61^\circ\text{D}$), Abd El-Salam et al., (2017) (29°D), Bendimerad, (2013)  galement enregistrée des valeurs moyennes qui varie de 88.25 à 88.5 D pour le *Jben* algérien, Amimour, (2019) ($23.70 \pm 0.81^\circ\text{D}$) pour le *Jben* fabriqué à base d'un coagulant végétal (*Cynara cardunculus*).

Les différences enregistrées dans les teneurs d'acidité en comparaison avec les études de la littérature peuvent être attribuées à la flore microbienne et son activité métabolique (Sousa et Malcata, 2002), aux pâtes de la présure animales artisanales qui ont démontré une importante

diversité microbienne, dotée de caractéristiques technologiquement avantageuse pour la production de fromage (Cruciata et al., 2014).

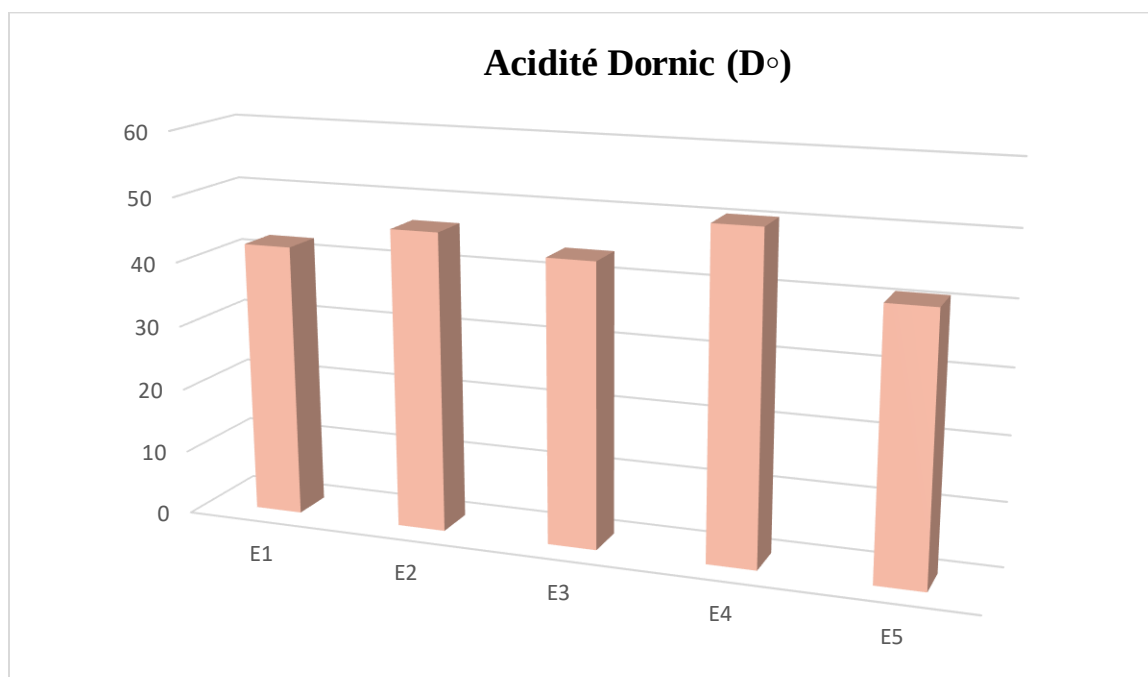


Figure 13 : Résultat d'acidité Dornic (D ) pour le fromage traditionnel (*Jben*).

2. Analyses biochimiques

Les résultats des paramètres biochimiques (mat re sèche, mat res grasses, protéines, cendres) analysés (**Tab.3**) qui illustre l'effet du coagulant végétal du lait (fleurs de chardon) sur la composition biochimique du fromage frais traditionnel « *Jben* » fabriqué à partir de lait cru de vache.

Tableau 03 : Résultats des analyses biochimiques de (*Jben*)

Paramètres	Valeur moyenne $\pm$ écart type
Matière grasse (g /100g)	13,83 $\pm$ 1,90
Cendre (%)	1,50 $\pm$ 0,18
Matière sèche (%)	45,25 $\pm$ 1,95
Protéines (g/100g)	13,08 $\pm$ 1,08

2.1. Le teneur en matière sèche

L'évaluation de la matière sèche constitue un indicateur clé de la déshydratation fromagère et de la concentration des nutriments solides dans les produits laitiers fermentés. Notre investigation révèle des teneurs en matière sèche oscillant entre 42,95 et 47,71% (**Fig.14**), convergeant vers une valeur centrale de $45,25 \pm 1,95$ % (**tab.3**).

L'évaluation comparative de nos données expérimentales révèle une convergence remarquable avec les résultats révélés par de nombreux auteurs sur la même catégorie des fromage étudiés (Boumediene et al., 2024), avec une teneur moyenne en matière sèche de $45,77 \pm 3,52\%$ pour le *Jben* algérien, (Koirala, 2021) (45.68 ± 0.07) pour un fromage frais fabriqué à base d'*Artocarpus heterophyllus*, (López, 2012) (44.45 ± 1.18) pour un fromage fabriqué à base d'un coagulant végétal (*Cynara cardunculus*). En revanche, nos résultats diffèrent significativement des valeurs documentées par plusieurs auteurs par Elkholy, (2015) (38,23%), (De la Haba Ruiz et al., 2016) (38,23%), . Cette tendance a été confirmée par les données d'Azzouz et al., (2024), qui établissent une valeur de 36,39%.

La variation possible de l'extrait sec peut être due aux types de caillé obtenus, qui dépendent de la composition initiale du lait, de l'effet des coagulants ainsi que du type de drainage (Benyahia et al., 2021). Ces variations pourraient être attribuées à des spécificités géographiques dans les savoir-faire traditionnels, les conditions climatiques locales influençant les processus de drainage, ou encore l'adoption de techniques de pressage plus efficaces dans les régions d'étude, des procédés technologiques, de la variété du fromage (Azzouz et al., 2024 ; Islam et al., 2021).

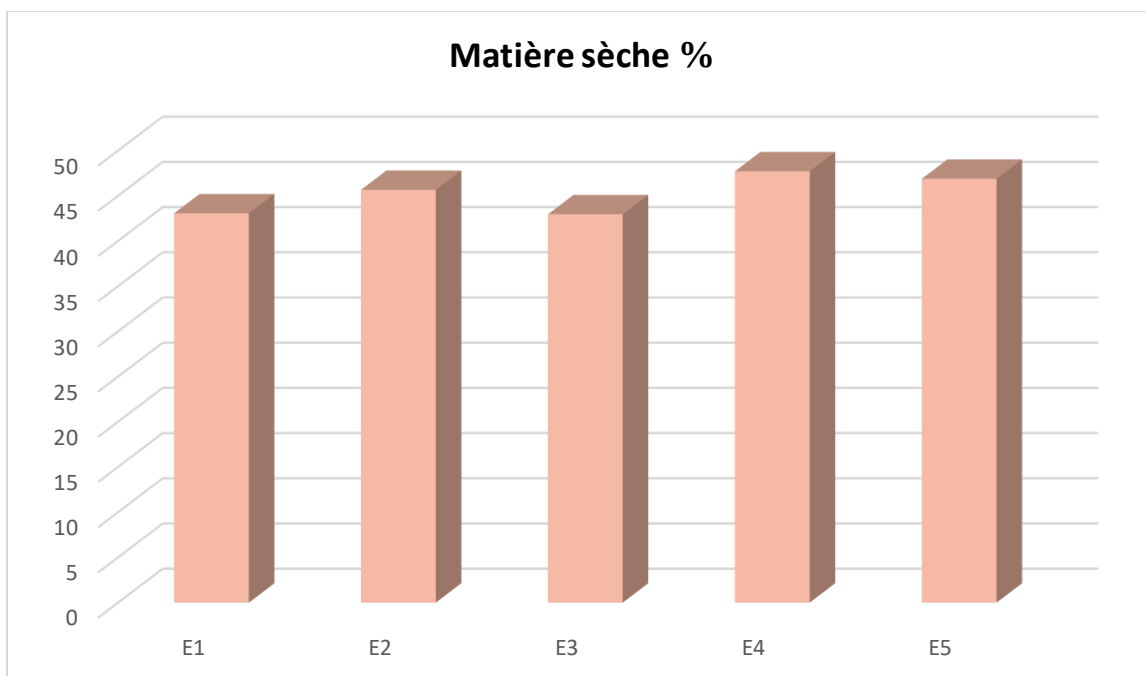


Figure 14 : La teneur de la matière sèche dans le fromage traditionnel (*Jben*).

