

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Alimentaire

Présenté par

M^{elle} BOUBEKEUR Amel & M^{elle} OUAMARA Dylia

Thème

*Elaboration d'un fromage enrichi avec les feuilles
de fenouil*

Soutenue le 02/07/2024

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Qualité
M ^{me} MADI Katia	MCB	Université de Bejaia	Présidente
M ^{me} BEY Zakia	MAA	Université de Bejaia	Examinatrice
M ^{me} ARKOUB Lynda	MCA	Université de Bejaia	Encadrante

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Le « Bon Dieu » le tout puissant de nous avoir donnés la force, la santé, la volonté et le courage pour réaliser ce travail et d'arriver au terme de nos études dans des bonnes conditions.

Nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance vont à notre promotrice M^{me} ARKOUB L. qui a accepté de nous encadrer avec une patience exemplaire. Ses conseils éclairés, ses orientations judicieuses, ses encouragements constants ainsi que son soutien moral et scientifique ont été essentiels à la réalisation de ce projet. Nous tenons à lui exprimer nos plus grands respects et nos vifs remerciements.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à M^{me} MADI K, pour avoir accepté de présider le jury et d'évaluer ce travail. De même, nous adressons nos remerciements à M^{me} BEY Z. pour avoir accepté de faire partie du jury.

En outre, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à M^{me} CHALAL, qui nous a accompagnés tout au long de notre stage au laboratoire d'hygiène et de contrôle de qualité. Sa présence et ses conseils avisés ont grandement enrichi notre expérience et contribué à notre formation académique. N'oublions pas non plus tous les éducateurs qui ont enrichi notre parcours académique depuis son commencement.

Dédicaces

A mes estimés parents,

Je tiens à dédier ce travail en témoignage de ma profonde gratitude pour votre soutien inébranlable, vos encouragements constants et votre amour inconditionnel. Les nombreux sacrifices consentis ont constitué les fondements de mon parcours académique. Cette réalisation n'aurait pu voir le jour sans votre présence et votre appui inestimables.

A mes chères sœurs, Cylia et Lyna, ainsi qu'à mon frère bien aimé Nassim,

Votre soutien indéfectible et votre affection sans faille ont été une source constante de motivation et de réconfort tout au long de mon parcours. Je vous remercie d'être l'épaule sur laquelle je peux toujours compter.

A ma promotrice, M^{me} ARKOUB Lynda

Véritable pilier de ce projet, votre guidance éclairée et votre soutien inconditionnel ont été des atouts précieux. Votre expertise avisée et votre dévouement exemplaire ont tracé la voie vers la réalisation de mes objectifs. Je vous suis profondément reconnaissante pour votre influence positive et votre générosité sans égale.

À toutes les personnes qui ont apporté leur soutien, de près ou de loin, dans cette aventure, je vous adresse mes remerciements les plus sincères. Votre contribution a été essentielle à chaque étape de ce chemin enrichissant.

Amel

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour leur amour inconditionnel leur soutiens indéfectible leur sacrifices et leur présence réconfortante qui ont enrichi chaque étape de mon parcours académique.

A mes sœurs pour leur soutien et pour leurs encouragements dans les moments difficiles.

A mes enseignants et encadrants, pour leurs connaissances partagées et leur passion qui m'ont guidé et inspiré à atteindre de nouveaux sommets académiques.

A mes amis, et à tout ceux qui nous ont aidés d'une façon ou d'une autre durant la rédaction de ce mémoire.

Dylia

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

DPPH : 2,2-Diphényl-1picryldrazyl

EMB : Eosin Methylene Bleu

FAO : Food Agriculture Organization

FIL : Fédération Internationale Laitière

HPLC : Chromatographie Liquide Haute Performance

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

SFB : Sérum Fœtal Bovin

UPLC : Ultra Performance Chromatographie Liquide Haute

Liste des figures

Figure	Titre	Pag e
1	Différents types de fromages	04
2	Schéma générale de la fabrication de fromage	09
3	Mécanisme de coagulation (acide et enzymatique).	10
4	Fenouil (<i>Foeniculum voeniculum vulgare</i>)	15
5	Plante des <i>Apiaceae</i>	16
6	Photographie des différentes parties du fenouil	16
7	Répartition mondiale du fenouil	17
8	Photographie des étapes de préparation de la poudre des feuilles du fenouil.	24
9	Diagramme représentatif du processus de fabrication des fromages élaborés	25
10	Photographie d'évaluation sensorielle des fromages élaborés	26
11	Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH	41
12	Caractérisation des fromages élaborés	46
13	Caractérisation des fromages préférés	60
14	Caractérisation des fromages élaborés après stockage	62
15	Paramètres motivant la préférence des fromages élaborés	62

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Classification des fromages en fonction de la croissance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage	4
II	Composition moyenne du fromage frais pour 100g	5
III	Typologie des fromages	9
IV	Apport nutritionnel moyens des différents types de fromages par 100g	13
V	Les défauts de fabrication de fromage	14
VI	Production mondiale du fenouil	17
VII	Classification botanique du fenouil	17
VIII	Principale caractéristique des différentes parties du fenouil	18
IX	Composition chimique et valeur nutritive du fenouil	19
X	Principaux métabolisme secondaire du fenouil.	19
XI	Principaux souches bactérienne sensible aux extraits de fenouil	22
XIII	Propriétés pharmacologique du fenouil	24
XIV	Germes recherchés dans les fromages élaborés	
XV	Germes recherchés dans les fromages élaborés	37
XVI	Pourcentage de préférence des différents fromages élaborés	44
XVII	Résultats des analyses physico-chimiques des feuilles du fenouil.	44
XVIII	Caractérisation phytochimiques des feuilles du fenouil	46
XIX	Propriétés fonctionnelles de la poudre des feuilles	47
XX	Résultats des analyses physico-chimiques du lait	50
XXI	Résultats des analyses microbiologiques du lait	51
XXII	Résultats des analyses physico chimique des fromages élaborés	52
XXIII	Résultats des analyses microbiologiques des fromages.	59
XXIV	Teneurs en antioxydants des différents échantillons.	63

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le fromage

<u>I.1.Histoire sur le fromage.....</u>	<u>3</u>
<u>I.2.Définition du fromage</u>	3
<u>I.3. Classification des fromages</u>	4
<u>I.4. Variétés de fromage</u>	5
<u>I.4.1. Fromage frais</u>	5
<u>I.4.1.1. Types de fromages frais</u>	5
<u>I.4.1.2. Composition du fromage frais</u>	5
<u>I.4.1.3. Matière première</u>	6
<u>I.4.2. Fromage à pâte molle</u>	6
<u>I.4.3. Fromage à pâte fondu</u>	7
<u>I.4.4. Fromage à pâte pressée</u>	7
<u>I.4.5. Fromage à pâte persillée</u>	8
<u>I.4.6. Fromage à pâte filée</u>	8
<u>I.5. Technologie de fabrication d'un fromage</u>	8
<u>I.5.1. Coagulation</u>	8
<u>I.5.1.1. Coagulation par acidification</u>	8
<u>I.5.1.2. Coagulation enzymatique</u>	10
<u>I.5.1.3. Coagulation mixte</u>	11
<u>I.5.2. Egouttage</u>	11
<u>I.5.3. Salage et affinage</u>	11
<u>I.5.3.1. Salage</u>	11
<u>I.5.3.2. Affinage</u>	11
<u>I.5.4. Enrichissement</u>	12
<u>I.5.5. Conditionnement et refroidissement</u>	12
<u>I.5.6. Stockage du produit</u>	12

I.6. Composition nutritionnelle de fromage	13
I.7. Qualité des fromages	13
I.8. Défauts de fabrication du fromage	14
I.9. Rendement fromager	14

II. Généralités sur le fenouil

II.2. Description de la plante	15
II.3. Aspect botanique	15
II.3.1. Présentation de la famille des Apiacées	15
II.4. Origine et distribution géographique	17
II.5. Classification botanique	17
II.6. Caractéristiques des différents organes du fenouil	18
II.7. Composition chimique et valeur nutritive	18
II.8. Antioxydants et activité antioxydante	18
II.9. Domaine d'utilisation	22

Partie expérimentale

III. Matériel et méthodes

III.1. Préparation de l'échantillon	24
III.3. Evaluation sensorielle	26
III.3.1. Préparation des échantillons et codage	26
Figure 10 : Photographie d'évaluation sensorielle des fromages élaborés.	26
III.3.2. Recueil des résultats	27
III.4. Analyses de la poudre des feuilles du fenouil	27
III.4.1. Détermination des paramètres physico-chimiques	27
III.4.1.1. Teneur en eau et matière sèche	27
III.4.1.2. pH	28
III.4.1.3. Acidité titrable	28
III.4.1.4. Teneur en cendres et matières organiques	28
III.4.2. Screening phytochimique	29
III.4.3. Détermination des propriétés fonctionnelles	30
III.4.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)	30
III.4.3.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH), du lait entier (CALE) et du lait partiellement écrémé (CALPE)	31
III.4.3.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)	31
III.4.3.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)	32

<u>III.4.3.6. Capacité de gonflement (CG)</u>	33
<u>III.4.3.7. Dispersibilité</u>	33
<u>III.5. Analyses physico-chimiques du lait</u>	33
<u>III.5.1. Détermination du pH</u>	33
<u>III.5.2. Détermination d'acidité titrable</u>	34
<u>III.5.3. Détermination d'extrait sec total (EST)</u>	34
<u>III.6. Analyses des fromages élaborés</u>	34
<u>III.6.1. Détermination des paramètres physico-chimiques</u>	34
<u>III.6.1.2. pH</u>	35
<u>III.6.1.3. Acidité titrable</u>	35
<u>III.6.1.4. Matière grasse</u>	35
<u>III.6.1.5. Extrait sec total (EST) et extrait sec dégraissé (ESD)</u>	36
<u>III.6.1.6. Taux de sel (NaCl)</u>	36
<u>III.6.2. Analyse microbiologique</u>	36
<u>III.6.2.1. Préparation de la solution mère</u>	37
<u>III.6.2.2. Ensemencement, incubation et dénombrement</u>	37
<u>III.6.3. Analyses sensorielles</u>	38
<u>III.6.4. Extraction et dosage des antioxydants</u>	38
<u>III.6.4.1. Préparation des extraits</u>	38
<u>III.6.4.2. Dosage des composés phénoliques</u>	39
<u>III.6.4.3. Dosage des flavonoïdes</u>	39
<u>III.6.4.4. Dosage des flavonols</u>	40
<u>III.6.4.5. Extraction et dosage des caroténoïdes et de la chlorophylle</u>	40
<u>III.6.5. Evaluation du pouvoir antioxydant</u>	40
<u>III.6.4.1. Inhibition du radical DPPH°</u>	40
<u>III.6.4.2. Activité antioxydante totale</u>	41
<u>III.6.4.3. Pouvoir réducteur</u>	42
<i><u>IV. Résultats et discussion</u></i>	
<u>IV.1. Evaluation sensorielle</u>	43
<u>IV.2. Paramètres physico-chimiques des feuilles de fenouil</u>	44
<u>IV.2.1. Humidité</u>	44
<u>IV.2.2. Matière sèche</u>	45
<u>IV.2.3. pH</u>	45
<u>IV.2.4. Acidité</u>	45

<u>IV.2.5. Cendres</u>	45
<u>IV.3. Screening phytochimique</u>	46
<u>IV.4. Propriétés fonctionnelles</u>	46
<u>IV.4.1. Capacité d'absorption en eau (CAE)</u>	47
<u>IV.4.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)</u>	47
<u>IV.4.3. Capacité d'absorption de lait entier et partiellement écrémé « CALE » et «</u>	47
<u>IV.4.4. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)</u>	48
<u>IV.4.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)</u>	48
<u>IV.4.6. Activité émulsifiante (AE) et stabilité de l'émulsion (SE)</u>	48
<u>IV.4.7. Capacité de gonflement (CG)</u>	49
<u>IV.4.8. Dispersibilité</u>	49
<u>IV.5. Qualité du lait</u>	49
IV.5.1. Qualité physico-chimique	49
<u>IV.5.2. Qualité microbiologique</u>	50
<u>IV.6. Qualités des fromage élaborés</u>	50
<u>IV.6.1. Qualité physico-chimique</u>	51
<u>IV.6.1.1. Humidité</u>	51
<u>IV.6.1.3. Acidité titrable</u>	53
<u>IV.6.1.4. Matière grasse</u>	55
<u>IV.6.1.6. Extrait sec digressé</u>	57
<u>IV.6.1.7. Cendres</u>	57
<u>IV.6.1.8. Taux de sel</u>	58
<u>IV.6.4.1. Polyphénols</u>	63
<u>IV.6.4.2. Flavonoïdes</u>	64
<u>IV.6.4.3. Flavonols</u>	65
<u>IV.6.4.4. Caroténoïdes totaux</u>	65
<u>IV.6.4.5. Chlorophylles</u>	65
<u>IV.6.5. Activité antioxydante</u>	66
<u>IV.6.5.1. Activité antiradicalaire DPPH</u>	66
<u>IV.6.5.2. Activité antioxydante totale</u>	67
<u>IV.6.5.3. Pouvoir réducteur</u>	68
<u>Conclusion</u>	69
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales commence par leur usage ancien et universel au sein des civilisations, où elles ont occupé une place centrale aussi bien dans la médecine que dans la préparation culinaire (Amarti et al., 2011).

A une époque marquée par une industrialisation croissante et une standardisation des produits alimentaires, où les consommateurs cherchent à être assurés de la qualité de ce qu'ils consomment, un intérêt particulier se porte sur les produits de grande consommation, parmi lesquels le fromage occupe une place prépondérante.

Le fromage est issu de la transformation du lait, il a toujours été un pilier de l'alimentation humaine, représentant également l'une des premières méthodes de conservation du lait (Eck & Gillis, 2006). Une variété considérable de fromages est disponible, parmi lesquels le fromage frais se distingue par un processus d'égouttage naturel, résultant principalement de la fermentation lactique ou d'une légère coagulation provoquée par la présure (Thiebaud et al., 2003).

Le fromage frais est apprécié dans sa forme naturelle ou agrémenté d'ingrédients à valeur ajoutée comme les fines herbes (ail, menthe, thym, fêrule...etc) et les épices (piment, poivre noir, cannelle, cumin...etc). Il figure parmi les produits alimentaires largement consommés dans de nombreux pays. Toutefois, l'évolution récente du marché alimentaire incite l'industrie agroalimentaire à innover en développant de nouveaux produits. En outre, ces herbes et épices sont une source de composés bioactifs bénéfiques pour la santé et le bien-être des consommateurs car ils les protègent contre plusieurs maladies tels que les maladies cardiovasculaires et certains types de cancers (Ceylan et al., 2007).

Plus de vingt espèces végétales différentes sont utilisées pour la préparation de fromages aux herbes, telles que : l'ail (*allium sativum* L.), le thym (*thymus vulgaris* L.) et la fêrule (*Ferula spp*).... etc. Une seule plante ou un mélange de ces herbes peut être incorporé au caillé obtenu à partir du lait, à des doses variant généralement entre 0,5 et 2 kg/100 litres du lait (Tarakçi et al., 2004). Selon la littérature, les fromages aux herbes présentent une diversité notable de propriétés physico-chimiques (extrait sec et taux de matière grasse), ces caractéristiques étant principalement influencées par la composition du lait et le choix des herbes utilisées (Ceylan et al., 2007).

Le fenouil appartient à la famille d'*Apiaceae* désigné sous le nom de « *Foeniculum vulgare* », se distingue par sa richesse en glucides et en protéines. Il constitue également une source abondante de fibres alimentaires bénéfiques (Bukhari et al., 2014). Les graines de fenouil sont reconnues pour leur apport significatif en vitamines (A, C, thiamine, riboflavine et niacine) ainsi qu'en minéraux essentiels (potassium, sodium et calcium) (Zoubiri et al.,

2014). De plus, les feuilles du fenouil sont caractérisées par leur contenu en minéraux (potassium, calcium, magnésium, phosphore et sodium), en composés bioactifs (acides phénoliques, tocophérols et flavonoïdes) ainsi que leurs propriétés antioxydantes (Muckensturm et al., 1997).

L'objectif principal de cette étude est d'élaborer un fromage frais enrichi d'un sous-produit du fenouil « les feuilles », visant ainsi à valoriser cette ressource végétale, à évaluer sa qualité.

Notre travail est divisé en deux sections distinctes :

➤ Une partie théorique qui donne un aperçu sur le fromage frais, ainsi que quelques généralités sur les propriétés et les utilisations du fenouil ;

➤ Une partie expérimentale qui comprend :

- Une évaluation des propriétés physico-chimiques, antioxydantes et fonctionnelles des feuilles du fenouil ;

- Processus d'élaboration des fromages frais enrichies et les différentes analyses d'évaluation de leurs qualités (sensorielle, physico-chimique et microbiologique) ;

- Une évaluation de la teneur en antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, flavonols) et de l'activité antioxydante des fromages élaborés ;

- En outre, une évaluation de la qualité des fromages élaborés et de leur stabilité a été réalisée à une température de réfrigération (4°C) après 6 jours de stockage ;

- Expression des résultats des analyses effectuées et leurs interprétations.

Enfin, notre travail est terminé par une conclusion qui résume et synthétise les conclusions tirées de cette étude.

*Synthèse
bibliographique*

*I. Généralités sur
le fromage*

I. Généralités sur le fromage

I. Histoire sur le fromage

Le terme "Fromage" dérive du latin « *Formaticum* », signifiant « ce qui est confectionné dans une forme ». Pendant le Moyen-Âge (1200-1500 après J-C), les termes en usage étaient "fromgi" et "fromton", désignant respectivement la variante ou le processus de fromage (Cherabi et al., 2022).

Les premiers fromages semblent avoir été découverts fortuitement par des nomades du Moyen-Orient ou d'Asie Centrale, qui utilisaient des peaux et des organes internes d'animaux pour le transport du lait. La présence de présure, une enzyme naturelle provoquant la coagulation du lait, dans ces "estomacs-récipients", semble avoir été à l'origine de la transformation du lait en caillé, donnant ainsi naissance au fromage blanc. Les Grecs utilisaient des plantes telles que le gaillet et le chardon pour cailler le lait, tandis que les Romains ont perfectionné l'utilisation de la présure (Cherabi et al., 2022).

II. Définition du fromage

➤ **Sur le Plan Technologique**

La dénomination "fromage" est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse (MG), utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur minimale en matière sèche (MS) du produit ainsi défini doit être 23 g pour 100 g de fromage (Merigaud et al., 2009).

➤ **Sur le Plan Alimentaire**

Le fromage représente une forme de conservation des deux principaux constituants insolubles du lait (caséine et matière grasse), ainsi que d'une partie plus ou moins importante des sels minéraux et des éléments solubles. Les proportions entre ces divers constituants ainsi que leur état de dégradation enzymatique varient (Pointurier et al., 1985).

➤ **Sur le Plan Biologique**

L'aspect biologique du fromage se manifeste à trois niveaux distincts: dans le domaine végétal, à travers l'alimentation des animaux producteurs du lait ; dans le domaine animal, selon l'espèce et la race des animaux fournissant le lait ; enfin, dans le domaine microbiologique, avec la flore responsable des processus de fermentation et d'affinage (Bérard et al., 2006).



Figure 1: Différents types de fromages (Vignola, 2002a).

I.3. Classification des fromages

La classification d'un fromage, tel que défini par les normes du codex Alimentarius (Commission, 1992) est obtenue après application des trois formules suivantes (Tableau I):

- **Formule I:** selon la fermeté qui appartient à l'intervalle de 51 à 69% d'où la pâte molle évolue jusqu'à la pâte extra dure, cette classification est portée selon la teneur en eau dans le fromage dégraissé (TEFD).
- **Formule II:** la deuxième classification est classée selon la teneur de la matière grasse par rapport à l'extrait sec total.
- **Formule III:** la troisième classification, les fromages sont classées en trois catégories différentes selon l'affinité du fromage.

Le fromage est donc classé selon trois critères successifs : sa teneur en eau dans fraction dégraissée, sa teneur en matières grasse dans l'extrait sec et son type d'affinage.

Tableau I: Classification des fromages en fonction de la croissance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage (Ibrahim., 2023).

Formule I		Formule II		Formule III
TEFD%	Le présent élément de la dénomination sera	MGES%	Le second élément de la dénomination sera	Dénomination d'après les principales caractéristiques d'affinage
<51	Pate extra dure	>60	Extra gras	1-Affinage <ul style="list-style-type: none"> • Principalement en surface • Principalement dans la masse 2- Affiné aux moisissures <ul style="list-style-type: none"> • Principalement en surface • Principalement dans la masse 3- frais
49-56	Pate dure	45-60	Tout gras	
54-63	Pate demi dure	25-45	Migras	
61-69	Pate demi molle	10-25	Quart Gras	
> 67	Mate molle	< 10	Maigre	

TEFD : Teneur en eau dans le fromage dégraissé (%);

MGES : Taux de matière grasse dans l'extrait sec (%).

I.4. Variétés de fromage

Selon le mode d'élaboration, il existe plusieurs types de fromage :

I.4.1. Fromage frais

Le fromage frais est une pâte très humide et peu minéralisée. C'est le produit d'une coagulation lente à dominance acide, obtenu grâce à l'action des bactéries lactiques combiné ou non à celle de faible quantité de présure (1-5 ml /100 L de lait) et un temps d'incubation long (Eck & Gillis, 2006). Les modalités de fabrication de fromage frais sont orientés pour obtenir une pâte de fromage fortement humide, acide et à faible cohésion (Ramet, 1985).

I.4.1.1. Types de fromages frais

Les industries de la production de fromage frais ont certains types de technologie pour une production diversifiée, parmi les produits de cette technologie on distingue (Fox et al., 2017):

➤ **Petit suisse:** est un fromage frais fabriqué avec le lait de vache en présure à pâte homogène mole et non salée. Le tau de matière grasse est de 40 à 60% de l'extrait sec qui lui-même est de 23 à 30 %.

➤ **Demi-sel:** cette dénomination est réservée à un fromage frais fabriqué avec de lait de vache en présure, à pâte homogène ferme, salée à 2%. La matière grasse est à 40% de l'extrait sec qui lui-même doit être égale ou supérieure à 30%.

➤ **Fromage blanc:** la dénomination de fromage blanc est réservée à un fromage non affiné que lorsqu'il est fermenté n'a pas subi d'autres fermentations lactiques, la teneur minimale en matière sèche du produit doit être de 23 g pour 100 g de fromage (Meunier-Goddik, 2004).

I.4.1.2. Composition du fromage frais

Le fromage est très riche en protéines, eau, peptides bioactifs, acides aminés, lipides, acide gras, vitamine, et en minéraux (Tableau II) (Walther et al., 2008).

Tableau II: Composition moyenne du fromage frais pour 100 g (Charby et al., 2017).

Constituants	Fromage frais
Eau (g)	80
Glucides (g)	4
Lipides (g)	7.5
Protéines (g)	8.5
Calcium (mg)	100
Sodium (mg)	40
Vitamine A (UI)	170

I.4.1.3. Matière première

a. Lait : en fromagerie différentes formes de lait peuvent être utilisées: le lait frais qui est utilisé comme tel ou après pasteurisation et les poudres de lait qui sont des produits résultants de l'élimination partielle de l'eau du lait (Chambre & Daurelles, 1997; Lapointe-Vignola, 2002a).

b. Levains lactiques : un levain est constitué d'une souche pure ou d'une association de souches sélectionnées, isolées de fabrication traditionnelle en utilisant du lait cru. (Eck & Gillis, 2006)

c. Eau de reconstitution : l'eau est l'une des matières premières de tous les types de produits laitiers reconstitués et recombinaison. Elle doit être une eau potable de bonne qualité, dépourvue de microorganismes pathogènes et d'un niveau de dureté acceptable (Bylund, 1995).

d. Autres ingrédients

➤ **Présure :** la présure est la seule enzyme utilisée en industrie fromagère. C'est une endopeptidase qui entraîne la coagulation du lait par hydrolyse de la caséine kappa, ce qui déstabilise les micelles et conduit à la formation du gel. La principale protéase est la chymosine (85% de l'activité coagulante) complétée par la pepsine (Eck & Gillis, 2006).

➤ **Chlorure de calcium (CaCl₂) :** l'addition de chlorure de calcium à raison de 0,2g /L a pour but de favoriser l'équilibre salin et d'améliorer la coagulation (Mahaut, Jeantet, & Brulé, 2000).

I.4.2. Fromage à pâte molle

Le fromage à pâte molle est un fromage ayant subi un affinage relativement prolongé (protéolyse et lipolyse intenses par la flore de surface) après une fermentation lactique (Ex : Camembert). Parmi les microorganismes utilisés : *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Penicillium camemberti*, levure (Branger, 2012; Yildiz et al., 2010). On distingue deux types :

➤ **Fromage de pâte molle à croûte fleurie :** ces fromages se caractérisent par une croûte blanche à dorée recouverte d'un duvet de moisissures qui se développe pendant l'affinage ce qui leur donne le nom de croûte fleurie car il a une pâte souple, onctueuse et fondante l'aspect de la croûte est dû à la présence du champignon *Penicillium candidum* pulvérisé à la surface après salage et égouttage (Camembert) (Pradal, 2012).

➤ **Fromage de pâte molle à croûte lavée** : les fromages à pâte molle et à croûte lavée sont, comme leur nom l'indique, régulièrement lavés en surface et brossés pour activer la fermentation. Cette technique, visant au départ à prolonger la conservation. La croûte ainsi obtenue présente un aspect souple, humide et plus ou moins collant. Sa couleur varie du jaune orangé au brun, en passant par les ocres et les rouges. À l'issue du traitement, le fromage développe une odeur puissante et ammoniacale, caractéristique des pâtes molles à croûte lavée tels que le Pont-l'évêque et les Maroilles (Debry, 2001).

I.4.3. Fromage à pâte fondu

Le fromage à pâte fondue est fabriqué en mélangeant du fromage, du beurre, de la crème et du lait, qui sont pasteurisés (à 95°C) ou stérilisés (à 125°C). Aussi connu sous le nom de fromage remanié, il existe plusieurs types, certains étant produits en récupérant les surplus de fromages à pâte dure comme le Gruyère.

En réalité, le processus implique davantage une dissolution des protéines dans l'eau que la fonte proprement dite. La fonte, dans un contexte physico-chimique, désigne la désintégration d'une structure solide cristalline due à l'énergie thermique ou à la pression, sans l'ajout de ferments lactiques comme dans le cas de la Cancoillotte ou du fromage à tartiner (Boutonnier, 2012).

I.4.4. Fromage à pâte pressée

Les fromages à pâte pressée sont des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage, on distingue :

➤ **Fromage à pâte pressé cuite ou pâte dure** : sont des fromages pour lesquels, après pressage, le caillé est chauffé à 65°C, puis laissé à l'affinage. Le terme cuite se dit d'un fromage dont le caillé subit un chauffage au moment de son tranchage, lorsqu'il est thermisé, le lait est chauffé à environ 65°C, ce qui ne détruit qu'une partie de la flore, lorsqu'il est pasteurisé, le lait est chauffé de 72° à 85°C pendant 20 secondes maximum, puis refroidi immédiatement à 4°C. Cette procédure détruit la flore naturellement présente dans le lait, et nécessite donc un réensemencement en flore standardisée, ce qui peut avoir pour les industriels l'avantage d'obtenir un goût régulier et une texture régulière Exemple : Gruyère (Majdi et al., 2009).

➤ **Fromage à pâte pressée non cuite ou demi-ferme** : ce type de fromages subissent une période d'affinage assez longue dans une atmosphère fraîche et très humide. Les fromages à pâte demi-ferme tel que le cheddar ont une consistance dense et une pâte de couleur jaune pâle (Meryem, 2017).

I.4.5. Fromage à pâte persillée

Les fromages à pâte persillée sont des fromages affinés, à moisissures interne. Il ya développement interne de *Penicillium roqueforti* grâce a l'action de *leuconostoc* et des levures qui produisent une ouverture et une petite quantité d'éthanol. Les micro-organisme utilisés : *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, levures, Exemple : le Roquefort (Settanni & Moschetti, 2010).

I.4.6. Fromage à pâte filée

Les fromages à pâte filée sont produits grâce à la technique du filage, qui est unie par le traitement du caillé avec de l'eau bouillante qui réduit la caséine en brins très fins et longs (caséine devient filante), c'est un fromage fabriqué à base de lait de vache ou de lait de brebis, il passe par beaucoup d'étapes de fabrication (pasteurisation, acidification chimique et microbienne, coagulation, coupe, agitation, échappement, maturation du caillé, filature et salage, formation refroidissement, salage) (Majdi,2009).

I.5. Technologie de fabrication d'un fromage

Les principes de base de la fabrication des fromages sont les mêmes pour presque toutes les catégories de fromage. La fabrication consiste à enlever l'eau du lait avec pour conséquence la concentration d'une partie des protéines, des lipides, des minéraux et des vitamines. Les processus impliqués sont: la préparations du lait, la coagulation, l'égouttage, le salage et l'affinage (Figure 2, Tableau III) (Grappin et al., 2006).

I.5.1. Coagulation

La coagulation correspond à une déstabilisation des micelles de caséines qui flocculent, puis se soudent pour former un gel emprisonnant les éléments solubles du lait. Elle peut être provoquée par acidification, par l'action d'une enzyme ou encore par l'action combinée des deux. L'aptitude à la coagulation du lait dépend de son pH initiale, puis de sa teneur en calcium colloïdale et en caséines qui jouent un rôle primordial dans la mise en place du gel (Lapointe-Vignola, 2002b).

I.5.1.1. Coagulation par acidification

La coagulation par acidification consiste à précipiter les caséines à partir de leur point isoélectrique $pH_i = 4,6$ par acidification biologique à l'aide des ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par acidification chimique. L'acidification entraîne une diminution des charges négatives des micelles de caséine et de la couche d'hydratation, aussi le calcium et le phosphore minéral devient soluble, les micelles des

caséines se libèrent avec une réorganisation protéique pour former un réseau puis un gel à pH de 4,6 (Figure 2) (Mahaut, Jeantet, & Brulé, 2000). le mécanisme de la coagulation acide est de nature électrochimique (Ramet, 1985). elle est provoqué par la flore lactique qui transforme le lactose en acide lactique (Vignola, 2002).

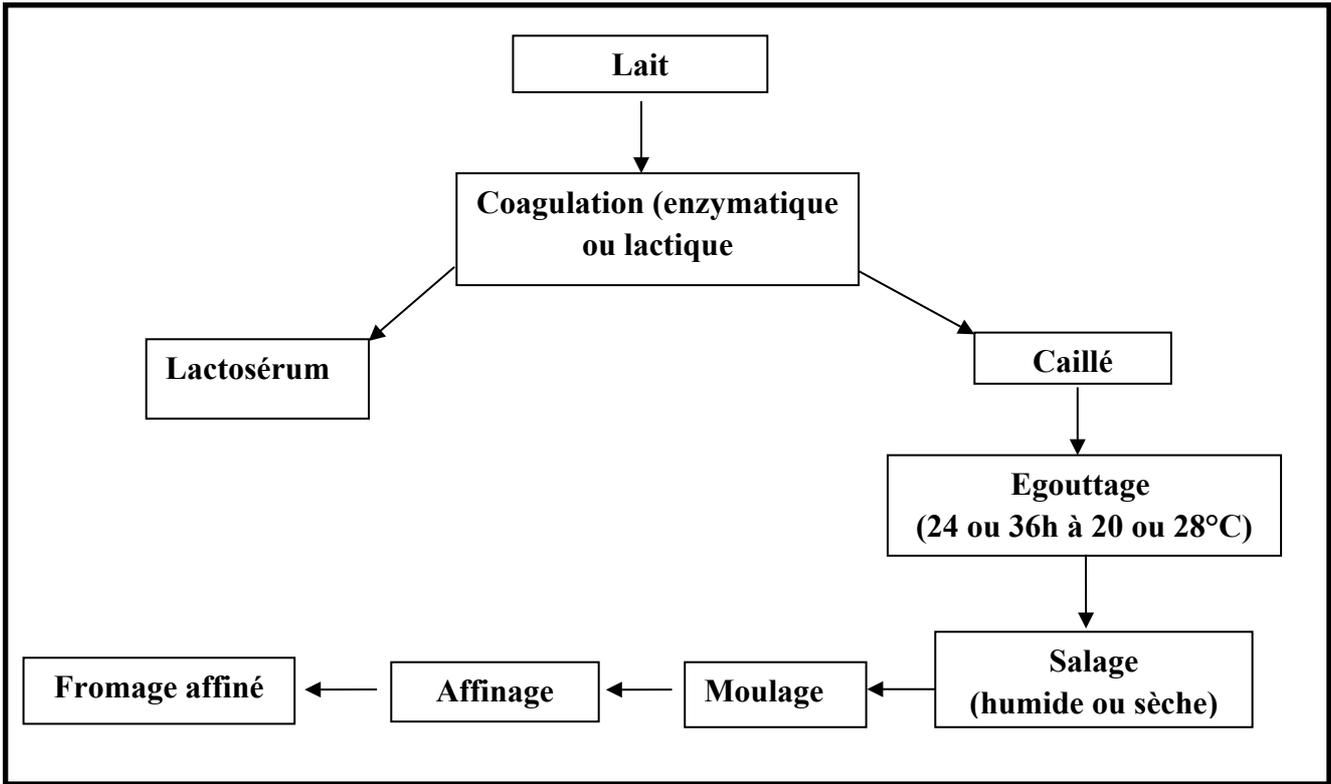


Figure 2: Schéma générale de la fabrication de fromage (Jeantet et al., 2007).

Tableau III: Typologie des fromages (Du et al., 2005).

Type		Caractéristique	Exemple
Fromages frais	Fromages frais moulés Pâtes fraîches	Caillé lactique Egouttage peu poussé Pas d'affinage	Fromages blancs Petit suisse
	Pâtes molles	Pas d'égouttage Affinage	Camembert Munster Bleu Brie
Fromages affinés	Pâtes pressés non cuite	Caillé mixte / présure Affinage	Saint Paulin Gouda Cheddar
	Pâtes pressés cuites	Caillé présure Chauffage du caillé Pressage Affinage	Comté Tomme Parmesan
	Fromages fondus	Fusion des fromages	Fromages à tartiner

I.5.1.2. Coagulation enzymatique

La coagulation enzymatique se fait par l'action de la présure qui est une enzyme protéolytique provenant de caillottes de veaux non sevrés : « la présure ». Cette enzyme à deux fractions actives: l'une majeure (80 %), constituée par la chymosine, l'autre mineure (20 %), représentée par la pepsine (Eck & Gillis, 2006). Le mécanisme d'action de la présure est bien établi et comporte trois phases:

- **Phase primaire ou enzymatique:** déclenche la coagulation par hydrolyse de la caséine k au niveau de la liaison phénylalanine 105 et méthionine 106 il y a libération d'une caséine macro peptide (CMP) (Mahaut, Jeantet, & Brulé, 2000).

- **Phase secondaire:** elle commence dès que le pH atteint 6,8; 80 à 90% de la caséine Kappa est hydrolysée, le CMP se détache de la caséine K et la micelle perde son caractère hydrophile, ensuite des liaisons hydrophobes et électrostatiques se forment entre les micelles modifiées ce qui entraîne la formation du gel (Mahaut, Jeantet, & Brulé, 2000).

- **Phase tertiaire:** les micelles sont réorganisées par des liaisons phosphocalciques et peut être des ponts disulfure entre les para caséines. Beaucoup de facteurs ont un effet sur la coagulation comme la température, le pH, la concentration enzymatique, la teneur en calcium et la composition en caséine (Mahaut, Jeantet, & Brulé, 2000).

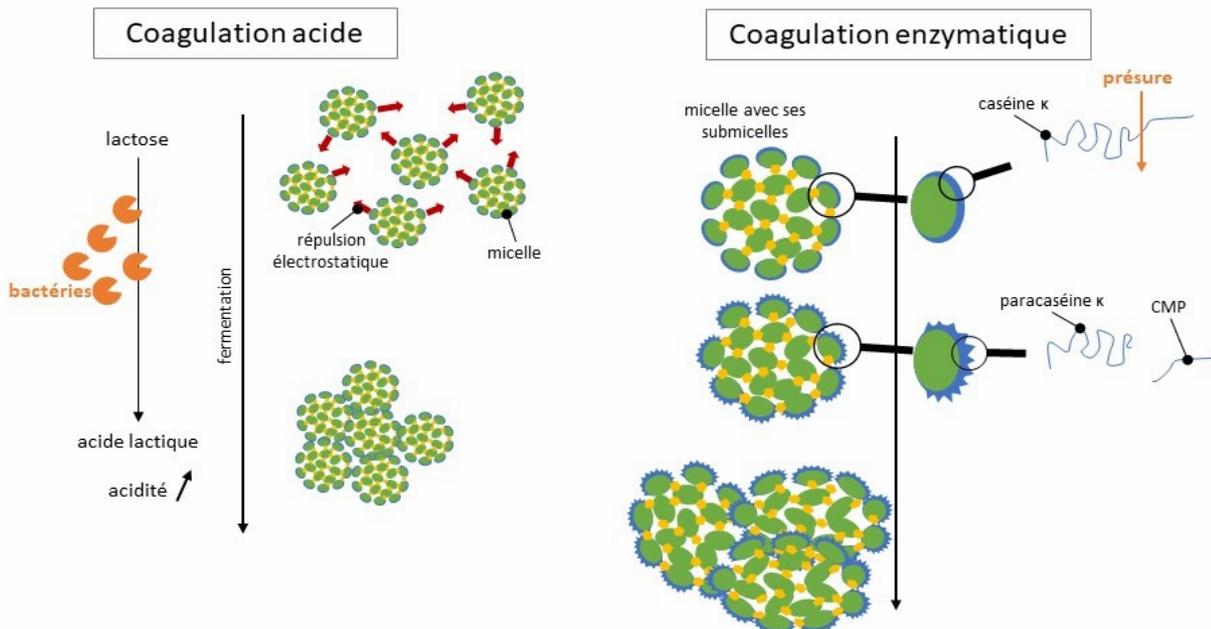


Figure 3 : Mécanisme de coagulation (acide et enzymatique) (Eck & Gillis, 2006).

I.5.1.3. Coagulation mixte

La coagulation mixte est le résultat de l'action conjointe de la présure et de l'acidification lactique dans la pratique industrielle. Cependant, la formation du coagulant est généralement dominante par la présure (Lambert, 1996).

I.5.2. Egouttage

L'égouttage consiste en élimination plus en moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé par la voie acide et/ou enzymatique. Au cours de cette phase deux actions complémentaires peuvent avoir lieu:

- L'expulsion du sérum par le coagulum qui se contracte et se concentre « synérèse » ;
- La séparation du sérum et du cailler par action physique (Jeantet et al., 2017).

I.5.3. Salage et affinage

I.5.3.1. Salage

Le salage représente une étape importante non seulement pour la formation de la croûte et le goût salé des fromages affinés, mais aussi parce qu'il conditionne la phase d'affinage en intervenant sur l'activité de l'eau des fromages qui régit les développements microbiens et enzymatiques, principaux agents de l'affinage (Riahi, 2006). En fin de salage, le sel se trouve concentré dans les couches superficielles du fromage et migre jusqu'au cœur du fromage (en raison d'un gradient de concentration) pendant l'affinage. Les cinétiques de transfert du sel au moment du saumurage sont dépendantes de la perméabilité, du rapport surface/volume et du pH du caillé, et également de la température et de l'agitation de la saumure (Riahi, 2006).

I.5.3.2. Affinage

A l'exception des fromages frais, tous les types de fromages sont affinés. L'affinage est en général fait en cave, étant donné que la température et le degré d'humidité doivent être maîtrisés. La durée de l'affinage peut varier de quelques semaines à plusieurs années selon le fromage fabriqué. Les conditions d'affinage vont avoir un impact crucial sur le développement de l'écosystème d'affinage. La composition et l'évolution de la flore microbienne jouent un rôle primordial dans la typicité et la qualité du produit obtenu. En effet, lors de l'affinage, les fromages subissent des transformations biochimiques profondes dues au développement de l'écosystème fromager (Broome, 2007; Hassan et al., 2012) :

- Fermentation du lactose résiduel et consommation du lactate ;

- Hydrolyse de la matière grasse et des protéines ;
- Production d'arôme à partir des acides gras et acides aminés

I.5.4. Enrichissement

L'enrichissement est défini comme l'addition à un aliment d'un ou plusieurs nutriments essentiels, normalement ou non contenant dans l'aliment, avec pour objectif de prévenir ou de corriger une carence en un ou plusieurs nutriments (Du et al., 2005)

Les stratégies d'enrichissement utilisent des aliments vecteurs facilement accessibles et largement consommés. Le choix de chaque micronutriment à ajouter dépend de sa biodisponibilité dans l'aliment et de sa stabilité au cours de sa préparation, au cours de son stockage (Berger, 2003).

I.5.5. Conditionnement et refroidissement

Le conditionnement se fait directement sans refroidissement et la forme du produit est donnée par l'emballage. Il est réalisé sur lignes automatisées, il doit être conduit dans les bonnes conditions d'hygiène pour éviter toute contamination du fromage par le matériel (Berger et al., 1989).

Le conditionnement du fromage ne se réalise pas dans les cas suivants :

- La température inférieure à 70 °C.
- La présence des points noirs (moisissures, réaction de Maillard).
- Portions écrasées....etc.

Le fromage conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte, Le crémage n'est stoppé complètement que lorsque la température du fromage atteint 20°C dans la masse (Eck & Gillis, 2006).

I.5.6. Stockage du produit

La conservation se fait dans des entrepôts dont la température se situant autour de 6 à 10°C s'avère suffisante pour éviter la poursuite du crémage, mais pas assez basse pour entraîner la formation de condensat sur les emballages (Eck & Gillis, 2006). Certaines précautions doivent être prises au cours de la conservation des fromages. L'écrasement par surcharge et le mouillage surtout lorsqu'il s'agit de boîtes en carton doivent être évités; aussi les changements de température brusques notamment par le passage du froid au chaud provoquent la détérioration particulièrement des emballages en carton (Luquet, 1990). Le respect des conditions optimales au cours des différentes étapes de fabrication et celles de conservation permet d'obtenir un produit de bonne qualité (Eck & Gillis, 2006).

I.6. Composition nutritionnelle de fromage

Le fromage est à la fois un aliment protecteur pour l'adulte et un aliment de croissance pour le jeune, du fait de la présence de protéines de valeur biologique élevée, et du complexe phosphore, calcium et vitamines (Tableau IV). Il est généralement beaucoup mieux accepté que le lait et sa digestion est plus facile (Tremolieres et al. 1984).

Tableau IV : Apport nutritionnel moyens des différents types de fromages par 100 g
(Richonnet, 2016).

	Fromage frais	Fromage à pâte molle	Fromage à pâte pressée cuite	Fromage à pâte pressée non cuite	Fromage à pâte persillée	Fromage fondu
Matière sèche (%)	40	50	65	60	60	50
Protéines (g)	10	22	30	22-27	19	10
Lipides (g)	17	20-26	28	28	29	22
Acides gras saturés (g)	12	13-17	17,6	18	19	14
Lactose (g)	3	0,4	Traces	Traces	Traces	6,5
Sodium (g)	520	560	417	320-511	1260	737
Calcium (g)	85	460-590	766	500-760	543	576
Phosphore (g)	155	378	561	230-520	367	703

I.7. Qualité des fromages

La qualité des fromages dépend d'un grand nombre de facteurs, liés à la fois à la technologie de fabrication et aux caractéristiques chimiques et microbiologiques de la matière première mise en œuvre (Martin et al., 2005). Les composants de la qualité sont multiples :

➤ **Qualité hygiénique:** les matières premières doivent être dépourvues de microorganismes pathogènes, de toxines, de résidus chimiques ou de composant indésirables générés par les procédés (Jeantet et al., 2007).

➤ **Qualité nutritionnelle:** la concentration relative et la nature des différents nutriments ne doivent pas être trop éloignées des recommandations des nutritionnistes (Jeantet et al., 2007).

➤ **Qualité sensorielle:** les qualités organoleptiques conditionnent l'appétence et le plaisir que procure la consommation du produit, elles intègrent la couleur, la texture, l'odeur, la saveur et l'arôme.

Ces différents composants qualitatifs peuvent être appréhendés et évalués par des méthodes biologiques (analyse microbiologique), physico-chimiques (texture, composition) et par des méthodes sensorielles (saveur, arôme) (Jeantet et al., 2007).

I.8. Défauts de fabrication du fromage

La fabrication du fromage est influencée par de nombreux facteurs tels que la nature de la matière, le choix des autres ingrédients. Ainsi, un très léger écart par rapport aux normes peut engendrer des défauts que l'on peut observer au cours de différents stades de la chaîne de fabrication (Berger et al., 1989). Les défauts de fabrication du fromage selon Berger et al. (1989) sont représentés dans le Tableau V.

Tableau V : Les défauts de fabrication du fromage (Berger et al.,1989) .

Aspect de la pâte	Origine possible	Remède
La pâte du fromage reste liquide	<ul style="list-style-type: none"> - Matière première est trop affinée, trop décomposée et ne peut constituer une structure stable - Teneur en eau est trop élevée. - Durée de la fonte est trop courte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélanger la matière première avec des fromages plus jeunes présentant une structure protéique plus stable. - Diminuer la quantité d'eau ajoutée. - Prolonger la durée de la fonte
La pâte forme des fils	<ul style="list-style-type: none"> - Matière première est trop jeune. - Sel de fonte est trop ou peu crémant. -Quantité du sel de fonte est insuffisante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajouter du fromage plus affiné à la matière première. - Utiliser un sel de fonte plus crémant. -Augmenter la quantité du sel de fonte
La pâte prend une coloration brune foncée	<ul style="list-style-type: none"> - Température de la fonte est trop élevée. - Temps de chauffage est long et la température est supérieure à 100°C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la température de chauffage pour les fromages contenant du lactose même en cas du traitement UHT. - Réduction du temps de chauffage quand la température dépasse 100°C.

I.9. Rendement fromager

Le rendement fromager est une des données les plus importantes pour une fromagerie. En effet, la quantité de fromage généralement obtenue est faible par rapport à la quantité d'ingrédients mis en œuvre. Le rendement est évalué en établissant le rapport entre la quantité de fromage obtenue et la quantité de lait utilisée. Il est possible d'établir des rendements basés sur la récupération des composants laitiers, les protéines et la matière grasse. L'humidité finale du produit est le facteur principale du rendement fromager (égouttage), ainsi que la durée d'entreposage du lait (Vignola, 2002).