2.2. La teneur en cendres

La teneur moyenne en cendres des échantillons de fromage à base de coagulant végétal, est $1,50 \pm 0,18\%$ (**tab.3 et Fig.15**). Nos résultats se rapprochent aux valeurs obtenues par Amimour (2019) ($1,46 \pm 0,03\%$) pour le *Jben* fabriqué à base des fleurs de chardon, Massouras et al., (2023) (1,46%) et par Muneeb et al., (2020) (1,736%).

Cependant, nos teneurs sont différentes aux valeurs trouvées par Abebe et Emire, (2020) ($3,02 \pm 0,60 - 4,52 \pm 0,98\%$), Abd El-Salam et al., (2017) (3,41 %), Zantar et al., (2013) (1,99 %), Koirala, (2021) ($3,28 \pm 0,035\%$). d'autre part, les valeurs faibles obtenues dans notre étude peuvent être principalement la conséquence de l'absence de salage lors de la fabrication de notre fromage.

Plusieurs facteurs tels que l'origine du lait cru, les variations saisonnières, les différences d'alimentation, la nature des ingrédients utilisés dans le processus de fabrication du fromage et l'ajout de sel lors de la fabrication du fromage peuvent principalement influencer la teneur en cendre des produits laitiers notamment le fromage (Hrković-Porobija et al., 2021 ; Rana et al., 2017).

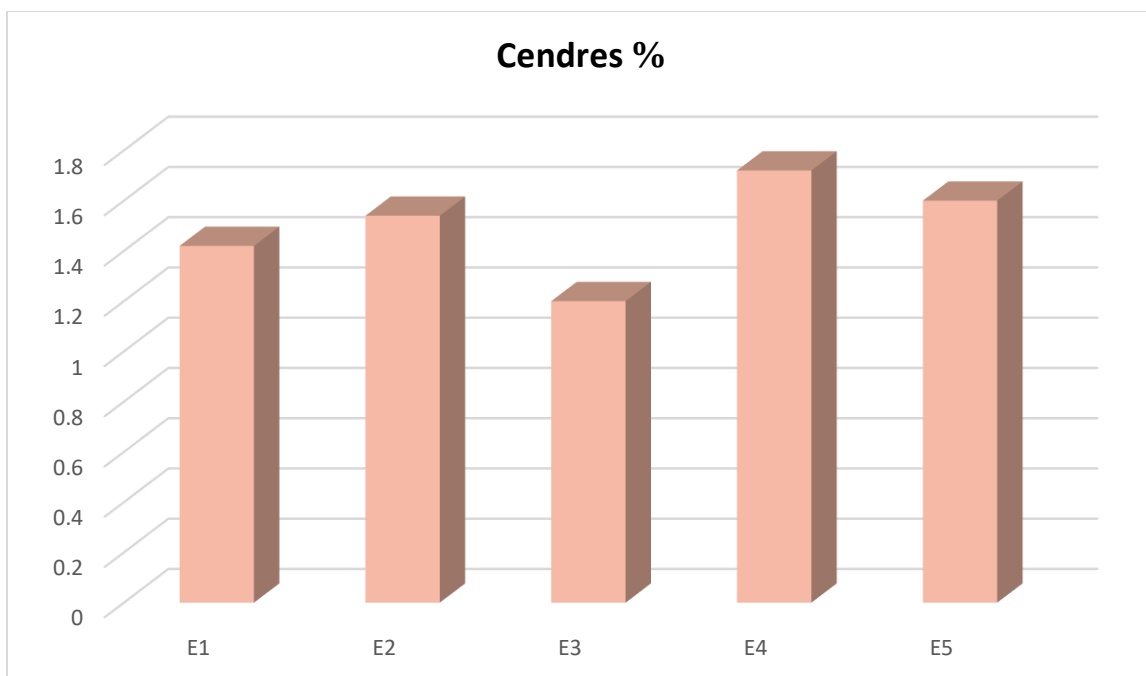


Figure 15 : La teneur des cendres dans le fromage traditionnel (*Jben*).

2.3. La teneur en matière grasse

La détermination de la composition lipidique constitue un paramètre qualitatif essentiel dans la caractérisation nutritionnelle des fromages frais traditionnels. Selon les résultats obtenus pour les analyses physicochimiques des fromages, la teneur en matière grasse varie entre 11,38 et 16,98 g/100g (**Fig.16**), avec une valeur moyenne de $13,83 \pm 1,90$ g/100g (**Tab.3**).

D'après les résultats obtenus, nous pouvons remarquer que nos échantillons de fromage de *Jben* sont pauvres en matière grasse par rapport aux données de la littérature ceci peut être due l'activité protéolytique excessive du coagulant qui entraîne la perte des protéines et par conséquent de la matière grasse (Ben Amira et al., 2016).

Cependant, nos valeurs se rapprochent avec celles rapportées par Abebe & Emir, (2020) ($11.08 \pm 2.33\%$ - $16.86 \pm 2.24\%$) pour un fromage frais fabriqué par un coagulant végétal *Calotropis procera*, et José et al. (2018) ($12.62 \pm 0.38\%$ - $15.25 \pm 0.25\%$) et Amimour, (2019) ($15.13 \pm 0.32\%$ - 31.00 ± 1.32) pour le *Jben*. D'autre part, les teneurs moyennes obtenues dans la présente étude sont inférieures à celles dévoilées par Abd El-Salam et al., (2017) (21 %- 22.5) ; López, (2013) ($22.82 \pm 1.17\%$ - $22.66 \pm 0.79\%$) et Benyahia et al., (2021) ($23,2 \pm 0,02$ g/100g) pour un fromage à base de coagulant végétal. Alors que sont supérieurs à celles trouvées par Bendimerad, (2013) ($8.9 \pm 2.2\%$ - $10.2 \pm 0.6\%$) pour le *Jben* Algérien.

En conclusion, Les variations observées dans les teneurs en matière grasse pourraient être attribuées à de nombreux facteurs dont l'origine du lait utilisé, les différentes étapes de transformation, le régime alimentaire et la saison de production, la maturation, la concentration en sel, la lipase du lait, l'origine des agents de coagulation du lait ont un fort impact sur la matière grasse du fromage (Formaggioni et al., 2015).