II. Généralité sur le fenouil

II. Généralités sur le fenouil

II.1. Historique

Le fenouil est une herbe avec une grande histoire d'utilisation culinaire et médicinale. Le nom de *Foeniculum vulgare* a été donné à cette plante par les Romains et dérive du mot latin *Foenum*, c'est à dire herbe. Le fenouil est communément appelé « **Besbas** » par les populations locales (Bouguerra & Barkat, 2012).

Le nom du *Foeniculum* vient du latin *Foenum* (foin) , *oufuniculis* (petit filet), en référence aux lanières des feuilles et le mot *vulgare* indique une plante commun (Rather et al., 2012).

II.2. Description de la plante

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) plante appartenant à la famille des *Apiacées* (Figure 4), avec une grande histoire d'utilisation (El-Soud et al., 2011). Le nom *Foeniculum* est du mot latin qui signifie le foin parfumé. Le fenouil était dans la grande demande pendant le moyen âge (Muckensturm et al., 1997), connu et employé par les êtres humains depuis l'antiquité, il est cultivé dans chaque pays entourant la mer méditerranée en raison de son arôme (Oktay et al., 2003) comme herbe aromatique et également dans la médecine folklorique, en raison des propriétés pharmacologiques de son huile essentielle (Križman et al., 2007).



Figure 4: Fenouil (*Foeniculum voeniculum vulgare*) (Badgujar et al., 2014).

II.3. Aspect botanique

II.3.1. Présentation de la famille des Apiacées

La famille des plantes *Apiacées* (ombellifères) (Figure 5) comporte environ 434 genres et 3 700 espèces. La plupart des espèces sont les herbes tempérées et aromatiques (Lim, 2015). C'est l'une des familles les plus étudiées de plante, cette grande famille est un producteur bien connu d'huile essentielle dotée de prospérités thérapeutiques, à savoir les activités antibactérienne, antioxydante et antifongique, il est donc utilisé comme conservateurs naturels pour produits alimentaires (Smaili et al., 2016).



Figure 5 : Plante des *Apiaceae* (Esseid et al., 2018).

II.3.2. Description botanique

Foeniculum vulgare Mill (Figure 6) est une plante bisannuelle herbacée et vivace peut pousser jusqu'à 2,5 m de hauteur avec des tiges creuses. Les feuilles sont constituées de trois à quatre folioles réparties en lanières filiformes d'environ 0,5 mm de large. Les fleurs jaunes se présentent en ombelles. Le fruit est une graine sèche 4-10 mm de long (M. A. Rather et al., 2016). Trois variétés de fenouil différentes ont été décrites: annuelle, bisannuelle, périnéale. La pollinisation du fenouil est croisée (Malhotra, 2012a).

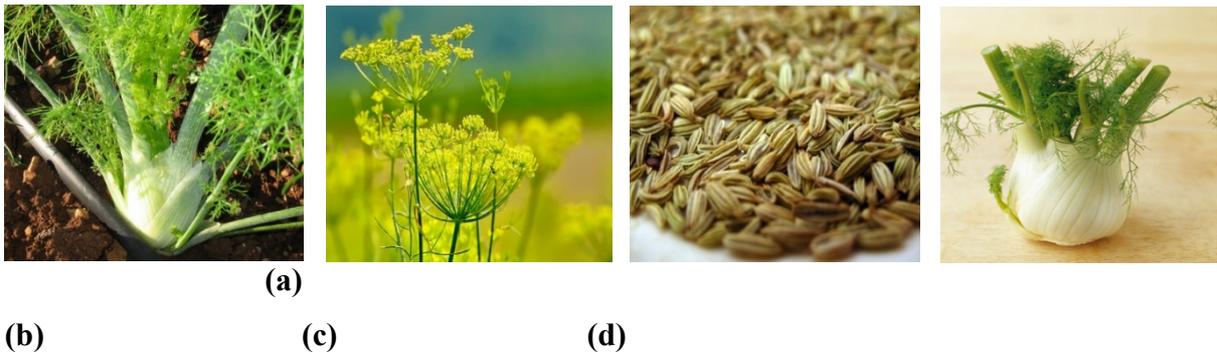


Figure 6: Photographie des différentes parties du fenouil (Kaur & Arora, 2009)Kaur & Arora, 2009).

(a): Plante entière ; (b): Fleures ; (c): Graines ;(d): Bulbe.

Tableau VI: Production mondiale du fenouil (Mehra et al., 2021).

Pays	Production (Tonnes)
Inde	58,400
Chine	48,002
Bulgarie	36,500
Iran	32,771
Mexique	29,251
Syrie	27,668
Monde	970,404

II.4. Origine et distribution géographique

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) est originaire de la région méditerranéenne (Zoubiri et al., 2014). Il est généralement considéré comme indigène sur les rives de la mer méditerranée mais est devenu largement naturalisée dans de nombreuses parties du monde, en particulier sur les sols secs, près de la côte de la mer et sur les berges de la rivière (Manzoor et al., 2012). Il a été cultivé en Russie, Inde, Chine et au Japon (Figure 7 et Tableau VI) (Zoubiri et al., 2014).



Figure 7: Répartition mondiale du fenouil (Rodriguez, 2021)

II.5. Classification botanique

La classification botanique du fenouil est résumée dans le Tableau VII. Le fenouil appartient à la famille des *Apiaceae*, le genre *Foeniculum* et l'espèce *Foeniculum vulgare* Mill.

Tableau VII: Classification botanique du fenouil (Yaacoubé & Tlidjane, 2018).

Règne	<i>Plantae</i>
Embranchement	<i>Spermatophytes</i>
Sous embranchement	<i>Angiosperme</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Apiales</i>
Famille	<i>Apiaceae</i>
Genre	<i>Foeniculum</i>
Espèce	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.

II.6. Caractéristiques des différents organes du fenouil

Le Tableau VIII regroupe les principales caractéristiques des différentes parties (tige, feuilles, fleurs et fruits) du fenouil.

Tableau VIII: Principales caractéristiques des différentes parties du fenouil.

Organe	Caractéristiques	Références
Tige	La tige est robuste et lisse, pouvant atteindre 2 m de hauteur, cylindrique et rameuse porte des feuilles alternes pétiolées à la base.	(Teuscher et al., 2005; Wichtl & Anton, 2003).
Feuilles	Les feuilles supérieures sont sessiles, découpées en lanières filiformes et très allongées, d’où un aspect aérien et plumeux.	(Teuscher et al., 2005).
Fleurs	Les fleurs ont régulières, radicales, à 5 sépales formant un bourrelet, 5 pétales verdâtres tronquées et roulées vers l’intérieurs, 5 étamines, 2 styles courts, un ovaire infère et divisé en 2 loges.	(Teuscher et al., 2005).
Fruit	Le fruit est une graine sèche de 4 à 10 mm. Le fruit vert Jaunâtre, est parqué de cinq cotes.	(Debuigne & Couplan, 2019; Rather et al., 2016).

II.7. Composition chimique et valeur nutritive

Foeniculum vulgare est largement cultivé pour ses fruits comestibles ou graines ceux-ci sont doux et secs. Le fenouil est souvent séché pour une utilisation ultérieure et il est largement commercialisé. Le Tableau IX indique que le fenouil est riche en minéraux en particulier le potassium, sodium, phosphore et calcium. Il est également riche en fibres alimentaires et en vitamines par rapport aux besoins alimentaires. En plus, Ils possèdent des petites quantités de nombreux d’autres nutriments (Badgular et al., 2014).

II.8. Antioxydants et activité antioxydante

Les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des végétaux, caractérisés par la présence d’au moins d’un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupement hydroxyle libre, ou engagé dans une autre fonction tels que : éther, ester, hétéroside...etc. En effet les composés phénoliques, constituent le groupe le plus nombreux et le plus largement distribué dans le royaume des végétaux, avec plus de 8000 structures phénoliques connus. Les principales classes de composants phénoliques sont : les acides phénoliques (acide caféique, acide hydrox cinnamique, acide chlorogénique), les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols, les tanins, et les coumarines.

Tableau IX: Composition chimique et valeur nutritive du fenouil (Imane et al., 2020).

Composition	Quantité (pour 100 g)
Humidité	90,21 g
Energie	31 kcal
Protéines	1,24 g
Lipides	0,2 g
Glucides	7,3 g
Total des fibres alimentaires	3,1 g
Sucres	3,93 g
Minéraux	
Calcium	49 mg
Fer	0,73 mg
Magnesium	17 mg
Phosphor	50 mg
Potassium	414 mg
Sodium	52 mg
Zinc	0,2 mg
Vitamines	
Vitamine C	12 mg
Thiamine B ₁	0,01 mg
Riboflavin B ₂	0,032 mg
Niacin B ₃	0,64 mg
Vitamin B ₆	0,047 mg
Folate	27 ug
Vitamine A	48 ug
Vitamine E	0,58 mg
Vitamine K	62,8 ug

Les polyphénols sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs : racine, tiges, feuilles, fleurs, fruits (Boudjouref., 2011). Les tests qualitatifs ont montré une présence intéressante de plusieurs métabolites secondaires à savoir : coumarines, tannins, flavonoïdes, saponosides, stérols et stéroïdes (Tableau X).

Tableau X: Principaux métabolites secondaires du fenouil

(Lauzon et al., 2006).

Composé	Graines	Tiges	Racines (fruit)	Feuilles
Coumarines	Fortement présentes	Moyennement présentes	Absentes	Absentes
Tannins	Moyennement présents	Fortement présents	Faiblement présents	Absents
Flavonoïdes	Considérablement présents	Faibles	Absents	Les plus élevés, détectés uniquement avec un rendement non négligeable
Saponosides	Présence intéressante	Moins importants	Présence intéressante	–
Stérol et stéroïdes	Quantité	Quantité	Quantité	–

	équivalente	équivalente	équivalente
--	-------------	-------------	-------------

En outre, selon Anka et al. (2020), le fenouil contient plusieurs types d'acides phénoliques et de flavonoïdes (Tableau XI).

Le fenouil est connu comme une excellente source d'antioxydants naturels. Cette plante peut inhiber les radicaux libres en raison de la teneur élevée en polyphénols et flavonoïdes. Les composés phénoliques de cette plante tels que l'acide caffeoylquinique, l'acide rosmarinique, l'ériodictyol-7-orutinoside, la quercétine-3-O-galactoside et le kaempferol-3-O-glucoside ont montré une activité antioxydante. L'huile volatile de fenouil a également une forte activité antioxydante. Cependant, les extraits éthyliques et aqueux des plantes par rapport à leur essence ont moins d'activité antioxydante.

II.9. Activités biologiques

Les extraits de fenouil sont considérés comme une source en composés phénoliques tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines et les tannins; l'acide rosmarinique et l'acide chlorogénique sont les principaux composés phénoliques présents dans les extraits méthanoliques de graines de fenouil alors que la quercétine et l'apigénine sont les principaux flavonoïdes. Les teneurs en polyphénol et en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des graines de *F. vulgare* sont respectivement de 1017,29 mg EAG/100g MS et de 695,52 mg EQ/100g MS. En outre, les extraits méthanoliques des parties aériennes du fenouil ont été étudiés pour leurs contenus en polyphénols et en flavonoïdes, les résultats montrent une forte teneur en polyphénol dans les tiges, les plantules, les feuilles et les inflorescences, mais les flavonoïdes ne sont détectés que dans les plantules (Barros et al., 2009; Roby et al., 2013).

Les extraits huileux, aqueux, méthanoliques, éthanoliques et acétoniques de graines de fenouil ont été étudiés pour leur activité antioxydante en utilisant plusieurs méthodes telles que l'activité du piégeage du radical DPPH et ABTS et le pouvoir réducteur. Les extraits de fenouil ont montré une capacité antioxydant élevée et dose dépendante par rapport aux antioxydants standards tels que le BHA, le BHT et l'alpha-tocophérol ; 100 mg d'éthanol et d'extrait aqueux présentent 99,1% et 77,5% de peroxydation d'acide linoléique, cette capacité est plus élevée que celle de l'alpha-tocophérol (36,1%) avec la même dose.

L'huile essentielle des graines du fenouil a montré une activité antioxydante plus forte en comparaison avec les extraits aqueux et éthanoliques, une telle activité antioxydante est due à la teneur élevée en polyphénols et flavonoïdes tels que l'acide 3-caffeoylquinique, l'acide 4-caffeoylquinique, l'acide 1,5-O-dicaffeoylquinique, l'acide rosmarinique,

l'eriodytyol-7-rutinoside, le quercétine-3-O-galactoside, le kaempférol-3-O- rutinoside et le kaempférol- O-glucoside (Oktay et al., 2003 ; Shahat et al ., 2011). Plusieurs études de l'activité antibactérienne de *F. vulgare* sont rapportées dans la littérature (Tableau XII).

L'extrait de la tige du fenouil montre une forte inhibition du *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* et *cladosporioides* avec des valeurs du CMI 25, 250 et 125 µg/mL respectivement. De plus, une activité inhibitrice élevée est présentée par l'huile essentielle de fenouil: les valeurs de CMI et de CMB sont de 1 et 2% contre *Escherichia coli*, et de 2 et 4% contre *Staphylococcus aureus*, respectivement.

De même, l'huile essentielle de *F. vulgare* présente une forte activité antifongique à une dose de 6 µL. L'extrait aqueux des graines de fenouil montre une activité antifongique significative contre certaines souches de champignons par rapport à la griséofulvine (Singh, 2019; Taie et al., 2013).

Selon la littérature, plusieurs études ont montré que la plante de *Foeniculum* possède une activité antimicrobienne (Tableau XI), activité anti-inflammatoire, Activité cardiovasculaire, Activité antidiabétique... etc (Tableau XII).

Tableau XI: Principales souches bactériennes sensible aux extraits de fenouil (*Foeniculum vulgare*) (Singh, 2019; Taie et al., 2013).

Partie de la plante	Souche bactérienne
Partie aérienne	<i>Agrobacterium radacobacterp</i> , <i>Tumefaciens</i> , <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas glycinea</i> .
Tige	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i> .
Huile essentielle	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Candida albicans</i> .

Tableau XII: Propriétés pharmacologiques du fenouil (*Foeniculum vulgare*)

Effets pharmacologiques	Mécanismes possibles d'efficacité
Activité antimicrobienne	Présence de composés actifs ayant une activité antimicrobienne comme l'acide oléique et la coumarine dans l'extrait aqueux et alcoolique
Activité anti-inflammatoire	Les effets préventifs de l'extrait de méthanol contre les maladies aiguës et subaiguës, les réactions allergiques de type 4 par cyclooxygénase et inhibition de la lipoxygénase.
Activité oestrogénique	Présence de composés tels que l'effet anatomique sur l'augmentation de la sécrétion de lait réduire les douleurs menstruelles, facilite la naissance, la dysménorrhée primaire et l'infertilité.
Activité protectrice de la mémoire	Effet inhibiteur sur l'enzyme acétylcholinestérase.
Activité cardiovasculaire	Diminution de la pression artérielle systolique, diminution de l'excrétion de sodium, de potassium et d'eau.
Activité antidiabétique	L'hypoglycémie agit en abaissant la glycémie, en augmentant l'activité du

	peroxyde de glutamine, en augmentant les niveaux de foie et de glycogène musculaire.
--	--------------------------------------------------------------------------------------

(Kooti et al., 2015).

II.9. Domaine d'utilisation

L'herbe de fenouil a beaucoup d'usages de médecine culinaire et traditionnelle. Les jeunes pousses, les feuilles et les fruits entièrement muris et séchés, sont couramment utilisés pour les remèdes maison. Ses fruits aromatiques ont été utilisés comme épices culinaires dans de nombreux pays. L'herbe de fenouil utilisé traditionnellement pour le traitement d'une variété de symptômes gastrointestinaux et des voies respiratoires. Les graines de fenouil ont été utilisées pour le traitement des nourrissons souffrant des troubles dyspeptiques en Chine depuis des siècles. Il était recommandé pour la bronchite rénaux, la dysménorrhée, les vomissements et la diarrhée, et la elle possédait des activités analgésiques, anti-inflammatoires et antioxydants, présentait aussi des activités antioxydantes (Castaldo et al., 20021)

Le fenouil est une plante médicinale bien connue en raison de son huile volatile, qui est un stimulant, un aromatisant et une carminative qui possède plusieurs propriétés thérapeutiques : analgésique, purgatifs, diurétique, anti inflammatoire...etc (Noreen et al., 2023).

Le fenouil est une source de fibres, qui peut aider à réduire le taux de cholestérol. Les feuilles sont aussi utilisées en cuisine, elles présentent une bonne activité antioxydante.

Les graines, qui ont un goût d'anis, sont utilisées comme épice et pour en extraire l'huile essentielle. Les fleurs et feuilles sont aussi utilisées pour leur coloration jaune-brune (Malhotra, 2012). Elles sont utilisées pour leurs propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiens et leur action ostrogénique. Elles sont largement utilisées dans le traitement de l'anémie, fibrome, maux d'estomac et toux (Noreen et al., 2023).

Le fenouil est également censé atténuer la gastrite, l'acidité donc il joue un rôle en tant qu'agent diurétique et il augmente le débit d'urine. Il est courant chez de nombreux Indiens de consommer immédiatement après les repas des graines de fenouil séchées. Le fenouil est précieux en médecine, notamment ses graines, feuilles, racines et fruits. Les fruits sont particulièrement importants car ils contiennent de l'huile essentielle utilisée dans le traitement de diverses affections cutanées. Traditionnellement, en cas d'inefficacité, le thé de fenouil a même été utilisé comme collyre (Yadav & Malik, 2015).

Le fenouil permet aussi dans une certaine mesure de prévenir le cancer, grâce à ses activités cytoprotectrices et anti-mutagènes. Il joue également un rôle contre l'hirsutisme, qui

est le développement d'une pilosité selon un type masculin chez la femme (Kooti et al., 2015; Noreen et al., 2023).

Partie
expérimentale

III. Matériel

et

méthodes

III. Matériel et méthodes

III.1. Préparation de l'échantillon

Un échantillon des feuilles de fenouil environ 1 Kg a été récolté le 14 janvier 2024 dans la région de Melbou, au sein de la wilaya de Bejaïa.

Les feuilles de fenouil ont été d'abord lavé et essuyé ensuite congeler à une température de -18°C. Après congélation, elles ont subi un séchage dans une étuve portée à une température de 40°C jusqu'à poids constant durant environ 5 jours (Figure 9). Les feuilles ainsi séchées ont été partagées en deux lots : le premier lot a été broyé afin de les transformer en poudre; Tandis que, le second lot est concassé sous forme de débris ou de petits morceaux pour son incorporation dans le fromage. Les échantillons séchés (poudre, feuilles concassés) sont conservés dans des récipients en verre à l'abri de l'humidité pour une utilisation ultérieure.



Figure 8 : Photographie des étapes de préparation de la poudre des feuilles du fenouil.

Les objectifs principaux de la présente étude sont :

- Essai d'élaboration des fromages frais incorporés d'un sous-produit de fenouil « les feuilles » en vue de sa valorisation et entreprendre une évaluation des caractéristiques sensorielles des fromages préparés afin de sélectionner les fromages les plus préférés ;
- Evaluation des propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et antioxydantes des feuilles du fenouil étudiée ;
- Evaluation des propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles des fromages préférés (FF : Fromage enrichi aux feuilles, FFA1 : Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail ; FFA2 : Fromage enrichi aux feuilles et 0,75 g d'ail) contre un fromage témoin (FT) ;
- Evaluation des teneurs en antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, flavonols, caroténoïdes et chlorophylle) et les activités antioxydantes des fromages préférés.

III.2. Etapes de préparation des fromages

La fabrication du fromage frais à pâte molle repose sur l'utilisation du lait entier UHT de la marque "Candia" comme matière première. Les étapes de préparation suivent des pratiques traditionnelles illustrée dans la Figure 10.

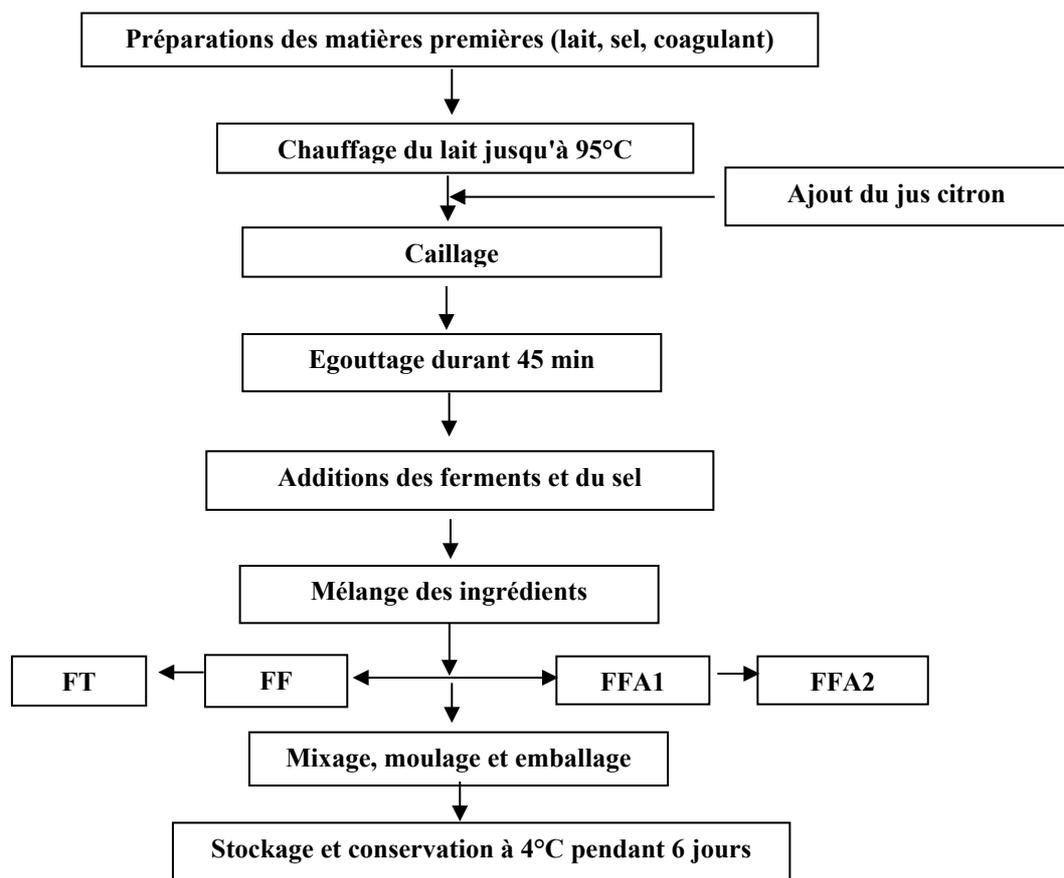


Figure 9 : Diagramme représentatif du processus de fabrication des fromages élaborés.

L'analyse sensorielle vise à décrire de manière objective et qualifiable les caractéristiques organoleptiques des fromages élaborés, notamment en ce qui concerne leurs aspects, leurs textures, leurs saveurs et leurs goûts. Cette démarche s'articule autour de critères précis afin d'appréhender aux mieux les nuances sensorielles des produits évalués. Dans cette optique, une évaluation sensorielle peut revêtir deux formes principales : le test de préférence et le test d'acceptabilité.

Le test de préférence compare plusieurs produits pour déterminer celui favorisé par les dégustateurs, tandis que le test d'acceptabilité consiste à attribuer une note sur une échelle prédéfinie à chaque produit pour évaluer leur agrément auprès des dégustateurs (Schlich et al., 2010).

Le principe consiste à présenter à un sujet un sept échantillons de fromage pour lesquels il doit préciser toutes les observations visuelles ou dégustation pour :

- Etablir un profil sensoriel du produit.
- Exprimer sa préférence et/ou sa satisfaction du produit consommé.
- Décrire l'influence de certains procédés technologiques sur les qualités organoleptiques du produit.

Les caractéristiques sensorielles des fromages frais élaborés sont évaluées par des observations visuelles et des dégustations sensorielles (Annexe II).

III.3.1. Préparation des échantillons et codage

Pour évaluer la qualité organoleptique des fromages produits, une séance de dégustation a été organisée les 10 et 11 mars au laboratoire de Génie Alimentaire de la Faculté de Technologie. Sept échantillons de fromage ont été préparés de manière identique, comprenant des variantes enrichies en feuilles de fenouil et d'ail en différentes proportions, ainsi que des fromages uniquement avec des feuilles de fenouil, et un fromage témoin sans aucune adjonction. Chaque type de fromage, codé de A à G selon le Tableau XIV, a été présenté avec du pain et de l'eau à un jury de 12 experts (Figure 10



Figure 10 : Photographie d'évaluation sensorielle des fromages élaborés.

Tableau VIII: Codage des différents fromages élaborés.

Echantillon	Fromage
A (FT)	Fromage Témoin : sans feuilles et sans ail
B (FF)	Fromage 1 : Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles sans ail
C	Fromage 2 : Fromage enrichi avec 1 g de feuilles sans ail
D	Fromage 3 : Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles et 0,5 g d'ail
E	Fromage 4 : Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles et 0,75 g d'ail
F (FFA1)	Fromage 5 : Fromage enrichi avec 1 g de feuilles et 0,5 g d'ail
G (FFA2)	Fromage 6 : Fromage enrichi avec 1 g de feuilles et 0,75 g d'ail

FF : Fromage enrichi aux feuilles ; *FFA1* : Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail; *FFA2*: Fromage enrichie aux feuilles et 0,75 g d'ail.

III.3.2. Recueil des résultats

Le recueil des résultats est effectué sur une fiche ou questionnaire remplie par chaque dégustateur (Annexe II).

III.4. Analyses de la poudre des feuilles du fenouil des feuilles fraîches

III.4.1. Détermination des paramètres physico-chimiques

III.4.1.1. Teneur en eau et matière sèche

La teneur en eau et la matière sèche permettent de quantifier la quantité d'eau et de matières solides présentes dans un échantillon. La teneur en eau est déterminée en séchant l'échantillon pour éliminer toute l'eau, tandis que la matière sèche est calculée en soustrayant la teneur en eau de la masse totale de l'échantillon. Ces mesures sont importantes pour évaluer la composition et la qualité des produits dans divers domaines. Afin de déterminer la teneur en eau de l'échantillon d'arboise étudié, 2 g d'arboise subissent une dessiccation dans une étuve portée à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 4 heures (Doymaz, 2004). La teneur en eau est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{H\ (\%) = [(M_1 - M_2) / P] * 100}$$

D'où :

H (%) : Humidité en pourcentage ;

M₁ : Masse de la capsule + masse de la matière fraîche (g) ;

M₂ : Masse de la capsule + masse de la matière sèche (g) ;

P : Masse de la prise d'essai (g).

Par conséquent, le taux de matière sèche (MS) est exprimé comme suite :

$$\mathbf{MS\ (\%) = 100 - H\ (\%)}$$

III.4.1.2. pH

Le pH par définition est une mesure de l'activité des ions H⁺, contenus dans une solution. Le but est de mesurer quantitativement l'acidité de celle-ci, le pH est déterminé par un pH-mètre qui mesure la différence du potentiel entre deux électrodes qui sont émergés dans une solution donnée (Jora et al., 2017a).

Le pH des feuilles du fenouil est déterminé à l'aide d'un pH mètre selon la méthode AFNOR (1982a). Une prise d'essai de 0,5 g est ajustée avec l'eau distillée à un volume de 25 mL, l'ensemble a subi une agitation pendant 30 min suivi d'une filtration. Le filtrat récupéré permet de mesurer les valeurs du pH à l'aide d'un pH mètre.

III.4.1.3. Acidité titrable

L'acidité titrable des feuilles du fenouil est déterminée par la méthode AFNOR, (1974). Elle consiste à peser environ 2 g d'échantillon et les placer dans une fiole conique avec 25 mL d'eau distillée chaude, récemment bouillie, refroidie, puis bien mélanger jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. Après chauffage du contenu au bain marie pendant 30 min, le mélange est refroidi puis transvaser dans une fiole conique jaugée de 250 mL et ajuster le volume avec l'eau distillée récemment bouillie, puis filtrer.

Afin de déterminer l'acidité, prélever 25 mL du filtrat et les verser dans un bécher, ajouter deux à trois gouttes de la phénolphtaléine tout en agitant et verser à l'aide d'une burette la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à N/9 jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante et noter le volume de la soude versée. L'acidité est déterminée par la formule suivante:

$$\text{Acidité titrable (\%)} = (250.V_1.100) / (V_0.M.10)$$

Soit :

M : Masse du produit prélevé (g) ;

V₀ : Volume de la prise d'essai (mL) ;

V₁ : Volume de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé (0,1N) (mL).

III.4.1.4. Teneur en cendres et matières organiques

Les cendres totales permettent de juger la richesse en éléments minéraux et la composition minérale du produit. Afin de déterminer la teneur en matières organiques, une quantité de 5 g de la poudre des feuilles de fenouil est introduite dans une capsule en porcelaine puis placée dans un four à moufle porté à 550 ± 15°C pendant 5 h jusqu'à ce qu'on

obtient des cendres de couleur grisâtre ou blanchâtre (AFNOR, 1982a). La capsule est pesée après refroidissement et la matière organique est calculée par la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = [(M_1 - M_2) / P] \times 100$$

Où :

MO: Matière Organique

P : Masse de la prise d'essai ;

M₁ : Masse des capsules + la masse de la prise d'essai;

M₂ : Masse des capsules + cendres.

La teneur en cendres est calculée par la formule suivante :

$$\text{Cendres (\%)} = 100 - \text{MO (\%)}$$

III.4.2. Screening phytochimique

Des tests en tube sont réalisés sur la poudre des feuilles du fenouil afin de déterminer de manière préliminaire la nature des différents métabolites secondaires qu'elles contiennent. Il s'agit d'une analyse qualitative basée sur des réactions de coloration et/ou de précipitation. L'analyse est effectuée sur une solution à 20% selon la méthode de Paris et al. (1978) et Bourahla (2017).

➤ **Identification des tanins totaux :** 5 mL d'infusé sont additionnés de quelques gouttes d'une solution de FeCl₃ à 5% ; une réaction positive se traduit par l'apparition d'une coloration bleue noire.

➤ **Identification des anthocyanes :** ajouter quelques gouttes d'HCl à 5 mL d'infusé. En présence d'anthocyanes, une réaction positive se traduit par l'apparition d'une coloration rouge.

➤ **Identification des glucosides :** 2 g de poudre sont additionnés de quelques gouttes d'acide sulfurique ; la formation d'une coloration rouge brique ensuite violette indique leur présence.

➤ **Identification des mucilages :** introduire 1 mL de l'extrait dans un bécher puis ajouter 5 mL d'alcool absolu et laisser agir pendant 10 min. La réaction positive se traduit par l'apparition d'un précipité floconneux.

➤ **Identification des irridioïdes :** ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique à 2 mL d'infusé puis chauffer le mélange sur une plaque chauffante. La présence des irridioïdes se traduit par l'apparition d'une coloration bleue.

➤ **Terpénoïdes** : un volume de 5 mL d'extrait est mélangé avec 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence des terpénoïdes.

➤ **Quinones libres** : ajouter à un volume d'extrait quelques gouttes de NaOH (1%). L'apparition d'une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet indique la présence des quinones libres.

➤ **Composés réducteurs** : introduire 1 mL d'extrait dans un tube à essai, ajouter 2 mL de liqueur de Fehling (1 mL réactif A et 1 mL réactif B), incuber l'ensemble pendant 8 min dans un bain marie bouillants. L'apparition d'un précipité rouge brique indique la présence des composés réducteurs.

III.4.3. Détermination des propriétés fonctionnelles

III.4.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

La Capacité d'Absorption d'Eau (CAE) évalue la proportion d'eau qu'un matériau peut retenir en relation avec sa masse initiale, fournissant ainsi des indications sur sa capacité d'hydratation.

La CAE est estimée selon la méthode de Diomande et al. (2017). Une quantité de poudre des feuilles du fenouil est pesée et introduite dans un tube de centrifugation. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses sont notées (m_e). Ensuite, un volume d'eau a été ajouté dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 trs/min. Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (m_e'). La CAE est déterminée selon la formule suivante :

$$CAE = (m_e' - m_e) \times 100/P$$

Où :

m_e : Masse du tube contenant la poudre avant centrifugation (g);

m_e' : Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation (g);

P : Poids de la prise d'essai (g)

III.4.3.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH), du lait entier (CALE) et du lait partiellement écrémé (CALPE)

La Capacité d'Absorption d'Huile (CAH), de Lait Entier (CALE) et de Lait Partiellement Ecrémé (CALPE) consiste à mesurer la quantité respective d'huile, du lait entier ou du lait partiellement écrémé qu'un matériau peut absorber par rapport à sa propre masse.

Le même protocole que celui de la mesure de la CAE a été suivi, sauf que l'eau a été remplacée par l'huile, le lait entier et le lait partiellement écrémé pour la mesure des capacités CAH, CALE et CALPE, respectivement. Les capacités d'absorptions sont alors déterminées selon la formule:

$$\text{CAH} = \text{CALE} = \text{CALPE} = (\text{me}' - \text{me}) \times 100/\text{P}$$

Où:

me : Masse du tube contenant la poudre avant centrifugation (g);

me' : Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation (g);

P : Poids de la prise d'essai.

III.4.3.3. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)

Le rapport hydrophile-lipophile (RHL) tel que défini par Marie et Edmond (2015), a été calculé en faisant le rapport de la capacité d'absorption d'eau sur la capacité d'absorption d'huile. C'est un rapport qui permet d'évaluer l'affinité comparée de la poudre pour l'eau et pour l'huile.

$$\text{RHL} = \text{CAE}/\text{CAH}$$

Où :

RHL : Rapport Hydrophile-Lipophile;

CAE : Capacité d'Absorption d'Eau;

CAH : Capacité d'Absorption d'Huile.

III.4.3.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)

L'AE et la SE se basent sur la capacité d'une substance à former une émulsion et à maintenir sa stabilité dans le temps.

L'AE et la SE ont été déterminées selon la méthode décrite par Diomande et al. (2017). Une quantité de la poudre des feuilles du fenouil est pesée et introduite dans un tube de centrifugation. Les tubes contenant les poudres sont pesés et les masses sont notées, ensuite chaque tube est additionné d'un même volume d'huile et d'eau. Après 30 min d'agitation, les différents tubes sont centrifugés à 5000 trs/min pendant 25 min. Les tubes ont été retirés et les hauteurs (hauteur totale et hauteur d'eau) ont été mesurées et notées.

L'activité émulsifiante est calculée selon la formule suivante :

$$\text{AE} = (\text{He}/\text{Ht}) \times 100$$

Où:

He : Hauteur d'eau ;

Ht : Hauteur totale.

Pour la détermination de la stabilité des émulsions, les tubes ont été conduits au bain marie bouillant. Au terme de cette période, les tubes sont retirés et les nouvelles hauteurs de l'eau ont été notées (He'). La stabilité est calculée selon la formule suivante :

$$SE = (He'/He) \times 100$$

Où :

He : Hauteur d'eau ;

He' : Nouvelle hauteur d'eau.

III.4.3.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)

L'Activité Moussante (AM) et la Stabilité Moussante (SM) se fondent sur la capacité d'une substance à former une mousse et à maintenir sa stabilité au fil du temps.

L'AM et la SM ont été déterminés selon la méthode décrite par Li et al. (2018). Une solution aqueuse de la poudre des feuilles de fenouil a été préparée et agitée à l'aide d'un mélangeur à haute vitesse à température ambiante. L'échantillon résultant a été transféré dans une éprouvette graduée. Le volume du mélange a été enregistré après le fouettage. L'échantillon a été placé pendant 30 minutes (repos) et son volume a été enregistré à nouveau.

L'AM et la SM ont été calculés en utilisant les formules suivantes :

$$SM =$$

Où:

V₁ : Volume de la solution d'échantillon initiale (mL) ;

V₂ : Volume du mélange 0 min après le fouettage (mL) ;

V₃ : Volume du mélange laissé pendant 30 min après le fouettage (mL).

III.4.3.6. Capacité de gonflement (CG)

La CG repose sur l'aptitude d'un matériau à absorber un fluide et à accroître son volume en conséquence.

La méthode décrite par Robertson et al. (2000) a été utilisée pour la mesure de la CG. Brièvement, une masse (P) de la poudre des feuilles du fenouil est hydratée et mélangée à un volume connu d'eau distillée dans une éprouvette graduée. Après 18 h d'incubation, le volume final (V) est mesuré. La CG est définie par le rapport du volume (mL) occupé par la poudre des feuilles gonflée sur le poids sec initial de celle-ci :

$$CG \text{ (mL/g)} = V / P$$

Où :

V : Volume finale après 18 h;

P : Poids initial de la poudre des feuilles de fenouil.

III.4.3.7. Dispersibilité

La dispersibilité d'une poudre dans l'eau représente son aptitude à se briser en particules pouvant passer à travers un tamis dont le diamètre des pores est défini préalablement. Les méthodes les plus utilisées sont celles décrites par l'ADPI (1990).

Une masse de la poudre des feuilles du fenouil a été pesée dans une éprouvette de 100 mL et le volume est ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée. L'ensemble est agité vigoureusement et laissé au repos pendant 3 h. Le volume (V) de particules décantées a été enregistré est soustrait de 100 mL. La différence est enregistrée en pourcentage de dispersibilité.

$$D (\%) = 100 - V$$

III.5. Analyses physico-chimiques du lait

Des analyses physico-chimiques multiples ont été menées sur le lait impliqué dans la composition des fromages, couvrant des paramètres tels que le pH, l'acidité et l'extrait sec total.

III.5.1. Détermination du pH

La détermination du pH du lait s'opère en submergeant l'électrode du pH-mètre dans un bécher contenant 10 mL de lait, permettant ainsi l'affichage direct de la valeur sur l'écran du dispositif.

III.5.2. Détermination d'acidité titrable

L'acidité du lait a été déterminée par titration avec la soude (9N) en présence de la phénolphthaléine comme indicateur coloré, conformément au protocole établi par la FIL. Les résultats sont exprimés en degrés Dornic (°D), représentant la concentration d'acide lactique en grammes par litre de lait soit :

$$AC (D^{\circ}) = V' \cdot 10$$

Où :

AC : Acidité titrable (Degré Dornic) ;

V' : Volume de la solution NaOH versé (mL)

III.5.3. Détermination d'extrait sec total (EST)

L'extrait sec total est déterminé par la méthode d'étuvage qui est basé sur la dessiccation complète du produit avec l'élimination de la totalité d'eau présent dans l'échantillon (AFNOR,1986).

L'évaluation de l'EST permet d'estimer la qualité du lait. Elle est réalisée en séchant une quantité précise de lait dans une étuve à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 5 heures. L'EST est ensuite calculé en mesurant la différence de poids avant et après le séchage, en utilisant les formules suivantes :

$$\text{EST} = n - n' \quad \text{ou} \quad \text{EST} = 100 - H (\%)$$

Où :

EST : Extrait Sec Total ;

n' : Poids de la capsule vide (g) ;

n : Poids de la capsule plus le poids du lait (g).

III.6. Analyses des fromages élaborés

III.6.1. Détermination des paramètres physico-chimiques

Les fromages préférés sont ensuite soumis à une série d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles à l'état frais (0 jour) afin de déterminer leurs qualités. En outre, l'effet du stockage à une température de 4°C pendant 6 jours a été évalué.

III.6.1.1. Humidité

La méthode consiste à d'abord tarer une capsule vide (M_0), puis à y placer l'échantillon de fromage (M_1). Ensuite, l'échantillon est chauffé dans une étuve à une température de $100-105^{\circ}\text{C}$ pendant 4 heures. Après le chauffage, l'échantillon est retiré et pesé à nouveau (M_2). Ce processus permet d'évaluer les changements de poids du fromage après chauffage.

Les résultats sont exprimés en appliquant la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100\%$$

Où:

M_0 : la masse de la capsule vide ;

M_1 : la masse de l'échantillon avant séchage ;

M_2 : la masse de l'échantillon après séchage.

III.6.1.2. pH

Le pH dépend de la concentration d'un milieu en protons; il est le logarithme de la concentration molaire de l'ion hydronium (H_3O^+) (Jaques et al., 1998). La mesure du pH d'un

aliment nous renseigne sur sa fraîcheur (Lapointe-Vignola, 2002c). Après avoir étalonné le pH mètre à l'aide de deux solutions tampons (pH=7/pH=4), la sonde du pH mètre est directement introduite dans les échantillons, la valeur du pH sera directement affiché sur l'écran de l'appareil (AFNOR, 1980) .

III.6.1.3. Acidité titrable

L'acidité titrable est exprimée par la titration avec une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 N) en présence de la phénolphthaléine comme indicateur coloré (Shori et al., 2013). Après avoir introduit 10 mL du produit dans un bêcher de 100 mL, 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine ont été ajoutées. Titrer avec NaOH (0,1 N) jusqu'au virage à la couleur rose pâle facilement perceptible pendant 10 secondes et lire la chute de la burette.

L'acidité est exprimée en degré Dornic selon la méthode suivante :

$$AC = V. 10 (D^{\circ})$$

Où :

AC : Acidité titrable (Degré dornic) ;

V : Volume de la solution de NaOH versé (mL).

Remarque : 1 degré Dornic= 0,1 g d'acide lactique/Litre du lait.

III.6.1.4. Matière grasse

La détermination de la teneur en matière grasse consiste tout d'abord à digérer les protéines par l'acide sulfurique ou un mélange d'acides, suivie de la séparation de la matière grasse du produit contenu dans un butyromètre par centrifugation. La séparation peut être favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool isoamylique (AFNOR, 1999). Après avoir pesé précisément 3 grammes de fromage, 10 mL d'acide sulfurique, avec une densité de 1,54, sont introduits dans le mélange. Ensuite, le mélange est chauffé jusqu'à la dissolution totale du fromage. Une fois cette étape terminée, 1 mL d'alcool isomylique est ajouté. Immédiatement après cette addition, le mélange est soumis à une centrifugation. Le taux de matière grasse est directement lu sur le butyromètre.

III.6.1.5. Extrait sec total (EST) et extrait sec dégraissé (ESD)

L'EST est déterminé avec le même protocole adapté pour la détermination de l'EST du lait. Le taux d'extrait sec dégraissé exprime la teneur en éléments secs débarrassés de la matière grasse, beaucoup plus constante que la matière sèche totale (Veisseyre, 1975). Il est calculé par la formule suivante :

$$ESD (g) = EST (g) - MG (g)$$

ESD : Extrait Sec Dégraissé ;

EST : Extrait Sec Total ;

MG : Matière Grasse.

III.6.1.6. Taux de sel (NaCl)

La détermination de la teneur en sel des fromages élaborés a été réalisée par la méthode de MOHR. Le principe du dosage consiste à titrer les chlorures contenus dans le fromage par titrage au nitrate d'argent AgNO₃, en présence de chromate de potassium comme indicateur comme indicateur coloré.

Un aliquot de 5 g de fromage est pesé dans un erlenmeyer, puis ajouter 100mL d'eau distillée bouillante ensuite laisser reposer pendant 5 à 10 min, en agitant jusqu'à ce que le mélange atteigne 50 à 55 °C (température de dosage). Ajouter 2 mL de la solution de chromate de potassium à 5% (K CrO) et agiter. En fin, titrer le mélange avec la solution de nitrate d'argent (AgNO₃) à 0,1N jusqu'au virage de la couleur vers brique persistante.

$$\text{NaCl (\%)} = [(N \cdot V \cdot \text{Eg/m} \cdot 10)] \text{ ou } \text{NaCl (\%)} = [(N \cdot V \cdot 58,5) / m \cdot 10]$$

Où :

N : Normalité du nitrate d'argent AgNO₃ (0,1N) ;

V : Volume de nitrate d'argent consommé en mL ;

Eg : Equivalent gramme de chlorure de sodium ;

m : Masse de la prise d'essai

III.6.2. Analyses microbiologiques

III.6.2.1. Préparation de la solution mère

Dans des conditions d'asepsie on met 25 g de chaque échantillon pesé avec une balance, puis dissous et homogénéisés dans 250 L de TSE (Tryptone Sel Eau), cette suspension correspond à la solution mère (SM) et laisser reposer pendant 15 min.

Une série de dilution décimale est réalisée en prélevant 1 mL de la solution mère dans 9 mL de TSE, ce qui constitue la dilution (10⁻²), puis après homogénéisation de cette dernière, la même opération est répétée pour la préparation de la dilution suivante (10⁻³).

III.6.2.2. Ensemencement, incubation et dénombrement

Selon le JORA (2017), les germes recherchés dans les fromages formulés sont : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella* (Tableau XV).

Tableau XIV : Germes recherchés dans les fromages élaborés (JORA, 2017).

Germes recherchés	Milieu de culture	Type d'ensemencement	Conditions d'incubations	
			Température	Temps
<i>Escherichia coli</i>	EMB	En masse	44°C	24 h
<i>Staphylococcus aureus</i>	Chapman	En surface	37°C	48 h
<i>Salmonella</i>	Hektoen	En surface	37°C	24 h

➤ **Escherichia coli**

Le processus expérimental comporte plusieurs étapes essentielles : prélever 1 mL de chaque dilution à l'aide d'une pipette, transférer dans des boîtes de Pétri et ajouter de la gélose EMB, mélanger soigneusement, puis laisser solidifier. Ensuite, les boîtes ont été incubées à 44°C pendant 24 heures pour permettre la croissance des colonies bactériennes. Cette méthode précise a permis de suivre de près la prolifération d'*Escherichia coli* dans les échantillons analysés.

➤ **Staphylococcus aureus**

Afin de rechercher la Staphylocoque à coagulase positive on procède d'abord à un enrichissement puis un isolement.

• **Enrichissement**

- Verser 10 mL du milieu Giolitti Cantoni dans 4 tubes à essais ;
- Ajouter 1 mL de la solution mère dans un tube à essai pour chaque échantillon ;
- Ajouter le réactif de tellurite de potassium pour les 4 échantillons ;
- Incubation du milieu à 37°C pendant 48 h.

• **Isolement**

Les tubes de GC ayant changé de couleur et il y'a eu formation de trouble feront l'objet d'un isolement sur gélose Chapman en stries fondue, coulée en boîte de Pétri et bien séché. Les boîtes de Chapman ainsi ensemencés seront incubées à leur tour à 37°C pendant 48 h.

➤ **Salmonelles**

Les salmonelles sont isolées après un pré-enrichissement et un enrichissement.

• **Pré enrichissement**

25 g de chaque échantillon de fromage frais est mis dans 250 mL de TSE, mélanger soigneusement puis incubé à l'étuve à 37°C pendant 24 h.

- **Enrichissement**

Introduire 10 mL du mélange pré-enrichi dans des tubes contenant le milieu SFB suivi d'une incubation à l'étuve à 37°C pendant 24 h.