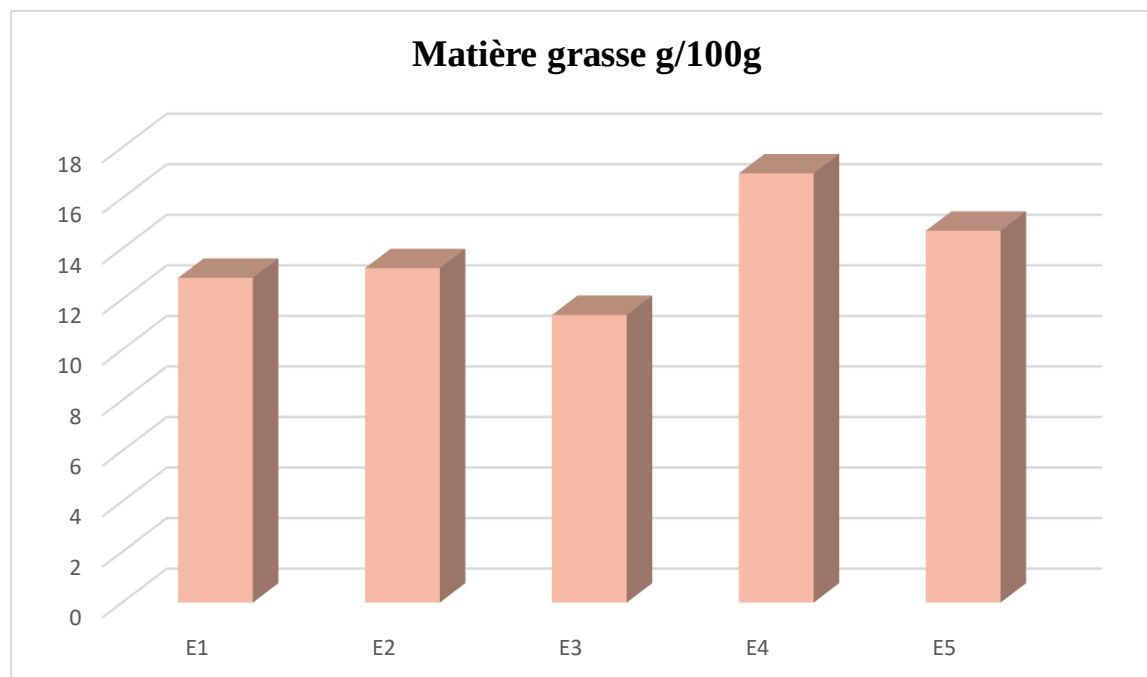


Figure 16 : la teneur en Matière grasse (g/100g) dans le fromage traditionnel (*Jben*)

2.4. La teneur en protéines

Le tableau 2 représente la valeur moyenne et l'écart-type obtenue pour la protéine de nos échantillons de *Jben* variant de 11,33 à 14,45 g/100g (**Fig.17**), avec une moyenne de $13,08 \pm 1,08$ g/100g (**Tab.3**).

Nos résultats sont proches de celles révélées Tabet et al., (2023) ($13,76 \pm 2,03$ g/100 g), par José et al., (2018) ($10,99 \pm 0,26 - 14,51 \pm 0,39$ g/100g) et par Amimour, (2019) ($10,33 \pm 0,15 - 15,4 \pm 1,49$ g/100g). D'autre coté, nos valeurs sont variables par rapport d'autres travaux (Boumediene et al., 2024) ($18,79 \pm 3,29$ g/100g), (Koirala, 2021) ($20,35 \pm 0,19$ g/100g), (Islam et al., 2021) ($18,90 \pm 1,17$ g/100g) pour un fromage frais fabriqué à base d'un coagulant végétal.

Ces divergences compositionnelles vis-à-vis les protéines peuvent être attribuées à plusieurs paramètres dont les procédés de fabrication notamment l'égouttage du caillé qui constitue vraisemblablement le facteur prépondérant influençant la concentration protéique finale, type du lait, le type de coagulant utilisé (Kose et al., 2021)

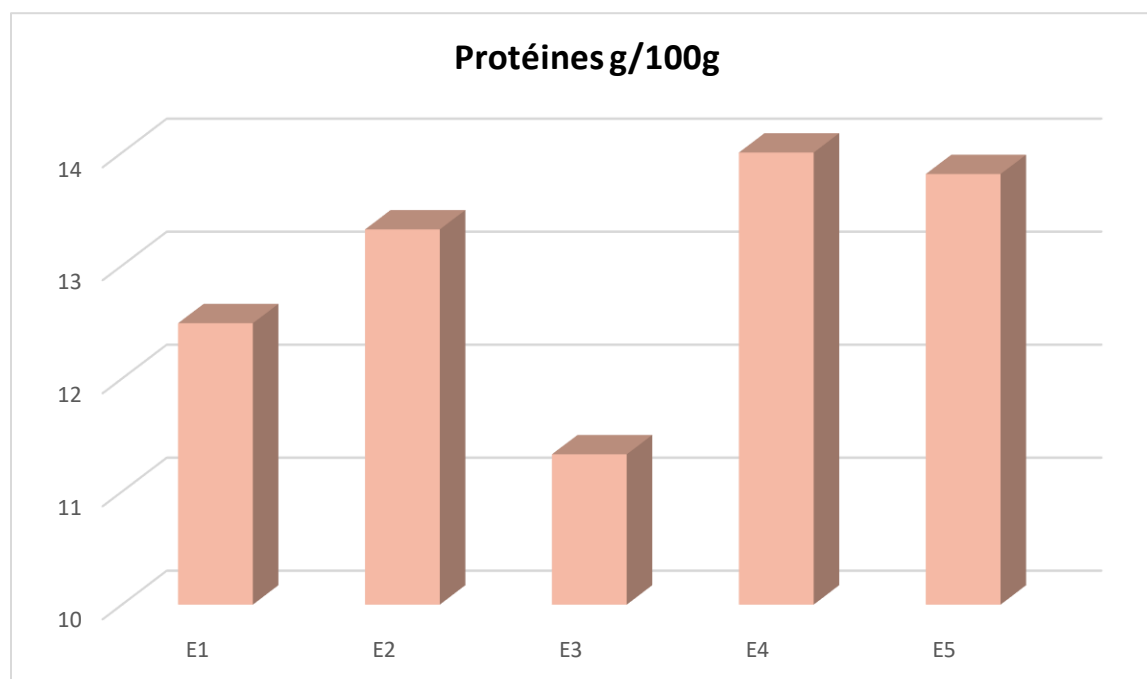


Figure 17 : La teneur en protéines dans le fromage traditionnel (*Jben*).

3. L'activité antioxydante

Le potentiel antioxydant (PA) est une propriété nutritionnelle importante des aliments. Dans les produits laitiers, la fraction protéique, notamment la caséine, possède une activité antioxydante. Parmi les produits laitiers, les fromages présentent le potentiel antioxydant le plus élevé en raison de leur teneur en protéines plus élevée (Fardet et Rock, 2018).

D'après les résultats obtenus lors du dosage de pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par les extraits phénoliques de fromage traditionnel frais (*Jben*), le test révèle des valeurs comprises entre 27,1 et 35% (**Fig.18**), convergeant vers une moyenne de $30,64 \pm 2,85\%$.

Notre investigation positionne le *Jben* dans la gamme supérieure des activités antioxydantes documentées pour les produits laitiers notamment les fromages. Comparativement aux données de Sebbane, (2021) établissant une activité de $28,71 \pm 2,42\%$, nos échantillons enregistrent une performance accrue de 6,7%. Cette tendance a été confirmée face aux résultats d'Hilario et al., (2010) ($26,9 \pm 1,2\%$). D'autre part, Les travaux de Timón et al., (2014) sur les extraits des fleurs de chardon offrent une perspective élargie, démontrant des activités variant de $37,11 \pm 12,47\%$ à $75,72 \pm 6,19\%$ selon la concentration. Cette corrélation concentration-

efficacité suggère que l'optimisation des paramètres d'extraction pourrait potentiellement valoriser davantage le potentiel antioxydant du *Jben*.

Il est essentiel de noter que le potentiel antioxydant des produits laitiers dépend de l'origine de l'animal, de sa génétique, de son alimentation (composition, quantité et complémentation) et des conditions de pâturage (variations saisonnières) des vaches. Ces différences sont principalement dues aux variations de la composition du lait en composés antioxydants (la lactoferrine, ainsi que les vitamines C, E, A et D3 et l'acide linoléique), du degré de protéolyse (Aguiar et al., 2014 ; Meira et al., 2012 ; Perna et al., 2013).

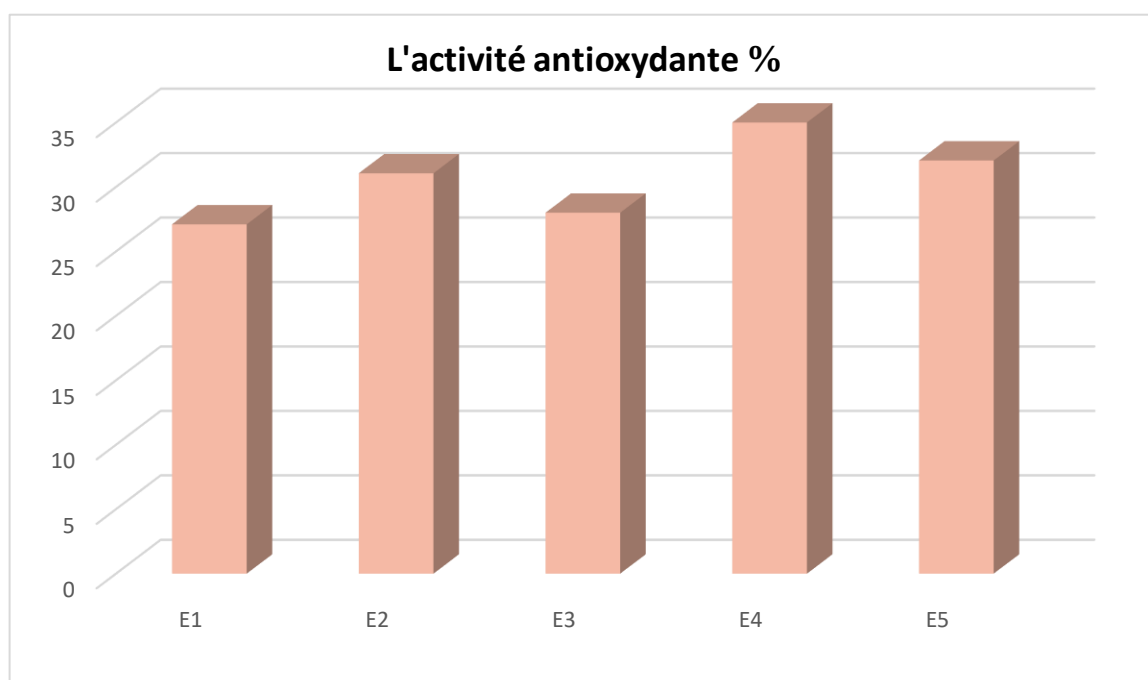


Figure 18 : La teneur de l'activité antioxydante dans le fromage traditionnel (*Jben*).

4. Relation entre les paramètres physico-chimiques du fromage

Pour évaluer s'il existe une corrélation entre les caractéristiques physicochimiques, un test de corrélation linéaire a été effectué (**Fig.19, Tab.4**).

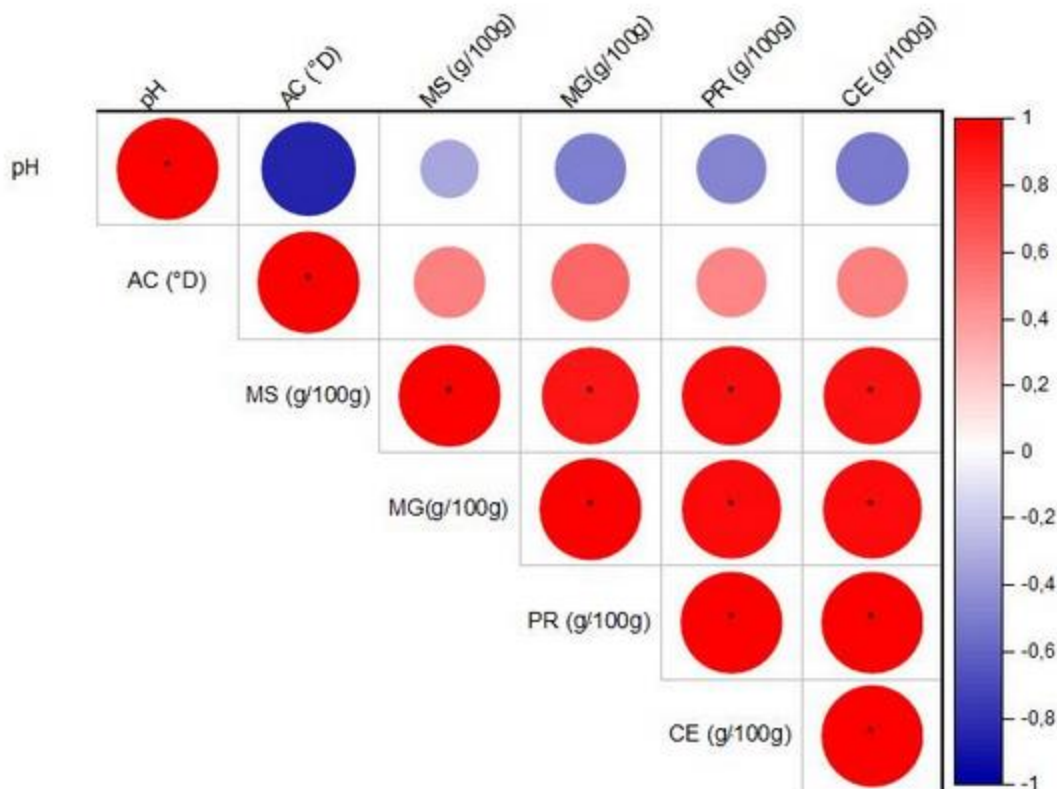


Figure 19. Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques analysés dans le fromage *Jben* fabriqué à partir du coagulant végétal. Les coefficients de Pearson sont proportionnellement aux valeurs du diagramme circulaire et à l'intensité des couleurs. AC (Acidité), MS (Matière sèche), MG (Matière grasse), PR (Protéine) et CE (Cendre).

D'après les résultats physico-chimiques et biochimiques obtenus dans le fromage traditionnel (*Jben*) (**Fig.19**), une forte corrélation négative a été établie entre les valeurs de pH et l'acidité dans les différents échantillons de fromage ($r=-0,856$) (**Tab.4**), cette corrélation semble logique (lorsque le pH augmente, l'acidité diminue), car la diminution du pH est liée à l'action des bactéries lactiques et par conséquent à la production d'acide lactique. Ces résultats sont en concordance avec ceux trouvés par Ioannidou et al., (2022).

Tableau 4 : Valeurs-r entre les paramètres physico-chimiques du fromage frais (*Jben*)

Valeurs-r (FPV)	pH	AC	MS	MG	PR	CE
Ph						
AC	-0.856					
MS	-0.334	0.498				
MG	-0.493	0.592	0.908			
PR	-0.473	0.477	0.944	0.945		
CE	-0.514	0.487	0.921	0.94	0.997	

AC (Acidité), MS (Matière sèche), MG (Matière grasse), PR (Protéine), CE (Cendre)

D'autre part, il existe une très forte relation positive entre la matière sèche et la graisse ($r=0,908$) (**Tab.4**), également cette corrélation semble logique dans la mesure où La déshydratation, ou perte d'eau, lors de la fabrication du fromage a un impact sur la teneur en matières grasses. Une augmentation de la matière sèche, due à la perte d'eau, implique une concentration relative plus importante des matières grasses (Bertolino et al., 2011).

De plus, dans tous les échantillons de fromage examinés, la teneur en cendres était positivement corrélée à la matière sèche ($r=0,921$) (**Tab.4**), et cette relation est principalement due au calcium et au phosphore, qui sont également positivement corrélés aux protéines et, par conséquent, à la matière sèche. En d'autres termes, plus un fromage contient de matière sèche, plus il contiendra de cendres, principalement en raison de sa teneur en calcium et en phosphore, qui sont liés aux protéines (Franceschi et al., 2020).