- **Isolement**

- Après enrichissement, effectuer les isollements en stries à la surface des 4 boîtes de Pétri contenant la gélose Hekoten préalablement coulée et solidifiée.

- Retourner les boîtes et incuber les dans une étuve à 37°C pendant 24 h.

III.6.3. Analyses sensorielles

Les fromages préférés sélectionnés lors de la première étape d'évaluation sensorielles (FF, FFA1, FFA2 et FT) subissent une nouvelle série d'analyses sensorielles identiques à l'état frais (0 jour) et après une période de conservation de 6 jours afin d'examiner d'éventuelles modifications de ces caractéristiques organoleptiques.

III.6.4. Extraction et dosage des antioxydants

L'extraction des antioxydants a été réalisée sur les feuilles de fenouil et sur les fromages enrichis préférés.

III.6.4.1. Préparation des extraits

Pour les feuilles 10 g d'échantillon sont additionnés de 200 mL du méthanol pur, suivi d'une agitation pendant 40 min et une filtration afin de récupérer l'extrait méthanolique utilisé pour le dosage des antioxydants et l'évaluation de l'activité antioxydante (Baiano et al., 2009).

Pour le fromage enrichi avec les feuilles de fenouil, la méthode d'extraction utilisée consiste tout d'abord à faire dissoudre 10 g de fromage dans 10 mL du méthanol pur. Le pH de cette solution est ensuite ajusté à 4,0 avec une solution d'HCl (1N). Ce mélange est incubé à 45°C pendant 10 minutes suivi d'une centrifugation (10000 tr, 20 minutes, 4°C). Le surnageant est récupéré et son pH est ajusté à 7 avec une solution de NaOH (1N), puis centrifugé (10000 tr, 20 minutes, 4°C) (Zainoldin & Baba, 2009). Le nouveau surnageant est récupéré et conservé à 4°C pour d'éventuelles analyses.

III.6.4.2. Dosage des composés phénoliques

L'évaluation des polyphénols est communément réalisée par une méthode colorimétrique utilisant un spectrophotomètre UV-VIS, en appliquant l'essai de Folin-Ciocalteu, également reconnu sous l'appellation distinguée d'essai de Folin-Denis. Cette réduction du réactif de Folin dans un milieu alcalin.

Le dosage des composés phénoliques a été effectué suivant la méthode décrite par Nickavar et al. (2008). Brièvement, 200 μL d'extrait sont mélangés à 1 mL du réactif Folin Ciocalteu (dilué au 1/10) et incubé à température ambiante. Après 10 min, 800 μL de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) (75 g/L) sont ajoutés. La solution finale est bien mélangée et gardée à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante. La réaction est basée sur la réduction du mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$) du réactif de Folin-Ciocalteu en présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin (Vermerris, 2008), lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) mélange prend une coloration bleu violacée. L'absorbance est lue à 765 nm et la teneur en composés phénoliques est exprimée en milligramme Equivalent Acide Gallique par 100 g de Matière Sèche (mg EAG/100 g MS) on se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (Annexe I).

III.6.4.3. Dosage des flavonoïdes

La quantité de flavonoïdes contenue dans les extraits est déterminée selon la méthode colorimétrique de Quettier-Deleu et al. (2000). Cette méthode est basée sur la capacité des flavonoïdes à se complexer avec le chlorure d'aluminium. Il résulte de cette réaction une coloration jaunâtre avec un maximum d'absorption à 420 nm (Ydjedd et al., 2017).

La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode basée sur la formation d'un complexe très stable, entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Lagnika, 2005). Le dosage des flavonoïdes a été effectué selon la méthode utilisée par Djeridane et al. (2006). 1 mL d'extrait est mélangé avec 1mL de chlorure d'aluminium (2 %). Après 15 min, l'absorbance est mesurée à 420 nm et les résultats sont exprimés en milligramme Equivalent Quercitain par 100 g de Matière Sèche (mg EQ/100g MS) on se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec la Quercitain (Annexe I).

III.6.4.4. Dosage des flavonols

Selon Kumaran & Karunakaran (2007), Cette méthode est basée sur la capacité des flavonols à se complexer avec le chlorure d'aluminium AlCl_3 . Il résulte de cette réaction une coloration jaunâtre avec un maximum d'absorption à 430 nm.

La teneur en flavonols est déterminée selon la méthode de Djeridane et al. (2006). A 500 μL d'extrait sont ajoutés 500 μL d'eau distillée, 500 μL de chlorure d'aluminium (2%) et 500 μL d'acétate de sodium (50 g/L). Après 30 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 430 nm. Les concentrations en flavonols ont été exprimées en milligramme Equivalent

Quercétine par 100g de Matière Sèche (mg EQ/100g MS) et déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage préparé avec la Quercétine (Annexe I).

III.6.4.5. Extraction et dosage des caroténoïdes et de la chlorophylle

A 1 g de poudre des feuilles de fenouil sont ajoutés 10 mL d'acétone. Le mélange est agité pendant 30 min, puis centrifugé pendant 15 min à 3000 rpm. La lecture de l'absorbance du surnageant est effectuée à trois longueur d'ondes : 470 nm, 645 nm et 662 nm. Les concentrations de l'extrait en chlorophylle a (Chl_a), en chlorophylle b (Chl_b) et en caroténoïdes (C_{car}), sont calculées par les formules suivantes :

$$Chl_a (\mu g/mL) = 11,24 \cdot A_{662} - 2,04 A_{645}$$

$$Chl_b (\mu g/mL) = 20,13 \cdot A_{645} - 4,19 \cdot A_{662}$$

$$C_{car} (\mu g/mL) = (1000 \cdot A_{470} - 1,90 \cdot Chl_a - 63,14 \cdot Chl_b) / 214$$

III.6.5. Evaluation du pouvoir antioxydant

III.6.4.1. Inhibition du radical DPPH°

Le pouvoir anti-radicalaire ou l'effet « scavenger » sur le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) est une méthode qui est initialement utilisée pour déterminer les donateurs de protons dans les composées phénoliques. La molécule DPPH• est un radical stable grâce à la délocalisation de son électron célibataire autour de la molécule empêchant ainsi sa polymérisation, ce qui est le cas de la plupart des radicaux. La délocalisation de l'électron est responsable d'un développement d'une couleur violet foncé.

La présence d'un antioxydant dans le milieu engendre la libération d'un proton réduisant ainsi le radical DPPH• suite à cette réaction, la couleur violette se dissipe laissant apparaître une couleur jaune pâle (Figure 12). Ce passage de la première forme à la deuxième est accompagné d'une diminution de l'absorbance qui peut exprimer le pourcentage de réduction de DPPH. Le suivi de la délocalisation est réalisé par spectromètre UV à 517 nm (Brand-Williams et al., 1995).

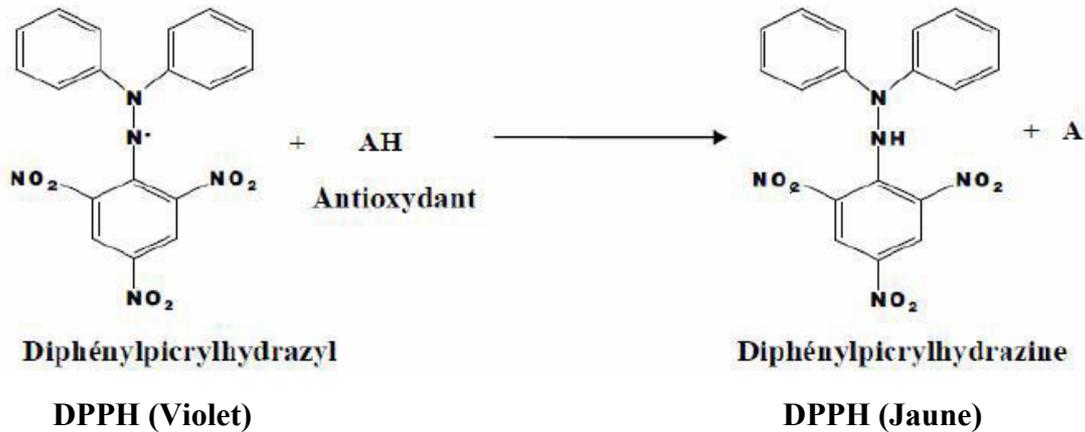


Figure 11 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Endo et al., 2006).

L'activité anti radicalaire des extraits est déterminée par une méthode basée sur la réduction du radical diphényl picryl-hydrazyl (DPPH[•]), par don d'atomes d'hydrogènes ou d'électrons (Molyneux, 2004a). Le protocole utilisé dans cette méthode est celui de Milardović et al. (2006). Il consiste à mélanger 2,9 mL de la solution DPPH[•] (6×10^{-5}) avec 100 μ L d'extrait ; la mesure de la réaction de réduction de la solution du DPPH[•] a été faite à 515 nm après 30 min d'incubation. Les pourcentages d'inhibition du radical de DPPH[•] sont calculés selon la formule ci-dessous :

$$\text{Activité anti radicalaire (\%)} = [(\text{Abs}_c - \text{Abs}_{\text{Ech}} / \text{Abs}_c)] \cdot 100$$

Où :

Abs_c : Absorbance du contrôle à 515 nm ;

Abs_{Ech} : Absorbance de l'échantillon à 515 nm.

Les résultats obtenus sont exprimés en milligramme Equivalent Trolox par 100 g de Matière Sèche (mg ET/100 g MS)

III.6.4.2. Activité antioxydante totale

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium repose sur la réduction du molybdate sous la forme Mo⁶⁺ vers la forme Mo⁵⁺ par des substances organiques antioxydantes. En milieu acide, il y a formation d'un complexe phosphate-Mo⁵⁺ qui se traduit par une coloration verte dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants (Bougatef et al., 2009).

L'évaluation de l'activité antioxydante totale se fait par la mesure de la coloration du complexe molybdène en présence d'antioxydant. A la différence des autres tests, ce test

permet non seulement de quantifier l'apport de l'activité antioxydante des polyphénols mais aussi d'autres composés antioxydants tels que les vitamines (C, E...). L'estimation de l'activité antioxydante avec le réactif de phosphomolybdate a été réalisée en utilisant la méthode de Prieto et al. (1999). Elle consiste à ajouter 1 mL du réactif de phosphomolybdate (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de Molybdate d'ammonium) à 100 µL d'extrait. Après 90 min d'incubation dans le bain marie à 95°C, mesurer l'absorbance à 595 nm. L'activité oxydante totale est exprimée en milligramme Equivalent Acide Ascorbique par 100 g de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS) avec la courbe d'étalonnage établi avec la vitamine C comme standard (Annexe I).

III.6.4.3. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est estimé par la méthode de Yildirim et al. (2001). Le test du pouvoir réducteur repose sur la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) du chlorure ferrique fer ferreux (Fe^{2+}) en présence d'un antioxydant; la réaction se traduit par une coloration verte dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants (Yildirim et al., 2001).

Le protocole consiste à mélanger 1 mL d'extrait avec 2,5 mL du tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 mL de ferricyanure de potassium (1%). Le mélange est incubé à 50°C pendant 20 min ; 2,5 mL d'acide trichloracétique (10%) sont additionnés au mélange avant d'être centrifuger à 3000 g pendant 10 min. 2,5 mL de surnageant sont mélangés dans un tube à essai, avec 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de chlorure ferrique (0,1%) puis mesuré l'absorbance à 700 nm après 10 min. Le pouvoir réducteur est exprimé en milligramme Equivalent Acide Ascorbique par 100 g de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS) avec la courbe d'étalonnage établi avec la vitamine C comme standard (Annexe I).

IV. Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1. Evaluation sensorielle

La Figure 12 montre que l'ensemble des fromages élaborés présentes des caractéristiques très proches comparativement au fromage témoin (A). Les fromages préparés présentent une couleur verte claire, une odeur moyenne, un goût salé moyen et un goût acide faible. En outre, les fromages étudiés sont caractérisés par un arrière-goût moyen, une texture lisse, une consistance moyennement molle, une astringence faible et une tartinabilité facile.

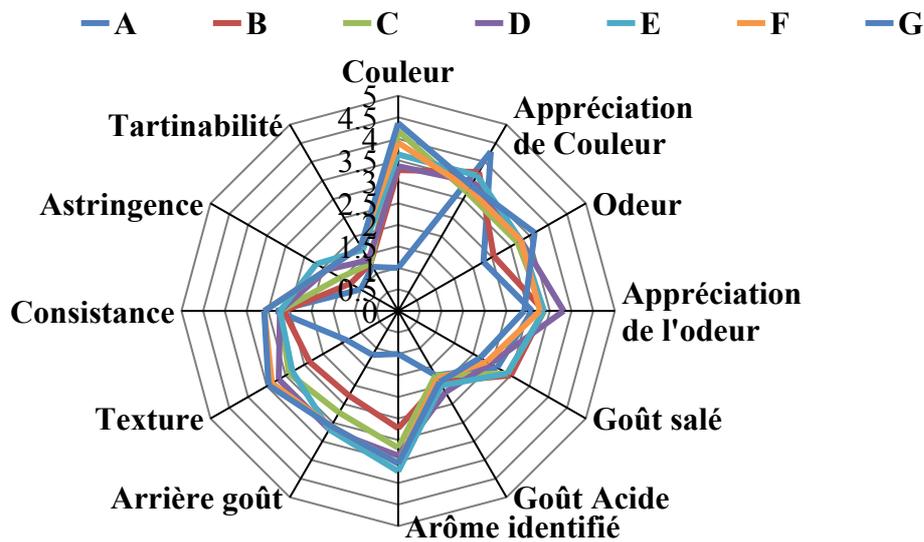


Figure 12: Caractérisation des fromages élaborés.

A: Fromage Témoin; **B:** Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles; **C:** Fromage enrichi avec 1 g de feuilles; **D:** Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles et 0,5 g d'ail; **E:** Fromage enrichi avec 0,5 g de feuilles et 0,75 g d'ail; **F:** Fromage enrichi avec 1 g de feuilles et 0,5 g d'ail et **G:** Fromage enrichi avec 1 g de feuilles et 0,75 g d'ail.

Afin de sélectionner les fromages les plus préférés par les experts , une analyse des composantes principale (ACP) a été réalisée. Les résultats obtenus montrent que les fromages élaborés sont appréciés avec un taux de 40 à 60% (Tableau XVI). Les fromages les plus préférés sont les fromages additionnés de 1 g de feuilles et 0,5 g (F) et 0,75 g d'ail (G) avec un taux de 56%, suivi du fromage enrichi seulement de 1 g de Feuilles (B) et le fromage témoin (A) avec un taux de 44%.

Fromage	Taux de préférences (%)
A	44
B	44

Tableau XV : préférence des élaborés	C	22	Pourcentage de différents fromages
	D	22	
	E	33	
	F	56	
	G	56	

A: Fromage Témoin; B: Fromage avec 0,5 g de feuilles; C: Fromage avec 1 g de feuilles; D: Fromage avec 0,5 g de feuilles et 0,5 g d'ail; E: Fromage avec 0,5 g de feuilles et 0,75 g d'ail; F: Fromage avec 1 g de feuilles et 0,5 g d'ail et G: Fromage avec 1 g de feuilles et 0,75 g d'ail.

IV.2. Paramètres physico-chimiques des feuilles de fenouil

IV.2.1. Humidité

L'eau est l'un des constituants essentiels de la plante et sa teneur est un paramètre fondamental pour raisons fondamentales dans la technologie alimentaire, commerciale et réglementaire (Multon, 1991). Les résultats des analyses physico-chimiques des feuilles de fenouil sont résumés dans le Tableau XVII.

Tableau XVI: Résultats des analyses physico-chimiques des feuilles du fenouil.

Paramètre	Résultat
Humidité (%)	42,93 ± 0,15
Matière sèche (%)	57,07 ± 0,15
pH	6,44 ± 0,05
Acidité (%)	0,35 ± 0,03
Cendres (%)	3,35 ± 0,21

Le Tableau XVII montre que la teneur en eau des feuilles de fenouil étudiée est de l'ordre de 42,93 ± 0,15 %. Cette valeur est inférieure aux résultats trouvés par Barros et al. (2010) et Lazouni et al. (2006) qui sont respectivement de 76,5 % et 73,88 %. La variation de la teneur en eau est due aux différentes conditions environnementales telles que: la disponibilité de l'eau, la répartition géographique ainsi que l'exposition au soleil et le vent qui

peuvent contribuer au dessèchement de la plante (Ruiz-Rodríguez et al., 2011). Selon Athamena (2009), les facteurs qui peuvent influencer la teneur en eau sont: l'âge de la plante, la période du cycle végétatif, ou encore des facteurs génétiques.

IV.2.2. Matière sèche

Le taux matière sèche enregistré dans les feuilles est de l'ordre de $57,07 \pm 0,15$ % (Tableau XVII) est très proche à celle notée par Bukhari et al. (2014) avec un pourcentage de 61%.

IV.2.3. pH

Le pH des feuilles du fenouil est de l'ordre de $6,44 \pm 0,05$ (Tableau XVII), ce qui présente une proximité avec les résultats obtenus par Tabak et al. (2022), avec un pH de $6,07 \pm 0,005$, ainsi que ceux de Kandil et al. (2002), qui ont relevé un pH de 7,8. La valeur noté par Chaudhary et al. (2018) indique également un pH similaire de 6,33.

Selon Messaid (2008), les différences constatées sont dues à de nombreux facteurs dont le climat et le degré de maturation. Ainsi, cette différence peut être due non seulement à la diversité des variétés, mais également aux conditions de croissance (Grechkin et al., 1995).

IV.2.4. Acidité

La valeur de l'acidité titrable des feuilles du fenouil étudié est de l'ordre de $0,35 \pm 0,03$ %, qui est légèrement supérieure à celle rapportée par Tabak et al. (2022) avec un taux de $0,115 \pm 0,1345$ %. La différence significative d'acidité peut être due aux conditions climatiques et au processus de maturation des plantes (Messaid, 2008).

IV.2.5. Cendres

La détermination de la teneur en minéraux nous renseigne sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser. En effet, la teneur en cendres des aliments doit avoir un seuil à ne pas dépasser pour l'homme et l'animal.

La teneur en cendres représente la quantité totale de sels minéraux présents dans les feuilles du fenouil (Messaid, 2008). L'analyse a révélé une valeur de $3,35 \pm 0,21$ % (Tableau XVII), qui est similaire à celle rapportée par Barros et al. (2010) avec un taux de $3,43 \pm 0,04$ %. De plus, cette valeur est proche aux résultats notés par Boufares (2014) et Athamena (2009) avec des taux respectif de $2,39 \pm 0,02$ % et $3,65 \pm 0,26$ %. Cependant, Lazouni et al. (2006) et Ibrahim & El-Khateeb (2013) ont enregistré des valeurs plus élevées avec des taux

de 6 % et 8 %, respectivement. Par ailleurs, le taux de cendres enregistré dans les feuilles est inférieur à celui trouvé par Chaudhary et al. (2018) avec une valeur de $7,86 \pm 0,16$ %.

La variation de la teneur en cendres peut s'expliquer par l'origine géographique des échantillons, notamment les conditions climatiques et les caractéristiques des sols, l'âge de la plante, la période du cycle végétatif, ou encore à des facteurs génétiques.

IV.3. Screening phytochimique

Les résultats des tests phytochimiques sont résumés dans le Tableau XVIII. Ces tests indiquent la présence de quelques classes de composés bioactifs dans la poudre des feuilles du fenouil à savoir : tanins totaux, glucosides, anthocyanes, mucilages, terpénoïdes, iridoïdes, quinones libres, des composés réducteurs et amidon.

Tableau XVIII : Caractérisation phytochimiques des feuilles du fenouil
(*Foeniculum vulgare*).

Composés	Feuilles (<i>Foeniculum vulgare</i>)
Tanins Totaux	+
Anthocyanes	+
Glucosides	+
Mucilages	+
Irridoïdes	+
Terpénoïdes	+
Quinones libres	+
Composés réducteurs	+

(-) : Absence; (+): Présence

IV.4. Propriétés fonctionnelles

Les résultats obtenus pour les propriétés fonctionnelles de la poudre des feuilles du fenouil sont présentés dans le Tableau XIX. Les propriétés fonctionnelles de la poudre des feuilles du fenouil sont comparées aux propriétés des poudres des autres matrices alimentaires car aucun résultat n'a été rapporté sur les propriétés fonctionnelles de la poudre des feuilles du fenouil.

Tableau XVIII: Propriétés fonctionnelles de la poudre des feuilles.

Propriété	Moyenne ± écarttype (%)
CAE (%)	87,00 ± 11,27
CAH (%)	100,00 ± 0,58
RHL (%)	0,86 ± 0,11
CALE (%)	94,64 ± 6,389
CALPE (%)	91,34 ± 8,09
AM (%)	38,63 ± 0,46
SM (%)	72,14 ± 0,24
AE (%)	51,20 ± 8,59
SE (%)	25,85 ± 5,56
CG (mL/g)	3,00 ± 0,04
D (%)	64,00 ± 3,79

CAE: Capacité d’Absorption d’Eau; CAH: Capacité d’Absorption d’Huile; RHL: Rapport Hydrophile/Lipophile; CALE: Capacité d’Absorption du Lait Entier; CALPE: Capacité d’Absorption du Lait Partiellement Ecrémé; AM : Activité Moussante; SM: Stabilité Moussante; AE: Activité Emulsifiante; SE: stabilité de l’Emulsion; CG: Capacité de Gonflement ; D: Dispersibilité.

IV.4.1. Capacité d’absorption en eau (CAE)

La capacité d'absorption en eau (CAE) d'une poudre alimentaire peut significativement influencer les propriétés sensorielles des produits préparés. Une poudre ayant une forte capacité d'absorption en eau peut contribuer à améliorer la texture en rendant le produit plus moelleux, juteux ou crémeux, ce qui peut augmenter la perception sensorielle globale du produit. Par exemple, dans les produits de boulangerie comme le pain, les gâteaux ou les biscuits, une bonne capacité d'absorption en eau peut aider à obtenir une texture plus douce et une sensation en bouche plus agréable (Okpala et al., 2013).

La poudre de fenouil présente une CAE de $87,00 \pm 11,27\%$ (Tableau XIX), qui est inférieure à celle rapportée par Chaudhary et al. (2018) pour les graines de lin, qui était de $266,7 \pm 0,00 \%$. Une poudre alimentaire avec une CAE relativement élevée est considérée comme un ingrédient fonctionnel adapté aux produits nécessitant une viscosité optimale. Cela inclut notamment les soupes, les sauces, les produits laitiers comme les yaourts et les fromages, ainsi que les produits alimentaires prêts à consommer (Dan et al., 2017).

IV.4.2. Capacité d’absorption d’huile (CAH)

La CAH est la capacité de la poudre à absorber l'huile, ce qui est important car l'huile agit comme un arôme retenu et améliore la sensation dans la bouche. La poudre des feuilles du fenouil présente une CAH de $100,00 \pm 0,58 \%$ (Tableau XIX). Ce résultat est proche de celui rapporté par Shafi et al. (2016) pour la farine du blé avec un taux de 140 %. Cependant, ce résultat est supérieur à celui rapporté par Rani & Grewal (2014) sur six variétés de

lentilles d'Inde avec un pourcentage de 108 à 118 %. Selon Sangnark et al. (2004), les modifications des propriétés de rétention d'huile peuvent être attribuées à des changements dans la structure physique du produit. De plus, les méthodes de transformation des aliments ont un impact sur la configuration et l'hydrophobicité des protéines.