Également, le pH et la matière sèche sont corrélées négativement, Des résultats similaires ont été rapporté dans des études (De la Haba Ruiz et al., 2016).

Conclusion

Conclusion et perspectives

Par la présente étude, nous apportons notre contribution à l'optimisation des procédés de fabrication d'un fromage traditionnel algérien frais (*Jben*), une variété des fromages traditionnels qui font partie du patrimoine culinaire Algérien ainsi que la caractérisation physico-chimiques et biochimique de ce fromage afin d'approfondir nos connaissances sur sa composition et de ses propriétés.

Dans notre étude, les propriétés physicochimiques des fromages frais traditionnels (*Jben*), qui ont été fabriqués à l'aide d'agent de coagulation du lait d'origine végétale (fleurs de chardon), ont montré des valeurs acceptables en concordance avec celles trouvées sur le même type de fromage (*Jben*) avec un pH moyen de 6.043 ± 0.171 et une acidité Dornic de $44,78 \pm 3,33$. La teneur moyenne en acidité obtenue pour ce type de fromage permet d'assurer une conservation pour une durée plus ou moins longue contre les agressions microbiennes.

Quant à la caractérisation biochimique des échantillons de fromage analysés a montré des niveaux faibles notamment en protéines ($13,08 \pm 1,08$ g/100g) et en matière grasse ($13,83 \pm 1,90$ g/100g) en raison peut être de l'activité protéolytique excessive du coagulant qui entraîne la perte des protéines et par conséquent de la matière grasse alors que le reste des paramètres ont révélé des valeurs moyennes acceptables $45,25 \pm 1,95\%$ pour la matière sèche et $1,50 \pm 0,18 \%$ pour les cendres.

Concernant les résultats obtenus lors du dosage de pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par les extraits phénoliques de fromage traditionnel frais (*Jben*), le test a donné une teneur moyenne de $30,64 \pm 2,85\%$, ce taux représente une valeur très intéressante par rapport à celles trouvées dans d'autres fromages notamment frais, ce qui suggère que ces aliments peuvent aider à protéger le corps contre les dommages causés par les radicaux libres.

Cette approche offre ainsi une alternative durable et potentiellement bénéfique à l'utilisation de coagulants animaux, tout en répondant aux préoccupations environnementales et éthiques associées à cette pratique.

Cette étude ouvre des perspectives pour des recherches futures, notamment sur : L'analyse sensorielle des fromages fabriqués n'a pas été effectuée, il serait alors possible d'être réalisée afin de connaître la perception gustative, l'analyse de la composition et la teneur en acides

ras du fromage frais par Chromatographie Phase Gazeuse couplée à une Spectroscopie de Masse (CG-MS) et la séparation des protéines par L'électrophorèse sur gel urée-polyacrylamide (Urée-PAGE).

Résumé :

La disponibilité réduite et les prix croissants de la présure animale, couplés à la demande mondiale croissante de fromage, ont conduit à explorer des enzymes de coagulation alternatives, capables de remplacer la présure traditionnelle, lors de la fabrication du fromage notamment traditionnel, plusieurs enzymes de coagulation du lait d'origine végétale comme les fleurs de chardon, sont disponibles et peuvent être utilisés comme agents alternatifs de la présure pour coaguler le *Jben*, une variété des fromages traditionnels qui font partie du patrimoine Algérien. . C'est l'un des fromages traditionnels les plus populaires et son procédé de fabrication artisanal est encore utilisé aujourd'hui.

La présente étude a été réalisée pour évaluer l'effet des fleurs de chardon sur les paramètres physico-chimiques, biochimiques ainsi que l'activité antioxydante d'un fromage frais traditionnel (*Jben*). Les résultats de la caractérisation physico-chimique et biochimique ont montré que le pH, l'acidité, la matière sèche, la matière grasse, les teneurs en protéines, les cendres étaient respectivement de 6.043, 44,78 °D, 45,25 %, 13,83 g/100 g, 13,08 g/100 g et 1,50 g/100 g, globalement nos résultats pour ces paramètres ont révélé des niveaux acceptables alors que pour l'activité antioxydante, les valeurs obtenues sont prometteuses et intéressante pour protéger nos corps contre les radicaux libres. Finalement, Le bonne sélection des agents de coagulation du lait joue un rôle important dans la fabrication des fromages avec les propriétés souhaitées et ouvre de nouvelles perspectives d'être utilisé à grande échelle.

Les mots-clés

Activité antioxydante, coagulation végétale, fleurs de chardon, fromage traditionnel, *Jben*, paramètres biochimiques, paramètres physico-chimiques.

Abstract:

The reduced availability and rising prices of animal rennet, coupled with the growing global demand for cheese, have led to the exploration of alternative coagulating enzymes capable of replacing traditional rennet in cheese production, particularly in traditional cheese making. Several plant-based milk-coagulating enzymes, such as thistle flowers, are available and can be used as alternative coagulants to rennet for curdling *Jben*, a variety of traditional cheese that is part of Algeria's culinary heritage.

It is one of the most popular traditional cheeses, and its artisanal manufacturing process is still used today.

This study was conducted to evaluate the effect of thistle flowers on the physicochemical, biochemical parameters, and the antioxidant activity of a traditional fresh cheese (*Jben*). The results of the physicochemical and biochemical characterization showed that the pH, acidity, dry matter, fat content, protein content, and ash content were respectively 6.043, 44.78 °D, 45.25%, 13.83 g/100 g, 13.08 g/100 g, and 1.50 g/100 g. Overall, our results for these parameters revealed acceptable levels, while the antioxidant activity values obtained were promising and interesting for protecting the body against free radicals.

Finally, the proper selection of milk coagulants plays an important role in the manufacture of cheeses with the desired properties and opens up new perspectives for large-scale use.

Keywords

Antioxidant activity, biochemical parameters, *Jben*, physicochemical parameters, plant-based coagulation, thistle flowers, traditional cheese.

ملخص :

أدى انخفاض توفر المنفعة الحيوانية وارتفاع أسعارها، إلى جانب الطلب العالمي المتزايد على الجبن، إلى البحث عن إنزيمات تخثير بديلة يمكنها تعويض المنفعة التقليدية في صناعة الجبن، خاصة التقليدي منه. وتتوفر عدة إنزيمات نباتية لتخثير الحليب مثل أزهار الخرشوف البري، ويمكن استخدامها كعوامل تخثير بديلة لتخثير "الجبن"، وهو نوع من الأجبان التقليدية التي تُعد جزءاً من التراث الغذائي الجزائري، يُعد هذا الجبن من أكثر الأجبان التقليدية شعبية، ولا يزال يُستخدم أسلوبه التقليدي في التصنيع حتى اليوم.

أُجريت هذه الدراسة لتقييم تأثير أزهار الخرشوف البري على الخصائص الفيزيائية-الكيميائية والبيوكيميائية، وكذلك على النشاط المضاد للأكسدة لجبن طازج تقليدي (الجبن). وقد أظهرت نتائج التوصيف الفيزيائي-الكيميائي والبيو كيميائي أن قيم الرقم الهيدروجيني، والحموضة، والمادة الجافة، والمادة الدهنية، ومحتوى البروتين، والرماد كانت على التوالي: 6.043، 44.78 درجة دورن، 45.25٪، 13.83 غ/100 غ، 13.08 غ/100 غ، و 1.50 غ/100 غ. بشكل عام، أظهرت نتائجنا مستويات مقبولة لهذه المعايير، بينما كانت القيم الخاصة بالنشاط المضاد للأكسدة واعدة ومهمة لحماية أجسامنا من الجذور الحرة. وأخيراً، فإن الاختيار الجيد لعوامل تخثير الحليب يلعب دوراً مهماً في إنتاج أجبان ذات خصائص مرغوبة ويفتح آفاقاً جديدة لاستخدامها على نطاق واسع.

الكلمات المفتاحية

النشاط المضاد للأكسدة، التخثير النباتي، أزهار الخرشوف البري، الجبن التقليدي، الخصائص البيو كيميائية، الخصائص الفيزيائية-الكيميائية .

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abakar, M. (2012). Essai de fabrication d'un fromage frais traditionnel sénégalais, à partir du lait bovin coagulé par la papaïne naturelle. Thèse de master en qualité des aliments de l'homme. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Abd El-Salam, B., Ibrahim, O., & El-Sayed, H. (2017). Purification and characterization of milk clotting enzyme from artichoke (*Cynara cardunculus* L.) flowers as coagulant on white soft cheese. *Int. J. Dairy Sci*, 12, 254-265.

Abdeen, E.-S. M., Ibrahim, O. A., & Kholif, A. M. (2021). Utility of *Moringa oleifera* waste as a coagulant in goat soft cheese production. *Heliyon*, 7(7).

Abi Azar, R. (2007). Complexation des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier : Propriétés technologiques des coagulum obtenus [Thèse de doctorat, AgroParisTech, École doctorale ABIES].

Adewumi GA (2019) Health-promoting fermented foods. In Melton L, Shahidi F, Varelis P (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry*, Vol. 3. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 399-418.

Aissaoui Zitoun, O., Benatallah, L., Ghennam, E.-H., & Zidoune, M. N. (2011). Manufacture and characteristics of the traditional Algerian ripened Bouhezza cheese. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9, 96–100.

Aissaoui Zitoun, O., Pediliggieri, C., Benatallah, L., Lortal, S., Licitra, G., Zidoune, M. N. (2012). Bouhezza, a traditional Algerian raw milk cheese, made and ripened in goatskin bags. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10, 289–295.

Amimour, M. (2019). Essais d'optimisation des procédés de fabrication des fromages traditionnels de qualité (J'ben). Thèse de doctorat d'état, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, pp. 84-88.

Anema, S. G., & Li, Y. (2003). Effect of pH on the association of denatured whey proteins with casein micelles in heated reconstituted skim milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1640–1646.

AOAC. (2005). Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists international. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.*, 41, 12.

Azzouz, S., Ahadaf, S., Zantar, S., El Galiou, O., Arakrak, A., Bakkali, M., & Laglaoui, A. (2024). Analysis of the bacterial diversity in Moroccan Jben cheese using TTGE, DGGE, and 16S rRNA sequencing. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(157).

Benamara, R. N., Benahmed, M., Ibri, K., Moussa Boudjemaa, B., & Demarigny, Y. (2022). Algerian extra hard cheese of Klila: a review on the production method, and microbial, organoleptic, and nutritional properties. *Journal of Ethnic Foods*, 9(1), 41.

Benamara, R., Gemelas, L., Ibri, K., Moussa-Boudjemaa, B., & Demarigny, Y. (2016). Sensory, microbiological and physico-chemical characterization of Klila, a traditional cheese made in the south-west of Algeria. *African Journal of Microbiology Research*, 10(41), 1728-1738.

Benderouich, B. (2009). La k maria: un produit du terroir   valoriser (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).

Benkerroum, N., & Tamime, A. Y. (2004). Technology transfer of some Moroccan traditional dairy products (lben, jben and smen) to small industrial scale. *Food Microbiology*, 21(4), 399–413.

Bensiameur-Touati, K. (2004). Cardoon (*Cynara cardunculus* L.) used as vegetable rennet in Algerian traditional cheese making "Djben" [Mémoire de magist re, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedi ne].

Benyahia, K., Djeffal, F., Ferhati, H., Bendjerad, A., Benhaya, A., & Saidi, A. (2021). Self-powered photodetector with improved and broadband multispectral photoresponsivity based on ZnO-ZnS composite. *Journal of Alloys and Compounds*, 859, 158242.

Bertolino, M., Dolci, P., Giordano, M., Rolle, L., & Zeppa, G. (2011). Evolution of chemico-physical characteristics during manufacture and ripening of Castelmagno PDO cheese in wintertime. *Food Chemistry*, 129(3), 1001-1011.

Bintsis, T. (2006). Quality of the brine. In *Brined cheeses*. Wiley.

Boudalia, S., Benati, D., Boukharoub, R., Chemakh, B., & Chemmam, M. (2016). Physico-chemical properties and hygienic quality of raw and reconstituted milk in the region of Guelma-Algeria. *International Journal of Agricultural Research*,

Boumedi ne, K., Bendimerad, N., Khiri, Z., Benamar, I., Anntar, A. C., & Boudjem a, B. M. (2024). Characterization of Jben: Microbiological and physicochemical

analysis of traditional raw cow's milk cheese with dried lamb rennet from Ain Sefra, Algeria. Asian Journal of Dairy and Food Research, 1-6.

Brulé, G., Lenoir, J., & Remeuf, F. (1997). La micelle de caséine et la coagulation du lait. Dans le fromage : de la science à d'assurance qualité. ECRA et gillis JC (Ed), lavoisier TES. DOC, Paris, 89.

Croguennec, T., Jeantet, R., & Brulé, G. (2008). Fondements physicochimiques de la technologie laitière. Lavoisier.

Cruciata, M., Sannino, C., Ercolini, D., Scatassa, M. L., De Filippis, F., Mancuso, I., La Storia, A., Moschetti, G., & Settanni, L. (2014). Animal rennets as sources of dairy lactic acid bacteria. Applied and environmental microbiology, 80(7), 2050-2061.

Dahou, A., Homrani, A., Bensaleh, F., & Medjahed, M. (2015). La microflore lactique d'un fromage traditionnel Algérien «type j'ben» : connaissance des écosystèmes microbiens laitiers locaux et de leurs rôles dans la fabrication des fromages. Afrique Science, 11(6), 1-13.

Dagleish, D. G., & Corredig, M. (2012). The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing. Annual Review of Food Science and Technology, 3, 449–467.

De la Haba Ruiz, M. A., Ruiz Pérez-Cacho, P., Dios Palomares, R., & Galán-Soldevilla, H. (2016). Classification of artisanal Andalusian cheeses on physicochemical parameters applying multivariate statistical techniques. Dairy Science & Technology, 96, 95-106.

Derouiche, M., & Zidoune, M. (2015). Caractérisation d'un fromage traditionnel, le Michouna de la région de Tébessa, Algérie. Livestock Research for Rural Development, 27(11), 229.

El Rhazi, K., Garcia-Larsen, V., & Nejari, C. (2015). Socioeconomic factors affecting adherence to the Mediterranean diet in North Africa. The Mediterranean Diet, 123-132.

Elkholy, A. (2015). Ras Cheese Making with Vegetable Coagulant -a Comparison with Calf Rennet. 10, 82-89.

Evershed, R. P., Payne, S., Sherratt, A. G., Copley, M. S., Coolidge, J., Urem-Kotsu, D., & Craig, O. E. (2008). Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding. Nature, 455(7212), 528–531.

Fairise, J.-F., & Cayot, P. (1998). New ultrarapid method for the separation of milk proteins by capillary electrophoresis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2867–2870.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Milk processing. FAO.

Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2017). Cheese: An overview. In P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, T. M. Cogan, & T. P. Guinee (Eds.), *Cheese Chemistry, physics and microbiology* (4th ed., pp. 5–21). Elsevier.

Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., & Paul, L. H. (1998). Dairy chemistry and biochemistry. Springer.

Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M., & Guinee, T. P. (2004). Cheese: Chemistry, physics and microbiology. Volume 1: General aspects (3rd ed.). Elsevier Academic Press.