IV.4.3. Capacité d'absorption de lait entier et partiellement écrémé « CALE » et « CALPE »

Les résultats obtenus révèlent que la poudre des feuilles de fenouil présente des taux de CALE et de CALPE respectifs de $94,64 \pm 6,389$ % et $91,34 \pm 8,09$ % (Tableau XIX). Ces observations suggèrent que les feuilles du fenouil pourrait être avantageusement utilisée dans la préparation de produits instantanés tels que des boissons, des confitures, des desserts et des produits laitiers enrichis comme le fromage. Il est pertinent de noter qu'aucune étude n'a encore été entreprise pour déterminer les propriétés spécifiques de la poudre des feuilles de fenouil.

IV.4.4. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)

Le rapport hydrophile-lipophile (RHL) est un indice utilisé pour évaluer la préférence d'une farine ou d'une poudre vis-à-vis de l'eau et de l'huile. Il permet de comparer leur capacité respective à interagir avec ces deux substances et reflète leur comportement dans des mélanges ou des systèmes émulsionnés. Les données du tableau indiquent que la poudre de feuille de fenouil présente un RHL inférieur à 1, mesuré à 0,91, suggérant ainsi une affinité plus marquée pour l'huile que pour l'eau.

IV.4.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)

Une mousse est une structure où des bulles de gaz sont uniformément dispersées dans une phase continue composée à la fois d'eau et de matières grasses. Les protéines remplissent un rôle de stabilisation similaire dans les mousses que dans les émulsion (Farooq et al., 2011).

Les données présentées dans le tableau révèlent que l'AM et la SM de la poudre de fenouil sont respectivement de 38,63 % et 72,14 %. Ces valeurs sont proches à celles rapportées par Khan & Saini (2016) pour la poudre de grain de lin, qui étaient de 30,40 % pour l'AM et 56,05 % pour la SM. Lors du processus de moussage, les protéines migrent vers l'interface entre l'air et l'eau, se réorganisent et s'agrègent de manière analogue à ce qui se produit dans les émulsions. Elles forment ainsi un film interfacial autour des bulles d'air, capturant ainsi les bulles de gaz. Ce mécanisme de stabilisation empêche la mousse de

s'effondrer immédiatement après sa formation et, parfois, pendant son stockage (Khazaei et al., 2019).

IV.4.6. Activité émulsifiante (AE) et stabilité de l'émulsion (SE)

L'activité émulsifiante (AE) de la poudre des feuilles du fenouil est de $51,20 \pm 8,59$ % (Tableau XIX), qui est inférieur aux résultats rapportés par Chaudhary et al. (2013) avec un taux de $58,82 \pm 0,00$ %. De même, le pourcentage de stabilité de l'émulsion enregistré est de $25,85 \pm 5,56$ %. Ces différences peuvent être attribuées aux variations entre les échantillons analysés ainsi qu'aux techniques d'analyse spécifiques utilisées.

IV.4.7. Capacité de gonflement (CG)

La poudre des feuilles du fenouil présente une capacité de gonflement de $3,00 \pm 0,04$ mL/g (Tableau XIX). Cette valeur est comparable à celle trouvée par Chaudhary et al.(2013).

D'après (Chandra et al., 2014), la capacité de gonflement des farines est influencée par plusieurs facteurs, notamment la taille des particules, les variétés utilisées et les méthodes de traitement ou d'opérations unitaires employées. L'augmentation de la capacité de gonflement des différentes farines est attribuée à la libération des liaisons à l'intérieur des granules, induite par l'élévation de la température. Cela favorise l'absorption d'eau par les granules, ce qui entraîne leur gonflement. Ces conclusions sont cohérentes avec celles rapportées par Awuchi et al. (2019) et Benmeziane-Derradji et al. (2020).

IV.4.8. Dispersibilité

La dispersibilité d'une poudre alimentaire est directement liée à la finesse de ses particules (Kulkarni et al., 1991). Plus le pourcentage de dispersibilité est élevé, plus la poudre a la capacité de se dissoudre et de se réhydrater efficacement dans l'eau, formant ainsi une pâte fine et homogène (Abrogoua, 2016) .

Les résultats montrent que la dispersibilité de la poudre de fenouil est de $64,00 \pm 3,79$ %. Ce chiffre se rapproche de la norme établie pour les protéines solubles granulées (FIL 1985), fixée à 57%. Cependant, comparons à la norme FIL pour la poudre de lait, qui exige une dispersion minimale de 98,7%, la poudre des feuilles du fenouil présente une solubilité notablement inférieure. Ce résultat est inférieur aux valeurs obtenues par (Ghasemzadeh & Ghavidel, 2011a) dans leur étude sur des mélanges de farine de lentilles avec du blé et du riz, où les pourcentages de dispersibilité étaient respectivement de 72 % et 78 %.

IV.5. Qualité du lait

IV.5.1. Qualité physico-chimique

Les résultats des paramètres physico-chimiques déterminés sur le lait utilisé dans la formulation des fromages sont regroupés dans le Tableau XX.

Tableau XIX : Résultats des analyses physico-chimiques du lait.

Paramètre	Résultat	Normes
pH	6,7 ± 0,05	6,6-6,8*
Acidité (°D)	15,37 ± 0,55	12-15*
Matière grasse (%)	31 ± 0,10	28-40**
EST (%)	11,03 ± 1,45	11-12**

EST : Extrait sec total ;() : JORA (1998);(**)FIL*

Le lait répond aux informations spécifiées sur son emballage et satisfait pleinement les exigences normatives en matière de qualité physico-chimique, conformément à sa reformulation.

IV.5.2. Qualité microbiologique

Le contrôle microbiologique est un élément fondamental, voire impératif, pour évaluer la qualité microbiologique des produits alimentaires, assurant ainsi la sécurité des consommateurs.

D'après les résultats des analyses microbiologiques menées sur le lait utilisé dans la préparation des fromages (Tableau XXI), il a été constaté que le lait répond aux normes établies par le JORA (2017). En effet, aucun germe pathogène n'a été détecté. Ces résultats suggèrent une gestion efficace des pratiques d'hygiène au cours de la fabrication des fromages.

Tableau XX: Résultats des analyses microbiologiques du lait.

Germe recherché	Lait	Normes
Coliformes totaux	Abs	00 UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	Abs	00 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	00 UFC/g
<i>Salmonella</i>	Abs	Absence dans 25 g

IV.6. Qualités des fromage élaborés

Les fromages préférés élaborés (A « FT », C « FF », F « FFA1 » et G « FFA2 ») ont été ensuite soumis à une série d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles afin d'évaluer leurs qualités à l'état frais et après 6 jours de stockage à une température de 4°C.

IV.6.1. Qualité physico-chimique

IV.6.1.1. Humidité

L'humidité représente la proportion d'eau présente dans l'échantillon analysé. Cette mesure a une importance fondamentale dans l'évaluation des propriétés physico-chimiques de la substance étudiée, influençant ainsi divers aspects de sa composition et de sa qualité.

Les résultats obtenus pour l'humidité des fromages élaborés ont révélé pour le fromage témoin (FT) une valeur de $61,76 \pm 2,11$ % (Tableau XXII), qui est très proche de celle signalée par Urgu-Öztürk et al. (2021) pour des fromages frais, avec des taux d'humidité de 56 % et 57 %.

Tableau XXI : Résultats des analyses physico chimique des fromages élaborés.

0 Jour					
Paramètre/Echantillon	FT	FF	FFA1	FFA2	Normes
Humidité (%)	$61,76 \pm 2,11^a$	$55,60 \pm 0,26^b$	$52,63 \pm 1,33^c$	$55,94 \pm 0,03^b$	60-80
pH	$4,80 \pm 0,06^c$	$5,10 \pm 0,13^b$	$5,40 \pm 0,05^a$	$5,50 \pm 0,09^a$	5,1-5,5
Acidité (°D)	$69,00 \pm 1,73^c$	$72,83 \pm 0,76^b$	$78,03 \pm 0,25^a$	$80,00 \pm 1,00^a$	65-80
Matière grasse (%)	$7,50 \pm 0,10^a$	$7,50 \pm 0,30^a$	$5,33 \pm 1,15^b$	$5,00 \pm 1,00^b$	30-38
EST (%)	$32,58 \pm 0,01^a$	$32,16 \pm 0,01^a$	$25,69 \pm 0,01^c$	$26,89 \pm 0,01^b$	39 max
ESD (%)	$25,08 \pm 0,11^a$	$24,65 \pm 0,30^b$	$22,35 \pm 3,05^b$	$21,89 \pm 1,00^c$	20%-25%
Cendres (%)	$1,01 \pm 0,70^c$	$1,59 \pm 0,46^b$	$1,97 \pm 0,11^b$	$2,13 \pm 0,60^a$	0,5-1,5
Taux de sel (%)	$0,50 \pm 0,01^a$	$0,50 \pm 0,02^a$	$0,50 \pm 0,01^a$	$0,50 \pm 0,01^a$	0,3-0,5
6 Jours					
Paramètre/Echantillon	FT	FF	FFA1	FFA2	Normes
Humidité (%)	$61,61 \pm 1,69^a$	$55,68 \pm 0,61^b$	$55,90 \pm 0,72^b$	$54,69 \pm 0,65^b$	60-80
pH	$4,80 \pm 0,06^c$	$5,03 \pm 0,16^b$	$5,31 \pm 0,03^a$	$5,45 \pm 0,13^a$	5,1-5,5
Acidité (°D)	$70,67 \pm 0,58^c$	$76,50 \pm 1,50^b$	$79,17 \pm 1,04^a$	$80,50 \pm 0,50^a$	65-80
Matière grasse (%)	$7,45 \pm 0,05^a$	$7,47 \pm 0,31^a$	$5,03 \pm 1,33^b$	$4,73 \pm 0,87^b$	30-38
EST (%)	$32,45 \pm 0,07^a$	$32,11 \pm 0,01^a$	$25,62 \pm 0,04^c$	$26,79 \pm 0,01^b$	39 max
ESD (%)	$24,98 \pm 0,03^a$	$24,65 \pm 0,30^a$	$22,53 \pm 2,94^b$	$22,06 \pm 0,87^c$	20%-25%
Cendres (%)	$1,01 \pm 0,70^c$	$1,59 \pm 0,46^b$	$1,97 \pm 0,11^b$	$2,13 \pm 0,60^a$	0,5-1,5
Taux de sel (%)	-	-	-	-	0,3-0,5

FT: Fromage Témoin ; *FF*: Fromage enrichi aux feuilles; *FFA1*: Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail; *FFA2*: Fromage enrichi aux feuilles et 0,75 g d'ail.

En outre, pour les fromages enrichis les taux d'humidités notés sont proches à ceux rapportés par Pluta-Kubica et al. (2022a) et Setyawardani et al. (2023) dans les fromages enrichis aux feuilles d'ail et aux herbes de bidara et aux extraits de moringa avec des taux respectifs de 51,5 % et 54,89%. Cependant, les résultats enregistrés pour les fromages enrichis sont supérieurs à ceux obtenus par Robalo et al. (2022) dans le fromage frais incorporé du thé vert et du lactosérum, avec des valeurs de 45,42 % pour le fromage enrichi et 45,82 % pour le fromage témoin. Ces résultats s'alignent ainsi aux standards établis par la FAO. L'écart d'humidité constaté entre le fromage témoin et les fromages enrichis pourrait être attribué à l'effet absorbant des feuilles du fenouil ajoutées, susceptibles de retenir l'humidité, entraînant ainsi une diminution de la teneur en eau dans le produit final.

➤ *Effet du stockage*

Après 6 jours de stockage, aucune modification du taux d'humidité n'a été noté dans le FT (61,61 %) (Tableau XXII), qui maintient la valeur la plus élevée parmi les échantillons. De même pour les fromages enrichis (FF, FFA1, FFA2), une stabilité a été enregistrée dans le taux d'humidité après stockage. Ces résultats sont supérieurs à ceux trouvés par Semeniuc et al. (2023a) après stockage d'un fromage frais enrichi aux feuilles d'ail sauvage, avec des valeurs de 48,5 % pour l'échantillon enrichi et de 57,4 % pour le fromage témoin. En outre, Robalo et al. (2022) ont noté également des résultats supérieurs dans le fromage frais incorporé du thé vert et du lactosérum.

IV.6.1.2. pH

L'évolution du pH est caractérisée par la production d'acide lactique, une fonction fondamentale des bactéries lactiques en technologie laitière. Cet acide organique contribue à la concentration et à la conservation de la matière sèche du lait en agissant à la fois comme coagulant et agent antimicrobien.

Nous observons une différence significative ($p < 0,05$) de pH entre les fromages analysés, le pH des fromages enrichis est supérieur à celui noté dans le fromage témoin ($4,80 \pm 0,06$) (Tableau XXII). Cette différence peut vraisemblablement être attribuée à l'incorporation des feuilles de fenouil, qui présentent un pH de 6,44. Cette constatation est cohérente avec les résultats obtenus par Ali et al. (2021), qui ont rapporté un pH compris entre 4,50 et 4,65 pour des fromages frais. En outre, les valeurs de pH enregistrées dans les fromages enrichis sont en accord avec les résultats notés par Gençcelep (2018) pour des fromages enrichis aux différentes herbes (*Allium sp.*, *Ferula sp.* et *Anthriscus sp.*) avec une valeur de $5,16 \pm 0,05$. Cependant, ces résultats sont supérieurs à ceux relevés par Pluta-Kubica et al.

(2022a) dans leur étude sur des fromages frais enrichis aux feuilles d'ail sauvage avec une valeur de 4,6. En revanche, ces valeurs sont également inférieures à celles trouvées par (Ratiba et al., 2006) pour le fromage enrichi à la poudre de girofle avec une valeur de 6,4.

➤ *Effet du stockage*

Après la période de stockage, le pH du fromage témoin (FT) demeure constant à 4,80 (Tableau XXII), qui est proche à celle rapportée par Pluta-Kubica et al. (2022a) avec un pH de 4,6. En revanche, cette valeur est inférieure à celle observée par Guinee & Fox (2017) avec une valeur de 5,75. Par ailleurs, il se rapproche étroitement du pH noté par Semeniuc et al. (2023) pour leur fromage gouda enrichi de poudre de fleur de lavande, évalué à 4,65 durant la période de stockage. Inversement, le pH du fromage enrichi en feuilles de fenouil (FF) connaît une légère diminution, passant de $5,10 \pm 0,13$ à $5,03 \pm 0,16$, une valeur supérieure à celle notée par Guinee & Fox (2017) avec un pH de 5,75.

Par ailleurs, les échantillons enrichis aux feuilles du fenouil et à l'ail (FFA1 et FFA2) le stockage pendant 6 jours n'a aucun effet significatif sur le pH. Ces résultats sont proches à ceux obtenus par Semeniuc et al. (2023a), qui ont observé des pH variant de 5,22 à 5,32 des fromages enrichis aux herbes otlu. En outre, ces résultats se rapproche aussi de ceux rapporté par Ratiba et al. (2006) lors du stockage d'un fromage supplémenté de la poudre de girofle avec une valeur de 5. Par contre, nos résultats sont supérieurs à ceux de Pluta-Kubica et al. (2022a) sur le fromage enrichi aux feuilles d'ail ont rapporté un pH de 4,4 après entreposage, tandis que Semeniuc et al. (2023a) ont enregistré un pH de 4,99 pour leur fromage enrichi à la poudre de lavande.

De même, Les résultats obtenus sont comparables à ceux rapportés par Semeniuc et al. (2023a), qui ont observé des pH variant de 5,22 à 5,32 pour le fromage enrichi aux herbes otlu.

IV.6.1.3. Acidité titrable

L'acidité titrable constitue un indicateur significatif de la proportion d'acide lactique présente au sein du fromage. Conformément aux préconisations émanant de la Fédération Internationale Laitière (FIL), il est suggéré que ladite proportion en acide lactique soit maintenue à un seuil de 0,7 %.

Les taux d'acidité titrable mesurés pour les fromages témoins (FT) ainsi que pour les fromages enrichis (FF, FFA1 et FFA2) sont respectivement de 69°D, 72,83°D, 78,03°D et 80°D (Tableau XXII). Ces résultats sont cohérents avec les recherches antérieures de

Molyneux (2004a) et Gençcelep (2018) qui ont trouvé des taux d'acidité du fromage frais 70 % et 80 % et de 77 °D et 86 °D, respectivement. En outre, ces valeurs dépassent celles trouvées par Ratiba et al. (2006) dans un fromage frais enrichi de girofle, avec un taux d'acidité de 0,22 %.

La différence notable d'acidité titrable entre les différents échantillons étudiés peut être attribuée à l'incorporation des feuilles du fenouil dans les échantillons (FF, FFA1, FFA2) ainsi qu'à l'ajout à la fois de feuilles de fenouil et d'ail pour les fromages (FFA1 et FFA2). Cette variation dans l'acidité pourrait également être influencée par l'activité des bactéries lactiques. Toutefois, ces observations demeurent en accord avec les recommandations émises par la FAO en 2012, lesquelles énoncent que l'acidité Dornic d'un fromage frais doit osciller entre 60 et 80°D.

➤ *Effet du stockage*

Le Tableau XXI montre une légère augmentation de l'acidité pour tous les fromages formulés après stockage réfrigéré. Le fromage témoin présente une acidité modérée de 70,60 °D, tandis que les trois fromages frais enrichis (FF, FFA1 et FFA2) affichent des valeurs respectives de 76,50 °D, 79,17°D et 80,50°D. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Setyawandani et al. (2023) dans le fromage otlu avec un taux oscillant entre 76 et 78 °D. Cependant, ces valeurs sont supérieures à celles trouvées par Tarakci et al. (2011), qui ont enregistré une valeur de 0,31% pour le fromage enrichi aux herbes et à l'ail. Toutefois, ces valeurs demeurent inférieures à celles rapportées par Semeniuc et al. (2023a), qui ont mesuré une acidité de 85,2 °D pour le fromage témoin et de 83,8°D pour le fromage enrichi à la poudre de lavande au cours du stockage.

Après conservation, les valeurs d'acidité Dornic observées pour le fromage témoin et les fromages enrichis respectent les normes définies par la réglementation algérienne (FAO, 2012), qui prévoit des valeurs acceptables comprises entre 65°D et 80°D pour les fromages frais.

Les variations de l'acidité au cours du stockage s'expliquent par la fermentation lactique assurée par les bactéries lactiques présentes dans le fromage. En effet, cette variation est le résultat de l'influence de divers facteurs liés à la concentration de la plante elle-même, à la nature de la plante (espèce), en plus de l'influence de la charge microbienne initiale du lait et les conditions d'hygiène, de manipulation et de conservation (Mahaut et al., 2000). Selon Jeantet et al. (2008), l'augmentation de l'acidité est principalement due à l'addition de du jus de citron dans le fromage.

IV.6.1.4. Matière grasse

La matière grasse dans le fromage intervient dans la qualité organoleptique, contribue au développement d'arômes et la saveur du fait qu'elle est une source de composés aromatiques liposolubles (Gelais et al., 2002).

Les résultats de l'analyse de la teneur en matière grasse des fromages témoins (FT et FF) se situent à 24,7 %, tandis que les fromages enrichis (FFA1 et FFA2) affichent une teneur légèrement supérieure, évaluée à 26,33 % (Tableau XXII). Cette observation est en accord avec les résultats rapportés par Pluta-Kubica et al. (2022a), qui ont trouvé respectivement 24,80 % pour le fromage témoin et 26,4 % pour le fromage enrichi aux feuilles d'ail sauvage. En revanche, Gençlelep (2018) ont enregistré une teneur en matière grasse plus basse que nos résultats, à savoir $20,00 \pm 0,26$ % pour des fromages frais. De plus, les résultats obtenus par Darwish et al. (2020) pour le fromage enrichi aux graines de dattes, avec une valeur de 8 %, sont également inférieurs à ceux relevés dans notre étude. Enfin, nos résultats sont également inférieurs à ceux trouvés par Ratiba et al. (2006) dans un fromage incorporé de poudre de girofle, avec une teneur de 46,04 %.

Les valeurs observées sont également inférieures à celles rapportées par Luquet (1990) qui indiquent une teneur en matière grasse inférieure ou égale à 20 g pour 100 g de fromage frais après égouttage. Il convient de souligner que le processus de fabrication, notamment l'égouttage et la migration de la matière grasse vers le lactosérum, peut entraîner une diminution de la quantité de matière grasse dans le fromage, pouvant aller de 4 à 20 % selon les observations de Vignola (2002). De plus, la matière grasse intervient dans la qualité organoleptique, contribue au développement d'arômes et la saveur du fait qu'elle est une source de composés aromatiques liposolubles (Lapointe-Vignola, 2002d).

Les fromages frais nature non sucrés, possédant une teneur en lipides inférieure ou égale 3,8 g/100 g. Ce seuil de teneur en lipides équivaut au taux de MG du lait entier auquel est appliqué un facteur de concentration dû l'égouttage lié à la technique de fabrication des fromages frais (Ledoux et al., 2013).

➤ Effet du stockage

Une stabilité des teneurs en matières grasses des différents échantillons de fromages évalués est comprise entre 24,7 et 26,33 % après conservation. Ces résultats montrent une proximité avec les résultats rapportés par Tarakci et al. (2011) qui ont observé une valeur de 24,81% pour le fromage enrichi aux herbes et à l'ail. En revanche, ses résultats sont inférieurs à ceux notés par Semeniuc et al. (2023a) dans le fromage enrichi avec la poudre de lavande

(29,25 %). Par ailleurs, Setyawardani et al. (2023) ont noté une teneur en matière grasse de 28,25 % pour le fromage témoin et de 19 % pour le fromage enrichi aux herbes otlu. En outre, nos résultats montrent une teneur en matières grasses sont proches à celle trouvée par Darwish et al. (2020) dans le fromage enrichi avec des graines de datte, avec un taux de 11,61%. Cependant, ils sont inférieurs à ceux trouvés par (Ratiba et al., 2006) dans un fromage enrichi de poudre de girofle, avec une valeur de 47,17%.

D'après Vignola (2002), cette différence est probablement dû à une absence d'activité lipolytique. Les bactéries lactiques sont considérées comme faiblement lipolytiques par comparaison avec d'autres espèces bactériennes telle que les *Pseudomonas acinetobacter* ou *flavobacterium*, cependant leurs présences dans le fromage à des concentration élevées et pendant des périodes plus ou moins importantes peut les amener à libérer des quantités non négligeables d'acide gras libres (Karam et al., 2012).

IV.6.1.5. Extrait sec total

La matière sèche se réfère à la proportion en poids des constituants qui demeurent dans l'échantillon après un séchage complet. Cette mesure peut être présentée en pourcentage (%) ou en grammes par litre (g/L).

La teneur en extrait sec total des fromages témoins (FT et FF) ainsi que des fromages enrichis (FFA1 et FFA2) sont respectivement à 32,58 % - 32,16 % et 25,69 % - 26,89 % (Tableau XXII). Ces valeurs sont similaires à celles rapportées par Silva et al. (2015), qui ont également enregistré les teneurs en extrait sec de divers fromages de mozzarella, à savoir 34,74 % ± 0,12 %, 34,33 % ± 0,17 % et 36,18 % ± 0,17 %.

La concentration en extrait sec total est influencée par la proportion de matière sèche dans le lait ainsi que par le processus d'égouttage, où l'élimination du lactosérum entraîne une nette augmentation de la teneur en matière sèche du fromage (Fredot, 2005). La quantité de lactosérum retirée est déterminante pour la teneur en extrait sec total du fromage, comme le soulignent (Gelais et al., 2002).

➤ Effet du stockage

Le Tableau XXII montre que le stockage n'a aucun effet sur le taux d'extrait sec total pour tous les échantillons analysés, bien que le fromage témoin conserve toujours la valeur la plus élevée (32,58 ± 0,01%). L'EST notés pour l'ensemble des fromages élaborés varient entre 25,62 % et 32,45 %. Ces résultats sont significativement moindres que ceux rapportés

par Semeniuc et al. (2023a), qui ont observé des valeurs de 44,73 pour le fromage témoin et de 46,11 pour le fromage enrichi à la poudre de lavande. De même, nos résultats sont également inférieures à ceux rapportés par Tarakci et al. (2011), qui ont observé des taux de 48,47 % pour le fromage témoin et de 48,06 % pour le fromage enrichi aux herbes et à l'ail. La variation du taux d'extrait sec dans les fromages après stockage pourrait le résultat d'une combinaison complexe de processus enzymatiques, de modifications de la structure de la matrice alimentaire, d'interactions chimiques et de conditions de conservation spécifiques.

IV.6.1.6. Extrait sec dégraissé

L'extrait sec dégraissé fait référence à la partie solide restante d'un produit laitier après avoir retiré la matière grasse. Cette composante englobe principalement les protéines, les minéraux et les glucides présents dans le lait. Souvent utilisé comme indicateur de la proportion de solides non gras dans un produit laitier, il peut avoir un impact sur sa texture et ses caractéristiques sensorielles.

Les résultats des taux d'extrait sec digestible pour le fromage témoin ont montré une valeur de 25,08 % (Tableau XXII), qui est inférieure à celle trouvée par Gonçalves et al. (2017) pour le fromage buffo avec un taux de 29,08 %. Cette valeur se rapproche également à des résultats précédemment rapportés pour ce type de fromage, avec des pourcentages variants entre 25,54 % et 26,54 %. De plus, les fromages enrichis FF, FFA1 et FFA2 présentent respectivement des valeurs de 24,65 %, 22,35 % et 21,89 %.

➤ Effet du stockage

La période de stockage n'a aucun effet significatif ($p < 0,05$) sur le taux d'ESD. Les taux d'ESD enregistrés après 6 jours de stockages dans les fromages FT, FF, FFA1 et FFA2 sont respectivement 24,98 %, 24,65 %, 22,53 % et 22,06 %.

La matière sèche est constituée des fractions minérale et organique, il existe une relation proportionnelle entre la teneur en protéines et la matière sèche du fromage. Par conséquent, sa diminution peut être due à l'épuisement des éléments organiques dans le fromage (Amimour, 2019).

IV.6.1.7. Cendres

Les cendres, font référence aux résidus minéraux qui demeurent après la combustion complète d'un échantillon. Elles représentent les minéraux inorganiques présents dans les aliments, tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le phosphore, et sont souvent exprimées en pourcentage du poids sec de l'échantillon.

Nous observons que le taux de cendres le plus faible est noté dans le fromage témoin avec un taux de 1,01 % comparativement aux fromages enrichis avec des pourcentages oscillants entre 1,59 % et 2,13 %. Cette augmentation peut être attribuée à l'ajout des feuilles et de l'ail dans les préparations alimentaires. Par ailleurs, Urgan-Öztürk et al. (2021) ont également rapporté des taux de cendres de $2,72 \pm 0,00$ % et $2,87 \pm 0,13$ % pour le fromage enrichi aux feuilles de fenouil, tandis que les taux enregistrés dans les fromages enrichis sont inférieurs à ceux trouvés par Pluta-Kubica et al. (2022a), qui ont noté un taux de 2,57 % pour le fromage enrichi des feuilles d'ail sauvage. De plus, Setyawardani et al. (2023) ont enregistré un taux de cendres de $2,47 \pm 0,04$ % pour le fromage enrichi aux différentes herbes de bidara et aux extraits de moringa.

➤ *Effet du stockage*

Les résultats des taux de cendres après stockage restent constants, ne révélant aucun changement significatif à $p < 0,05$. Cette stabilité peut être attribuée à une conservation efficace des propriétés physico-chimiques des échantillons pendant la période de stockage, ce qui a préservé les niveaux de cendres inchangés. Ces valeurs sont plus élevées que celles d'El Galiou et al. (2015) durant leur étude sur 28 types de fromages frais qui ont rapportées des teneurs se variant entre 1,12 g/100 g et 1,75 g/100 g.

En outre, nos valeurs sont également inférieures à celles rapportées par Semeniuc et al. (2023) qui ont noté un taux de cendre de l'ordre de 4,28 % dans le fromage gouda enrichi en poudre de fleur de lavande au cours du stockage. De plus, ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par Darwish et al. (2020) dans leur étude sur le fromage enrichi en graines de datte, avec un pourcentage de 3,29 %.

La conservation des taux de cendres observée durant la période de stockage peut être expliquée par divers facteurs, notamment la composition chimique initiale du fromage, la modération de l'activité enzymatique, les conditions de stockage contrôlées, la protection contre l'oxydation, et une méthodologie analytique rigoureuse.

IV.6.1.8. Taux de sel

Nous avons constaté que la concentration en sel est de 0,5 % pour tous les fromages élaborés (Tableau XXII). Cette mesure est identique à celle relevée par Lucera et al. (2018) pour un fromage enrichi d'écorce de tomate et par Pluta-Kubica et al. (2022a) pour le fromage supplémenté des feuilles d'ail (0,4 %). De plus, ces valeurs sont inférieures à celles trouvées

par Ratiba et al. (2006) dans un fromage enrichi de poudre de girofle, avec une concentration de 2,85 %.

IV.6.2. Qualité microbiologique

Les résultats des analyses microbiologiques des fromages élaborés montrent l'absence de coliformes totaux, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* dans les divers échantillons de fromages analysés (Tableau XXIII). Ce constat témoigne du respect des normes d'hygiène rigoureuses tout au long des processus de formulation et d'enrichissement, notamment après incorporation des feuilles de *Foeniculum vulgare*. Ces résultats sont en conforme aux normes établies par le JORA (2017) et AFNOR (1982b).

Tableau XXII: Résultats des analyses microbiologiques des fromages.

Germes	0 jour				Normes
	FT	FF	FFA1	FFA2	
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	-
<i>Escherichia coli</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ⁴ à 10 ⁵ UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ³ à 10 ⁴ UFC/g
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence dans 25 g
Germes	6 jours				Normes
	FT	FF	FFA1	FFA2	
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	-
<i>Escherichia coli</i>	15.10 ²	5.10 ²	18.10 ²	10 ³	10 ⁴ à 10 ⁵ UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ³ à 10 ⁴ UFC/g
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence dans 25 g

FT : Fromage Témoin ; **FF:** Fromage enrichi aux feuilles; **FFA1:** Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail; **FFA2:** Fromage enrichi aux feuilles et 0,75 g d'ail.

Il convient de souligner le rôle crucial de la flore lactique dans le développement des caractéristiques des différents fromages. Son élimination entraîne une diminution de la saveur et de l'effet de bio-conservation. Sur le plan technologique, les bactéries lactiques revêtent un intérêt majeur en raison de leur capacité à produire de l'acide lactique par fermentation du lactose. De plus, certaines bactéries lactiques génèrent du dioxyde de carbone ainsi que divers composés qui contribuent à l'arôme des produits laitiers (Ross et al., 2002).

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur le fromage après 6 jours de stockage révèlent l'absence de coliformes totaux, de *Staphylococcus aureus* et de *Salmonella*. Cependant, la présence d'*Escherichia coli* est détectée dans tous les fromages mais à des seuils inférieurs aux normes ; cela pourrait être attribuer à des conditions environnementales propices à sa croissance pendant le stockage, comme des températures fluctuantes.

IV.6.3. Qualité sensorielle

IV.6.3.1. Caractérisation des produits

Les caractéristiques sensorielles des fromages élaborés sont illustrées dans la Figure 14. Le FT est de couleur blanche bien appréciée, d'une faible odeur bien appréciée avec un goût salé moyen et un goût acide faible. Aucun arôme et arrière goût identifié pour le fromage témoin, il présente également une texture très lisse, moyennement molle et une tartinabilité très facile avec l'absence d'astringence.

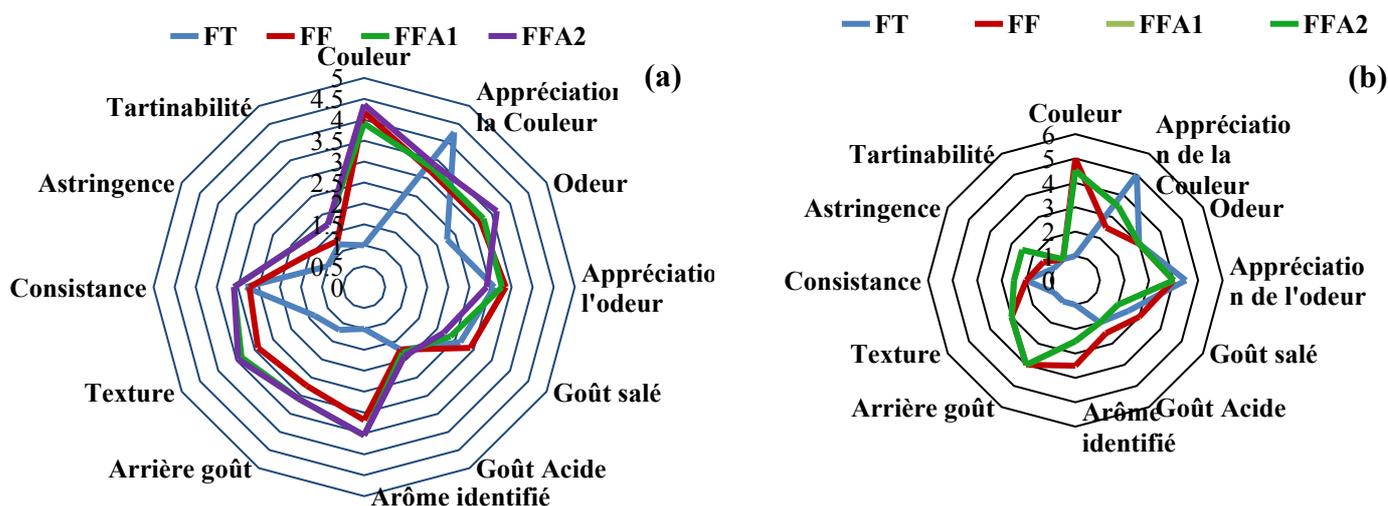


Figure 13 : Caractérisation des produits préférés.

FT: Fromage Témoin ; **FF**: Fromage enrichi aux feuilles; **FFA1**: Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail; **FFA2**: Fromage enrichi aux feuilles et 0,75 g d'ail.

(a) : 0 jour de stockage ; (b) : Après 6 jours de stockage.

Le fromage FF présente une couleur verte claire moyennement appréciée, une forte odeur bien appréciée avec un goût salé moyen et un goût acide faible. L'arôme des feuilles de fenouil est identifié dans le fromage enrichi aux feuilles avec un arrière goût moyen, une texture moyennement lisse, une consistance moyennement molle, une astringence faible et une tartinabilité très facile. De même, les fromages FFA1 et FFA2 présentent une couleur verte claire moyennement appréciée, une forte odeur (FFA1) et très forte (FFA2) bien appréciées avec un goût salé faible et un goût acide faible. L'arôme des feuilles de fenouil et d'ail sont identifiés dans le fromage enrichis aux feuilles et ail avec un arrière goût moyen, une texture moyennement lisse, une consistance moyennement molle, une astringence faible et une tartinabilité facile.

La figure 15 montre que les caractéristiques organoleptiques du fromage témoin (FT) sont presque les mêmes après 6 jours de stockage mais avec une très bonne appréciation de l'odeur et de la couleur et une consistance molle après stockage. Le Fromage enrichi aux feuilles (FF) présente une meilleure qualité organoleptique (couleur, appréciation de l'odeur et identification d'arôme ; tandis que les fromages enrichis au feuilles et l'ail (FFA1 et FFA2) présentent presque les mêmes caractéristiques organoleptiques avant et après stockage avec une couleur verte, une bonne appréciation de l'odeur, cependant nous avons constaté une appréciation d'un goût d'astringence avec un arrière goût fort après stockage.

IV.6.3.2. Paramètres motivant la préférence

Les différences entre le FT et les fromage enrichis (FF, FFA1, FFA2) sont très remarquables, les fromage enrichis présentent la meilleure odeur, couleur et texture. L'arôme est identifié dans les fromages enrichis comparativement aux autres caractéristiques (goût salé, goût acide, consistance, astringence) dont on a enregistré des appréciations proches entre les FT et les fromages enrichies (FF, FFA1, FFA2).

La Figure 16 montre que les paramètres ayant motivé la préférence des dégustateurs des fromages élaborés sont le goût avec le taux le plus élevé de 40%, la couleur et la consistance avec un taux de 20%, suivie de la texture et de l'odeur avec le plus faible pourcentage de 10%.

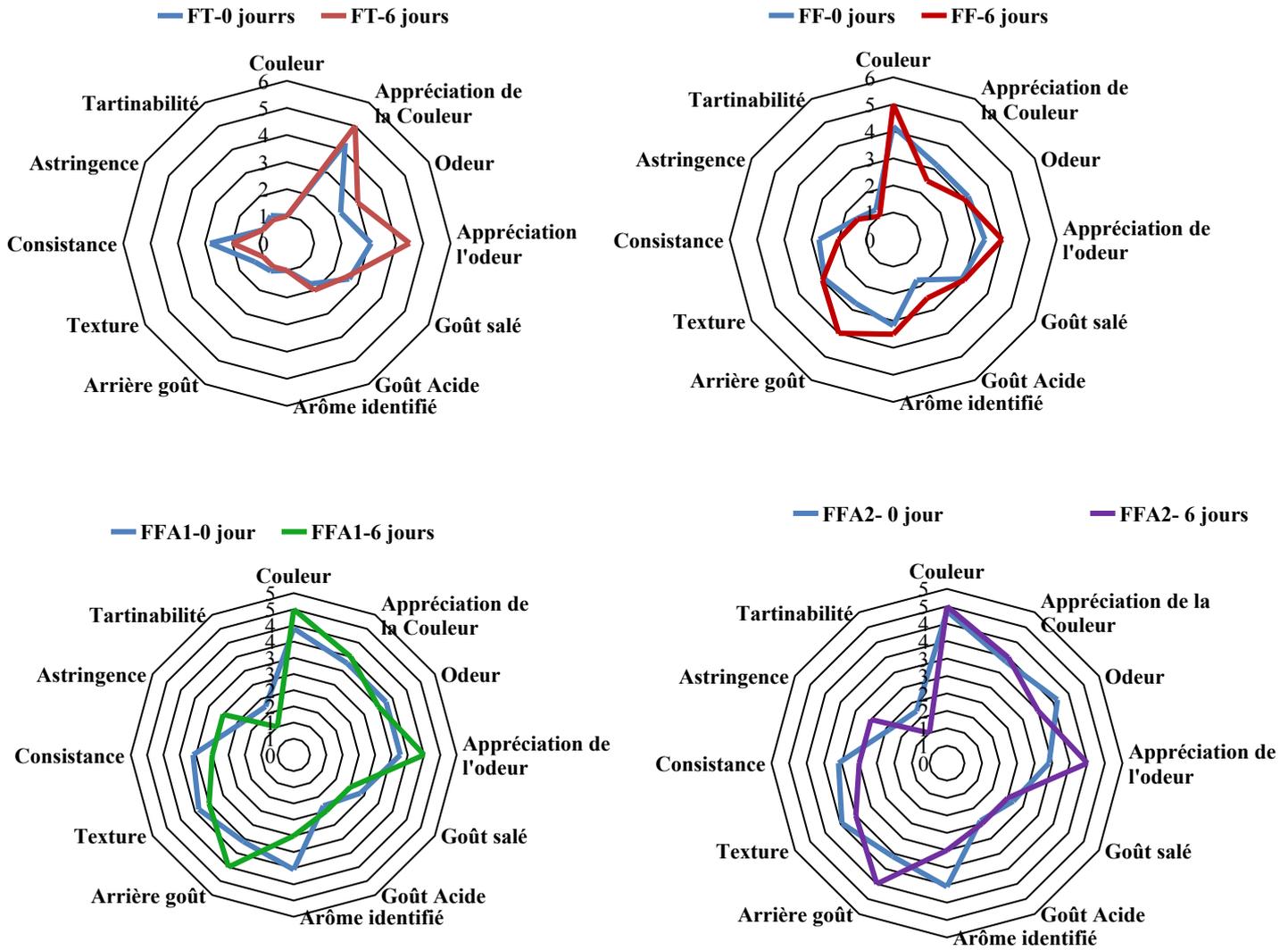


Figure 14: Caractérisation des fromages élaborés après stockage.

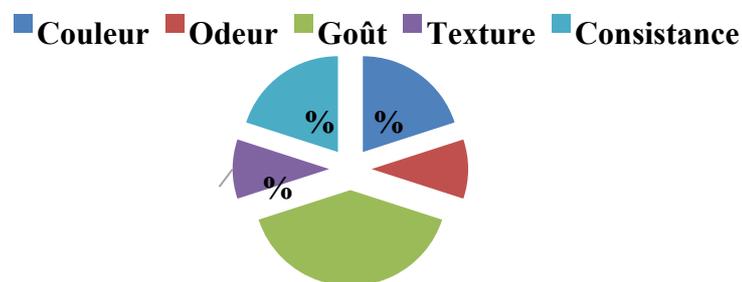


Figure 15 : Paramètres motivant la préférence des fromages élaborés

A l'issue de l'étude portant sur la fabrication et la conservation du fromage frais sur une période de six jours, les évaluations sensorielles et microbiologiques indiquent que le produit peut être conservé dans des conditions de sécurité optimales. Bien que *E. coli* a été détecté, leurs concentrations sont modérées et respectent les normes réglementaires en vigueur. Ces conclusions mettent en avant que le processus de production choisi ainsi que les pratiques de stockage adoptées assurent la qualité tant gustative que sanitaire du fromage pendant la période observée. De plus, elles attestent que la sécurité alimentaire du fromage est préservée tout au long des six jours de conservation.

IV.6.4. Antioxydant

Les résultats du dosage des antioxydants des feuilles du fenouil étudiées et des fromages élaborés sont regroupés dans Tableau XXIV.

Tableau XXIII: Teneurs en antioxydants des différents échantillons.

Echantillon	Polyphénols (mg EAG/100 g)	Flavonoïdes (mg EQ/100 g)	Flavonols (mg EQ/100 g)	Caroténoïdes (mg/100 g)	Chlorophylle a (mg/100 g)	Chlorophylle b (mg/100 g)
F	525,66 ± 12,91 ^a	314,66 ± 22,05 ^a	142,86 ± 6,74 ^a	107,66 ± 1,62 ^a	6,46 ± 0,02 ^a	6,46 ± 0,03 ^a
FF	73,10 ± 0,15 ^c	47,47 ± 1,53 ^c	29,99 ± 0,24 ^d	67,96 ± 0,10 ^d	2,30 ± 0,00 ^d	2,97 ± 0,00 ^c
FFA1	81,00 ± 0,08 ^b	53,43 ± 1,15 ^b	34,96 ± 0,14 ^{c,d}	74,03 ± 0,30 ^c	2,40 ± 0,00 ^c	3,04 ± 0,00 ^d
FFA2	83,81 ± 0,25 ^b	60,68 ± 0,36 ^b	39,18 ± 0,33 ^{b,c}	76,76 ± 0,19 ^b	2,43 ± 0,00 ^b	3,09 ± 0,00 ^b

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives à $p < 0,05$. F : Feuilles ; FF : Fromage enrichi aux feuilles ; FFA1 : Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail ; FFA2 : Fromage enrichie aux feuilles et 0,75 g d'ail.

IV.6.4.1. Polyphénols

La teneur en composés phénoliques dans les feuilles de fenouil est de 525 ± 12,91 mg EAG/g MS (Tableau XXIV). Cette valeur est inférieure à celle rapportée par Yoo et al. (2008), qui est de l'ordre de 700 mg EAG/g MS. En revanche, les valeurs de 73,10 ± 0,15, 81,00 ± 0,08 et 83,81 ± 0,25 mg EAG/g MS pour les fromages enrichis FF, FFA1 et FFA2 sont supérieures à celles trouvées par Lucera et al. (2018) pour leur fromage enrichi avec des écorces de tomate avec un taux de 0,72 mg GAE/g MS. Cependant, elles sont inférieures à celles rapportées par Cavalcante et al. (2019) et Frühbauerová et al. (2020) pour les fromages enrichis aux niébés et de poudre de peau de raisin, avec des valeurs de 188 mg GAE/100 g, et de 0,47 mg GAE/g, respectivement.

Ces résultats révèlent une disparité notable entre les extraits. En effet, la quantité de composés phénoliques dans les feuilles est supérieure à celle observée dans les fromages

enrichis. Cette différence pourrait être attribuée à la haute teneur en eau présente dans le fromage frais. En outre, Ribereau-Gayon (1968) a souligné que l'eau est une source de dégradation des polyphénols, favorisant leur altération. Par conséquent, la poudre végétale pourrait rencontrer divers problèmes en raison de la présence d'enzymes variées dans les cellules végétales, entraînant leur modification.

Selon Ritota & Manzi (2020), le fromage contient également une faible quantité de composés phénoliques, qui sont retenus en raison de leur interaction avec les protéines du lait. Nos résultats pour le fromage sont cohérents avec cette observation. L'augmentation de la concentration des composés phénoliques peut être expliquée par une libération graduelle de ces composés, qui sont associés aux protéines du lait. Les protéines du lactosérum ont la capacité de se lier à divers agents, qu'ils soient endogènes ou exogènes, tels que les polyphénols alimentaires, comme l'ont rapporté Xia et al. (2014a), Goli et al. (2005) et Naczka & Shahidi (2006). D'autres facteurs comme le choix du solvant d'extraction, la taille des particules et la durée d'extraction peuvent également influencer la teneur en polyphénols.

IV.6.4.2. Flavonoïdes

Les feuilles du fenouil présente une teneur en flavonoïdes de $314,66 \pm 22,05$ mg EQ/g MS (Tableau XXIV), une valeur proche de celles trouvée par Xia et al. (2014b) et Cai et al. (2004) avec un taux de 413 mg EQ/g MS.

En contraste, les concentrations en flavonoïdes dans les fromages enrichis aux feuilles du fenouil sont respectivement $47,47 \pm 1,53$ mg EQ/100 g d'Ech, $53,43 \pm 1,15$ mg EQ/100 g d'Ech et $60,68 \pm 0,36$ mg EQ/100 g d'Ech pour les fromages FF, FFA1 et FFA2. Ces valeurs sont proches celles signalées par Lucera et al. (2018) pour le fromage enrichi en écorce de tomate (0,47 mg EQ/g). Algarni (2016), a également observé des concentrations inférieures avec les fromages enrichis aux herbes telles que le thym, le cumin et le curcuma, enregistrant respectivement 16,59 mg EQ/g, 13,12 mg EQ/g et 11,57 mg EQ/g. En outre, les teneurs en flavonoïdes des fromages élaborés sont inférieures à celles rapportées par Cavalcante et al. (2019) pour leur fromage enrichi aux niébés (85,9 µg GA/g) et Darwish et al. (2020) dans le fromage enrichi de la farine des graines de dattes (33,4 %).