Franceschi, P., Malacarne, M., Faccia, M., Rossoni, A., Santus, E., Formaggioni, P., & Summer, A. (2020). New Insights in Cheese Yield Capacity of the Milk of Italian Brown and Italian Friesian Cattle in the Production of High-Moisture Mozzarella. *Food Technology and Biotechnology*, 58(1), 91-97.

Glantz, M., Devold, T. G., Vegarud, G. E., Lindmark Månsson, H., Stålhammar, H., & Paulsson, M. (2010). Importance of casein micelle size and milk composition for milk gelation. *Journal of Dairy Science*, 93(4), 1444–1451.

Gomes, S., Belo, A. T., Alvarenga, N., Dias, J., Lage, P., Pinheiro, C Martins, A. P. L. (2018). Characterisation of *Cynara cardunculus* L. flower from Alentejo as coagulant agent for cheese making. *International Dairy Journal*, 85, 24–30.

Goyal, K., Singh, N., Jindal, S., Kaur, R., Goyal, A., & Awasthi, R. (2022). Kjeldahl method. In A. Goyal & H. Kumar (Eds.), *advanced techniques of analytical chemistry* (Vol. 1, pp. 105–112). Bentham Science Publishers.

Hamama, A. Z. O. E. (2014). *Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel algérien «Bouhezza* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATA-A), Université Constantine 1-Algérie. p160).

Hayaloglu, A. A. (2017). Cheese varieties ripened under brine. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter & D. W. Everett (Eds.), *Cheese* (4th ed., chap. 39, pp. 997-1040). San Diego: Academic Press.

Hebert, A. (2010). Ecosystème fromager : de l'étude du métabolisme du soufre chez *Kluyveromyces lactis* et *Yarrowia lipolytica* à l'interaction entre *Kluyveromyces lactis* et *Brevibacterium aurantiacum* (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

Helmer, D., & Vigne, J.-D. (2007). Was milk a “secondary product” in the Old World Neolithisation process? Its role in the domestication of cattle, sheep and goats. *Anthropozoologica*, 42(2), 9–40.

Hilario, M. C., Puga, C. D., Ocana, A. N., & Romo, F. P. G. (2010). Antioxidant activity, bioactive polyphenols in Mexican goats' milk cheeses on summer grazing. *Journal of Dairy Research*, 77(1), 2-26.

Hrković-Porobija, A., Hodžić, A., Ohran, H., Hadžimusić, N., Batinić, V., Tahirović, D., Softić, A., Velić, L., & Kustura, A. (2021). Mineral elements in sheep cheese. *Veterinarska stanica*, 52(2), 185-192.

Ioannidou, M. D., Maggira, M., & Samouris, G. (2022). Physicochemical characteristics, fatty acids profile and lipid oxidation during ripening of graviera cheese produced with raw and pasteurized milk. *Foods*, 11(14), 2138.

Islam, M., Basunia, M., Rahman, A., Bari, M., Rahman, M., Mannan, M., & Datta, T. (2021). Effect of coagulants on the chemical and microbial quality of fresh cheese. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 50(2), 73-79.

ISO. (2004). Fromages et fromages fondus — Détermination de la teneur totale en matière sèche (Méthode de référence) (Norme ISO 5534:2004). Organisation internationale de normalisation.

ISO. (2007). NF ISO 8070:2007 – Lait et produits laitiers — Détermination des teneurs en calcium, sodium, potassium et magnésium — Méthode par spectrométrie d'absorption atomique. Genève : Organisation internationale de normalisation / Paris : AFNOR.

ISO. (2014). ISO 8968-1 :2014 – Lait et produits laitiers — Détermination de la teneur en azote — Partie 1 : Méthode Kjeldahl. Genève : Organisation internationale de normalisation.

Jaros, D., & Rohm, H. (2017). Rennets: Applied aspects. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, T. M. Cogan, & T. P. Guinee (Eds.), *Cheese* (4th ed., pp. 53–67). Elsevier.

- Khoualdi, G., & Zidoune, M. N. (2017).** Caractérisation du fromage traditionnel algérien Université Frères Mentouri-Constantine 1].
- Kindstedt, P. S. (2017).** The history of cheese. In P. Papademas & T. Bintsis (Éds.), *Global Cheesemaking Technology: Cheese Quality and Characteristics* Wiley.
- Konte, M. (1999).** Le lait et les produits laitiers : Développement de systèmes de production intensive en Afrique de l'Ouest. Université de Nouakchott & Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Laboratoire National de l'Élevage et des Recherches Vétérinaires.
- Lahsaoui, S. (2009).** Étude du procédé de fabrication d'un produit laitier traditionnel Algérien (Kilila)' Thèse de Doctorat : Science Agronomie, université de Batna (Algérie)].
- Lapointe-Vignola, C. (2002).** Science et technologie du lait : Transformation du lait. Fondation de technologie laitière du Québec.
- Leksir, C. (2018).** Caractérisation, fabrication et consommation du dérivé laitier traditionnel 'Kilila'dans l'Est Algérien. Doctorat, Université 8 mai 1945 de Guelma.
- Leksir, C., & Chemmam, M. (2015).** Contribution on the characterization of Kilila, a traditional cheese in east of Algeria. *Livestock Research for Rural Development*, 27(5)
- Leksir, C., Boudalia, S., Moujahed, N., & Chemmam, M. (2019).** Traditional dairy products in Algeria: case of Kilila cheese. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1), 1-14.
- 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.
- Malik, J., & Mandal, S. C. (2022).** Extraction of herbal biomolecules. In *Herbal biomolecules in healthcare applications*, Academic Press
- Massouras, T., Zoidou, E., Baradaki, Z., & Karela, M. (2023).** Physicochemical, Microbiological and Sensory Characteristics of White Brined Cheese Ripened and Preserved in Large-Capacity Stainless Steel Tanks. *Foods*, 12(12), 2332.
- McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G., & Fox, P. F. (2004).** Diversity of cheese varieties: An overview. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*, 2, 1-23.
- McSweeney, P. L., Ottogalli, G., & Fox, P. F. (2017).** Diversity and classification of cheese varieties: An overview. *Cheese*, 781-808.

Medjoudj, H., Aouar, L., Zidoune, M. N., & Hayaloglu, A. A. (2017a). Proteolysis, microbiology, volatiles and sensory evaluation of Algerian traditional cheese Bouhezza made using goat's raw milk. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S3246–S3265.

Medjoudj, H., Zidoune, M. N., & Hayaloglu, A. A. (2017b). Proteolysis and volatile profile in the Algerian traditional Bouhezza cheese made using raw goat's milk. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1876–1893.

Medouni, Y., Boulahchiche, N., & Brahimi, R. (2006). Role of rural women in the agropastoral production system: Case of the Ouled Baida section in the area of El Guedid, Region of Djelfa (central steppe). CABI Digital Library

Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

Moschopoulou, E. (2011). Characteristics of rennet and other enzymes from small ruminants used in cheese production. *Small Ruminant Research*, 101(1–3), 188–195.

Muneeb, M., Ayub, M., Khan, S. B., Sohail, A., Jabeen, F., Khan, M. A., Khan, A., Prince, K., Khan, A., & Ahmad, I. (2020). Quality Assessment of Cottage Cheese Available in Peshawar, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 52(2), 687.

Mutwedu, V. B., Ayagirwe, R. B. B., Mugumaarhahama, Y., Ganza, O. B., Aksanti, C. B., Matendo, E. R., Bisimwa, E. B., Karume, K., Balezi, A. Z., & Mushagalusa, G. N. (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), 6097–6110.

ND, R. (1994). Families of serine peptidases. *Methods Enzymol*, 244, 19-61.

Nouani, A., Dako, E., Morsli, A., Belhamiche, N., Belbraouet, S., Bellal, M., & Dadie, A. (2009). Characterization of the purified coagulant extracts derived from artichoke flowers (*Cynara scolymus*) and from the fig tree latex (*Ficus carica*) in light of their use in the manufacture of traditional cheeses in Algeria. *J. Food Technol*, 7(1), 20-29.

Ouadghiri, M., Amar, M., Vancanneyt, M., & Swings, J. (2005). Biodiversity of lactic acid bacteria in Moroccan soft white cheese (Jben). *FEMS microbiology letters*, 251(2), 267-271.

Papademas, P., & Bintsis, T. (2017). Global cheesemaking technology: Cheese quality and characteristics. Wiley.

- Phadungath, C. (2005).** Casein micelle structure: A concise review. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 27(1), 201–212.
- R Core Team. (2022).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rana, M. S., Hoque, M. R., Rahman, M. O., Raihan Habib, R. H., & Siddiki, M. S. R. (2017).** Papaya (*Carica papaya*) latex-an alternative to rennet for cottage cheese preparation.
- Razzaq, S. (2003).** Preparation of cottage cheese using Sodom apple (*Calotropis procera*) latex as a plant rennet (Mémoire de M.Sc. (Hons.) non publié). PMAS-Arid Agriculture University, Rawalpindi, Pakistan.
- Remeuf, F., Cossin, V., Dervin, C., Lenoir, J., & Tomassone, R. (1991).** Relations entre les caractères physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère. *Le Lait*, 71(4), 397–421.
- Roseiro, L. B., Barbosa, M., Ames, J. M., & Wilbey A. (2003).** Cheesemaking with vegetable coagulants-the use of *Cynara L.* for the production of ovine milk cheeses. *International Journal of Dairy Technology*, 56, 76-85.
- Salque, M., Bogucki, P. I., Pyzel, J., Sobkowiak-Tabaka, I., Grygiel, R., Szmyt, M., & Evershed, R. P. (2013).** Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe. *Nature*, 493(7433), 522–525.
- Sandra, S., Alexander, M., & Dalglish, D. G. (2007).** The rennet coagulation mechanism of skim milk as observed by transmission diffusing wave spectroscopy. *Journal of Colloid and Interface Science*, 308(2), 364–373.
- SEBBANE, H. (2021).** Caractéristiques du lait et évaluation de la phase d'affinage des fromages à pâte molle type Camembert fabriqués dans la région de Tizi-Ouzou à partir du lait cru ou du lait pasteurisé (Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie).
- Senoussi, A., Rapisarda, T., Schadt, I., Chenchouni, H., Saoudi, Z., Senoussi, S., Zitoun, O. A., Zidoune, M. N., & Carpino, S. (2022).** Formation and dynamics of aroma compounds during manufacturing ripening of Bouhezza goat cheese. *International Dairy Journal*, 129, 105349.
- Simões, M. G., Rabelo, J. G., Portal, R. E., Domingues, A. F. N., Oliveira, E. B., & Ferreira, C. L. d. L. F. (2013).** Physicochemical properties of Butter cheese from Marajó

manufactured with buffalo milk and cow milk. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 5(3), 83-88.

Sousa, M. J., & Malcata, F. X. (2002). Advances in the role of a plant coagulant (*Cynara cardunculus*) in vitro and during ripening of cheeses from several milk species. *Le Lait*, 82(2), 151-170.

ST-GELAIS D., TIRARD-COLLET P., (2002) Fromage. Dans : *Science et technologie du lait : transformation du lait*. Presses internationales Polytechnique, Montréal, 349-415.

Tabet, R., Mechai, A., Branes, Z., & Chenchouni, H. (2023). Effect of vegetable coagulant and lamb rennet on physicochemical composition, fatty acid profile and lipid quality indices of a traditional fresh cheese (Jben). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102609.

Timón, M. L., Parra, V., Otte, J., Broncano, J. M., & Petrón, M. J. (2014). Identification of radical scavenging peptides (<3 kDa) from Burgos-type cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 57(1), 359–365. doi:10.1016/j.lwt.2014.01.020

Troch, T., Lefebure, E., Baeten, V., Dardenne, P., & Brostaux, Y. (2017). Cow milk coagulation: Process description, variation factors and evaluation methodologies. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(1), 50–63.

Uchikoba, T., & Kaneda, M. (1996). Milk-clotting activity of cucumisin, a plant serine protease from melon fruit. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 56, 325-330.

Uniacke-Lowe, T., & Fox, P. F. (2017). Chymosin, pepsins and other aspartyl proteinases: Structures, functions, catalytic mechanism and milk-clotting properties. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, T. M. Cogan, & T. P. Guinee (Eds.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (4th ed., pp. 69–113). Elsevier.

Veríssimo, P., Esteves, C., Faro, C., & Pires, E. (1995). The vegetable rennet of *Cynara cardunculus* L. contains two proteinases with chymosin and pepsin-like specificities. *Biotechnology letters*, 17, 621-626.

Vigne, J.-D., Balasse, M., Gourichon, L., Helmer, D., Lesur, J., Mashkour, M., Tresset, A., & Vila, E. (2011). État des connaissances archéozoologiques sur les débuts de l'élevage du mouton dans l'Ancien Monde. *Ethnozootechnie*, (90), 11–28.

Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., & Zemla, J. (2021). Package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix. 2017. Version 0.84.

.

ANNEXES

Annexes

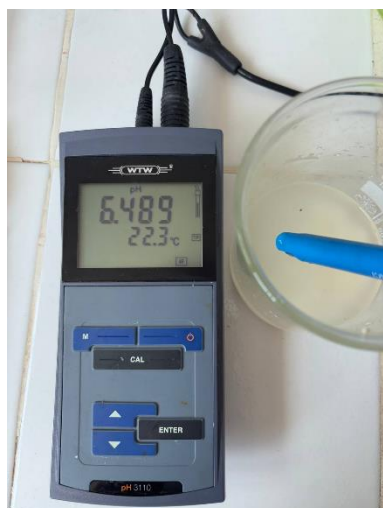
- Annexe 01 : analyses physicochimiques

Paramètre	PH	Acidité (D°)	Matière sèche (%)
Échantillon 01	6,024	42,333	43,06
Échantillon 02	5,902	46,301	45,66
Échantillon 03	6,201	43,77	42,95
Échantillon 04	5,82	50,442	47,71
Échantillon 05	6,27	41,05	46,88
Moyenne ± écart type	6.043±0.171	44,78 ± 3,33	45,25 ± 1,95

- Annexe 02: Analyses biochimiques

Paramètre	Protéines (g/100g)	Matière grasse (g /100g)	Cendre (%)
Échantillon 01	12,49	12,85	1,42
Échantillon 02	13,32	13,23	1,54
Échantillon 03	11,33	11,38	1,2
Échantillon 04	14,45	16,98	1,72
Échantillon 05	13,81	14,71	1,6
Moyenne ± écart type	13,08 ± 1,08	13,83 ± 1,90	1,50 ± 0,18

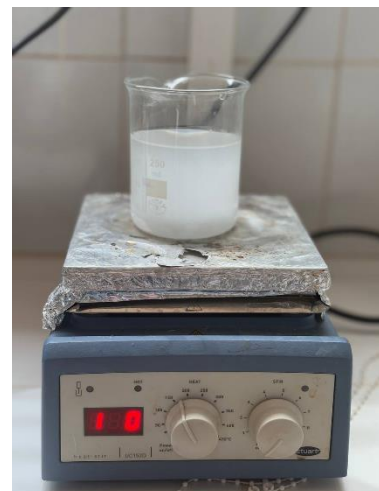
❖ Annexe 03 : les appareils utilisés pour chaque paramètre.



PH-mètre



Balance



Agitateur



Minéralisateur



Distillateur



Appareille de Soxhlet



**Montage de titrage
Colorimétrique**



Bain marie



évaporateur rotatif



Four à moufle