Les concentrations de polyphénols totaux et de flavonoïdes, que ce soit dans les feuilles du fenouil ou dans les fromage enrichis, sont relativement considérables et intéressante pour la santé du consommateur. Selon Xia et al. (2014a), les conditions géographiques et climatiques peuvent induire des variations significatives dans les

concentrations de ces composés bioactifs dans les plantes, ainsi que dans leur potentiel bioactif pour la santé humaine.

IV.6.4.3. Flavonols

La teneur en flavonols des feuilles du fenouil est de $142 \pm 6,74$ mg EQ/100 g MS (Tableau XXIV). Cette valeur est proche de celle enregistrée par Cai et al. (2004) avec une teneur de 155 mg EQ/g MS. Cependant, elle est inférieure à celle notée dans les écorces de légume avec une valeur de 3,36 mg/kg (Naeem, 2019). En outre, les taux de flavonols dans les fromages FF, FFA1 et FFA2 sont $29,99 \pm 0,24$ mg EQ/100 g d'Ech, $34,96 \pm 0,14$ mg EQ/100 g d'Ech et $39,18 \pm 0,33$ mg EQ/100 g d'Ech. Ces résultats montrent que les fromages enrichis aux feuilles et à l'ail possèdent les teneurs en flavonols les plus élevées comparativement au fromage enrichi uniquement aux feuilles. Cependant, aucun résultat n'a été rapporté sur la teneur en flavonols de fromage enrichi aux feuilles du fenouil ou avec autres matrices alimentaires.

IV.6.4.4. Caroténoïdes totaux

Les caroténoïdes sont parmi les groupes de pigments naturels les plus importants en raison de leur distribution répandue. Une augmentation de la consommation de ces composés bioactifs a été associée à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires et de cancers (Plaza et al., 2011).

La teneur en caroténoïdes enregistrée dans les feuilles du fenouil étudié est de $107,66 \pm 0,62$ mg/100 g MS (Tableau XXIV). Comparativement aux feuilles du fenouil, les teneurs en caroténoïdes des fromages enrichis sont respectivement de $67,96 \pm 0,10$ mg/100 g d'Ech, $74,03 \pm 0,30$ mg/100 g d'Ech et $76,76 \pm 0,19$ mg/100 g d'Ech. Ces valeurs sont inférieures au taux enregistré dans les feuilles. La teneur en caroténoïdes augmente au cours de la maturation des végétaux mais diminue durant la sénescence (Kopsell & Kopsell, 2006). Après la récolte, les tissus végétaux subissent une décoloration, suite à la dégradation de leurs pigments (chlorophylles et caroténoïdes), ce processus physiologique se produit lors de la perte de l'intégrité des membranes cellulaires (Ferrante & Maggiore, 2007).

IV.6.4.5. Chlorophylles

Selon Lanfer-Marquez et al. (2005), les chlorophylles ont un rôle antioxydant par leur capacité à donner un atome d'hydrogène. Le Tableau XXIV montre que les feuilles du fenouil ont des teneurs de $6,46 \pm 0,02$ mg/100 g d'Ech et $6,46 \pm 0,03$ mg/100 g d'Ech de

chlorophylles a et b, respectivement. Ces résultats sont supérieurs au résultat trouvé par Parmoon et al. (2018) qui est de l'ordre de $2,83 \pm 0,07 \mu\text{g}/100 \text{ g}$.

En outre, les fromages enrichis FF, FFA1, FFA2 ont les teneurs les plus faibles : de chlorophylle a ($2,30 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$; $2,40 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$ $2,43 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$, respectivement) et de chlorophylle b ($2,97 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$; $3,04 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$ et $3,09 \text{ mg}/100 \text{ g d'Ech}$, respectivement). Ces résultats sont supérieurs aux taux de chlorophylle b enregistrés par Algarni (2016) dans les fromages enrichis aux herbes de thym, de cumin et de Turmeric avec des taux respectifs de $105 \mu\text{g}/100\text{g}$, $85 \mu\text{g}/100\text{g}$ et $65 \mu\text{g}/100\text{g}$.

IV.6.5. Activité antioxydante

IV.6.5.1. Activité antiradicalaire DPPH

Ce test du pouvoir antiradicalaire est très utilisé pour évaluer l'activité antioxydante dans les systèmes biologiques (Molyneux, 2004a). Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) est un radical libre largement utilisé pour évaluer l'activité antioxydante. La méthode est basée sur la capacité des composés à agir en tant que piègeurs de radical en donnant un atome d'hydrogène (Conforti et al., 2006).

Tableau XXIV: Activités antioxydantes des différents échantillons.

Echantillon	DPPH (mg ET/100 g d'Ech)	AAT (mg EAA/100g d'Ech)	PR (mg EAA/100g d'Ech)
F	$1851,00 \pm 114,39^a$	$1414,98 \pm 30,06^a$	$551,50 \pm 30,33^a$
FF	$246,3 \pm 4,54^b$	$130,98 \pm 1,06^b$	$45,98 \pm 0,40^d$
FFA1	$232,2 \pm 3,12^d$	$113,57 \pm 2,12^c$	$46,23 \pm 0,47^c$
FFA2	$241,31 \pm 1,67^c$	$99,76 \pm 2,71^d$	$48,68 \pm 1,16^b$

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives à $p < 0,05$. F : Feuilles ; FF : Fromage enrichi aux feuilles ; FFA1 : Fromage enrichi aux feuilles et 0,5 g d'ail; FFA2: Fromage enrichi aux feuilles et 0,75 g d'ail.

Le Tableau XXV montre que l'extrait des feuilles du fenouil présente une capacité d'inhibition du radical libre DPPH, avec un taux de $1851,00 \pm 114,39 \text{ mg TE}/100 \text{ g MS}$. Ce résultat largement supérieur à celui rapporté par Murtaza (2021, qui est de l'ordre de $1842,2 \mu\text{g GAE}/\text{g}$. En revanche, la capacité antioxydante est moindre dans les fromages enrichis FF, FFA1 et FFA2, affichant respectivement des valeurs de $246,3 \pm 4,54 \text{ mg TE}/100 \text{ g d'Ech}$; $232,2 \pm 3,12 \text{ mg TE}/100 \text{ g d'Ech}$ et $241,31 \pm 1,67 \text{ mg TE}/100 \text{ g d'Ech}$. Ces résultats sont comparativement supérieurs à ceux trouvés par Darwish et al. (2020) dans le fromage enrichi aux graines de dattes. Cependant, ces taux sont inférieurs à ceux rapportés par Cavalcante et al. (2019) pour le fromage enrichi aux niébés ($497 \text{ mg TEAC}/100 \text{ g}$).

Les variations observées dans l'activité antiradicalaire des fromages enrichis sont probablement dues à des différences entre les variétés de plantes, aux solvants d'extraction utilisés, à la méthode de détermination appliquée, ainsi qu'à la structure spécifique des composés phénoliques présents dans les échantillons. De plus, ces différences peuvent également être influencées par des facteurs tels que l'année de récolte et la variabilité génétique des plantes (Fonseca et al., 2015). Des recherches antérieures ont également démontré que le stade de maturation des plantes joue un rôle crucial dans leur activité antioxydante, où une concentration accrue en antioxydants est associée à une réduction significative des radicaux DPPH (Hayder et al., 2004).

L'activité antioxydante élevée observée dans les fromages enrichis aux feuilles de fenouil pourrait être attribuée à la présence accrue de composés phytochimiques, principalement des polyphénols. Il existe en effet une corrélation bien établie entre la concentration de ces composés phénoliques et leur capacité antioxydante, ces derniers étant efficaces dans l'élimination des radicaux libres (Hashash et al., 2017). Selon Kandyliari et al. (2023), l'enrichissement des produits laitiers avec des extraits de plantes représente une voie prometteuse pour développer des produits alimentaires innovants riches en antioxydants et en polyphénols.

IV.6.5.2. Activité antioxydante totale

Selon Velioglu et al. (1998), l'activité antioxydante totale dépend des teneurs en antioxydants tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes et les vitamines. L'activité antioxydante totale de l'extrait de feuilles du fenouil atteint environ $1414,98 \pm 30,06$ mg EAA/100 g d'Ech (Tableau XXV). Cette valeur est significativement supérieure à celle rapportée par Fonseca et al. (2015). En revanche, les fromages enrichis aux feuilles du fenouil présentent des valeurs d'activité antioxydante comprises entre 99,76 mg EAA/100 g d'Ech et 130,98 mg EAA/100 g d'Ech. Ces résultats sont en accord à ceux enregistrés par Frühbauerová et al. (2020) pour le fromage enrichi de poudre de peau de raisin (127,10 mg ET/g MS). De plus, ils se rapprochent de ceux notés par Darwish et al. (2020) pour le fromage supplémenté de la farine de dattes. Cependant, ces valeurs sont toutefois inférieures à celles trouvées par Cavalcante et al. (2019) pour le fromage enrichi aux niébés, qui atteint environ 735,1 $\mu\text{mol TEAC}/100$ g. En revanche, elles surpassent celles rapportées par Papagianni et al. (2021) pour le fromage enrichi de thé de montagne, qui présente une valeur de 1,22 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$.

Cette activité antioxydante globale de l'extrait de fenouil peut être attribuée à la présence de composés phytochimiques dans l'extrait, qui contribuent de manière significative à cette activité antioxydante (Habellah et al., 2016). En outre, les feuilles du fenouil sont reconnues comme une source d'antioxydants tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, conférant ainsi à cet extrait une activité antioxydante globale importante.

IV.6.5.3. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur mesure la capacité qu'a un antioxydant présent dans un extrait à donner un électron qui peut servir comme indicateur du potentiel de l'activité antioxydante. Le pouvoir réducteur peut être évalué par plusieurs tests à savoir la réduction de chlorure ferrique et le test de réduction de molybdate (Sahreen et al., 2010).

Le tableau indique que le pouvoir réducteur de l'extrait méthanolique des feuilles du fenouil est d'environ $551,50 \pm 30,33$ mg EAA/100 g d'Ech (Tableau XXV). Cette valeur est supérieure de celle rapportée par Beyazen et al. (2017) qui est de l'ordre de $3,48 \pm 4,2$ mg GAE/g DM. En outre, le pouvoir réducteur des extraits des fromages enrichis varie entre 45,98 mg EAA/100 g d'Ech et 48,68 mg EAA/100 g d'Ech. Ces valeurs sont supérieures à celle trouvée par Lucera et al. (2018) avec une valeur de $2,58 \mu\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g MS}$ dans le fromage enrichi à l'écorce de tomate, tandis qu'elles sont inférieures à celle trouvée par Hala et al. (2010) dans le fromage enrichi au romarin.

D'après les travaux de Katalinic et al. (2013), le pouvoir réducteur de l'extrait des feuilles de *Vitis vinifera* présente une concentration de 63,6 à 183,5 mmol ET/L d'extrait qui sont nettement inférieurs aux résultats notés dans la présente étude. Ces auteurs ont noté que le test du pouvoir réducteur est un bon indicateur de la capacité antioxydante. Les études menées par Guillén & Manzanos (1996) et Tepe et al. (2005) indiquent que le solvant d'extraction a une influence sur l'activité antioxydante des extraits. D'après les résultats obtenus pour le pouvoir réducteur des extraits des fromages enrichis nous remarquons que le pouvoir réducteur le pouvoir réducteur des extraits est proportionnel à la concentration en composés phénoliques.

Conclusion

Les objectifs de la présente étude est la valorisation des feuilles de fenouil , les incorporer dans des produits alimentaire sont en premier lieu l'étude des propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et antioxydantes des feuilles du fenouil et en second lieu la conception d'un fromage frais enrichi aux feuilles du fenouil et l'évaluation de ses qualités (physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles) au cours du stockage. De plus une évaluation des teneurs en antioxydants (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, caroténoïdes et chlorophylle), et des propriétés antioxydantes des fromages élaborés a été entreprise.

Les résultats obtenus révèlent que les feuilles de fenouil sont caractérisées par leur propriétés physico-chimiques (pH, acidité, teneur en eau et en cendres). En outre, les analyses phytochimiques ont mis en évidence la présence substantielle de divers composés dans l'échantillon étudié (tanins totaux, d'anthocyanes, de glucosides, de mucilages, d'iridoïdes, de terpénoïdes, de quinones libres, ainsi que de composés réducteurs). Cette diversité de constituants chimiques confère à l'échantillon une richesse phytochimique significative, susceptible d'offrir des propriétés bénéfiques variées.

Par ailleurs, les résultats concernant les propriétés fonctionnelles révèlent que la poudre issue des feuilles du fenouil analysée démontre des capacités remarquables en termes d'absorption d'eau (CAE), d'absorption d'huile (CAH), d'absorption dans du lait entier (CALE) et dans du lait partiellement écrémé (CALPE), ainsi que des activités émulsifiantes (AE) et une stabilité des émulsions (SE). Ces caractéristiques significatives suscitent un intérêt manifeste pour leur incorporation dans diverses matrices alimentaires riches en eau et/ou en matière grasse tel que le fromage. De plus, il convient de noter que les feuilles du fenouil sont une source considérable de composés bioactifs (Polysphénols, favonoïdes, falavonols, caroténoïdes et chlorophylles) dotés de propriétés antioxydantes, ouvrant ainsi la voie à diverses applications thérapeutiques.

Les résultats de l'évaluation de la qualité sensorielle des fromages élaborés ont démontré une appréciation générale de l'ensemble des fromages formulés, avec un taux oscillant entre 40 à 60% pour les fromages FT, FF, FFA1 et FFA2.

En outre,

les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques des fromages formulés (humidité, pH, acidité, matière grasse, EST, ESD et cendres) sont conformes aux normes établies confirmant ainsi la bonne qualité hygiénique des produits. Il est également à noté que

les fromages élaborés ont présenté des caractéristiques organoleptiques très appréciées par les dégustateurs.

Concernant l'effet du stockage à 4°C pour une période de six jours sur les qualités des fromages élaborés (physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles), les résultats obtenus montrent que le stockage n'a aucun effet sur la qualité physico-chimique et sensorielle et microbiologique. Cette constatation suggère que ces produits peuvent être conservés et consommés en toute sécurité pendant cette période sans compromettre leurs qualités.

Ce travail, aboutit à la conclusion que le lait fermenté, enrichi d'une saveur innovante alliant le goût distinctif du fenouil et de l'ail, suscite une forte appréciation chez les dégustateurs. De plus, il satisfait aux exigences rigoureuses en matière de qualités physico-chimiques et microbiologiques, attestant ainsi du strict respect des normes sanitaires. Cette démarche témoigne de l'engagement envers l'hygiène et la qualité des produits. Donc l'intégration des feuilles du fenouil et de l'ail dans la formulation des fromages représente une initiative novatrice qui promet de diversifier notablement l'offre des produits laitiers, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives aux consommateurs. En effet, le fenouil, avec son profil sensoriel unique et ses propriétés nutritionnelles et antioxydantes remarquables, confère une valeur ajoutée indéniable au produit final.

Pour compléter cette étude de manière exhaustive, il est recommandé de poursuivre les recherches afin d'obtenir des résultats supplémentaires et pertinents. Ces développements ultérieurs permettront une meilleure appréhension des aspects technologiques, nutritionnels et sensoriels, contribuant ainsi à l'enrichissement continu de la connaissance dans ce domaine. Il est suggéré :

- D'explorer les variétés des fruits de fenouil et d'étudier leurs propriétés tout au long de leur maturation ;
- D'adopter des techniques analytiques plus avancées telles que l'HPLC et l'UPLC pour l'identification et la caractérisation précises des substances bioactives présentes dans la poudre des feuilles du fenouil ;
- D'approfondir les recherches en vue d'innover et de standardiser un nouveau produit dérivé, en vue de sa commercialisation.
- D'évaluer l'impact du stockage pour une longue durée sur la qualité des produits innovants à base dans les feuilles de fenouil.

*Références
bibliographiques*

- Abrogoua, N. (2016). *Approche nutritionnelle de la farine de l'arille (Blighia Sapida) récolté en Côte d'Ivoire* [PhD Thesis]. Université Nangui Abrogoua.
- AFNOR, F. (1980). Détermination de la matière sèche (méthode par étuvage). NF V04 282. *Recueil de normes françaises. Laites et produits laitiers. Méthodes d'analyse, Paris La Défense*, 104 105.
- AFNOR, H. (1974). Détermination du Coefficient de Transmission de la Vapeur d'Eau. *Recueil des Normes Françaises, Association Française de Normalisation*.
- AFNOR. (1982a). Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. *AFNOR*, 325.
- AFNOR. (1982b). Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. *AFNOR*, 325.
- Algarni, E. H. A. (2016). Soft cheese supplemented with thyme, cumin and turmeric herbs to increase shelf life during storage period. *Advances in Environmental Biology*, 10(12), 227 236.
- Ali, M. B., Murtaza, M. S., Shahbaz, M., Sameen, A., Rafique, S., Arshad, R., Raza, N., Akbar, Z., Kausar, G., & Amjad, A. (2021). Functional, textural, physicochemical and sensorial evaluation of cottage cheese standardized with food grade coagulants. *Food Science and Technology*, 42, e33420.
- Alimia, A., & Belbey, B. (2020). *Caractéristique phytochimique des extraits de quelques plantes médicinales à propriétés antidiabétiques* [PhD Thesis, Université laarbi tebessi tebessa]. <http://dspace.univ-tebessa.dz:8080/jspui/handle/123456789/2652>
- Alqahtani, N. K., Alnemr, T. M., Alqattan, A. M., Aleid, S. M., & Habib, H. M. (2023). Physicochemical and Sensory Properties and Shelf Life of Block-Type Processed Cheeses Fortified with Date Seeds (*Phoenix dactylifera* L.) as a Functional Food. *Foods*, 12(3), 679.
- Amarti, F., El Ajjouri, M., Ghanmi, M., Satrani, B., Aafi, A., Farah, A., Khia, A., Guedira, A., Rahouti, M., & Chaouch, A. (2011). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de *Thymus zygis* du Maroc. *Phytothérapie*, 9(3), 149 157.
- Amimour, M. (s. d.). : *Essais d'optimisation des procédés de fabrication des fromages traditionnels de qualité (jben et klila)* [PhD Thesis, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis]. Consulté 9 juin 2024, à l'adresse <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=80480>
- Anka, Z. M., Gimba, S., Nanda, A., & Salisu, L. (2020). Phytochemistry and pharmacological activities of *Foeniculum vulgare*. *IOSR J. Pharm*, 10, 1 10.
- Athamena, S. (2009). *Etude quantitative des flavonoïdes des graines de Cuminum cyminum et les feuilles de Rosmarinus officinalis et l'évaluation de l'activité biologique* [PhD Thesis, Université de Batna 2]. <http://eprints.univ-batna2.dz/552/>
- Awuchi, C. G., Igwe, V. S., & Echeta, C. K. (2019). The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139 160.

- Badgujar, S. B., Patel, V. V., & Bandivdekar, A. H. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill : A review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed research international*, 2014.
- Baiano, A., Romaniello, R., Giametta, F., & Fiore, A. (2023). Optimization of process variables for the sustainable extraction of phenolic compounds from chicory and Fennel by-products. *Applied Sciences*, 13(7), 4191.
- Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2010). The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *LWT-Food Science and Technology*, 43(5), 814–818.
- Barros, L., Heleno, S. A., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2009). Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare* Mill. From Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 47(10), 2458–2464.
- Benmeziane-Derradji, F., Djermoune-Arkoub, L., Ayat, N. E.H., & Aoufi, D. (2020). Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2840–2853. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00529-7>
- Bérard, L., Hirczak, M., Marchenay, P., Mollard, A., & Pecqueur, B. (2006). Complexité patrimoniale et territoire : Le panier de biens en Bresse. *Économies et Sociétés. Systèmes Agroalimentaires (AG)*, 40(528), 633–647.
- Berger, J. (2003). Enrichissement des aliments en micronutriments : Élément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement. *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles, Ouagadougou*, 564–576.
- Berger, W., Klostermeyer, H., Merkenich, K., & UHLMANN, G. (1989). La fabrication du fromage fondu. *Guide JOHA, BK Ladenburg, Ladenburg*.
- Beyazen, A., Dessalegn, E., & Mamo, W. (2017). Phytochemical screening and biological activities of leaf of *Foeniculum vulgare* (Ensilal). *World Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 01–10.
- Boudjouref, M. (2011). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'. *Artemisia campestris*, 31–75.
- Boufares, F. (2014). *Analyse sensorielle et caractérisation physicochimique d'un fruit sauvage «Arbutus unedo L.»* [PhD Thesis, Université Ibn Khaldoun].
- Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food chemistry*, 114(4), 1198–1205.

- Bouguerra, A., & Barkat, M. (2012). *Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de foeniculum vulgare Mill* [PhD Thesis, Université Frères Mentouri-Constantine 1]. <http://archives.umc.edu.dz/handle/123456789/10054>
- Bourahla, M. G. (2017). *Elaboration et caractérisation de couches minces d'oxydes transparents conducteurs non dopées et dopées par voie sol-gel*.
- Boutonnier, J.-L. (2012). *Fabrication du fromage fondu*. Ed. Techniques Ingénieur.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Branger, A. (2012). *Fabrication de produits alimentaires par fermentation : L'ingénierie, f3501*. Paris-France.
- Brinson, G. M., Noone, P. G., Mauro, M. A., Knowles, M. R., Yankaskas, J. R., Sandhu, J. S., & Jaques, P. F. (1998). Bronchial Artery Embolization for the Treatment of Hemoptysis in Patients with Cystic Fibrosis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 157(6), 1951–1958.
- Broome, M. C. (2007). Starter culture development for improved cheese flavour. *Improving the flavour of cheese*, 157–176.
- Bugaud, C., Buchin, S., Hauwuy, A., & Coulon, J. B. (2002). Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : Cas du fromage d'Abondance. *INRAE Productions Animales*, 15(1), 31–36.
- Bukhari, H., Shehzad, A., Saeed, K., Sadiq, B. M., Tanveer, S., & Iftikhar, T. (2014). Compositional profiling of fennel seed. *Pak J Food Sci*, 24(3), 132–136.
- Bylund, G. (1995). Dairy processing handbook : Tetra Pak processing systems AB. *Sweden, AB: Lund, Sweden*, 5, 13–36.
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., & Corke, H. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*, 74(17), 2157–2184.
- Calvo, M. M., & Santa-María, G. (2008). Effect of illumination and chlorophylls on stability of tomato carotenoids. *Food chemistry*, 107(4), 1365–1370.
- Cavalcante, R. B. M., Morgano, M. A., Glória, M. B. A., Rocha, M. de M., Araújo, M. A. da M., & Moreira-Araújo, R. S. dos R. (2019). Mineral content, phenolic compounds and bioactive amines of cheese bread enriched with cowpea. *Food Science and Technology*, 39, 843–849.
- Chambre, M., & Daurelles, J. (1997). Le fromage fondu. *ECK, A., GILLIS, JC Le Fromage, Paris: Technique et documentation Lavoisier. Terceira edição*, 691–708.
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2014). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*.
- Charby, J., Hébel, P., & Vaudaine, S. (2017). Les produits laitiers en France : Évolution du marché et place dans la diète. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52, S25–S34.

- Castaldo, L., Izzo, L., De Pascale, S., Narváez, A., Rodriguez-Carrasco, Y., & Ritieni, A. (2021). Chemical composition, in vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from nutraceutical fennel waste extract. *Molecules*, 26(7), 1968.
- Chaudhary, C., Khatak, A., Grewal, R. B., & Rai, D. (2018). Physical functional and nutritional properties of different cereals and flaxseed. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 733–736.
- Chaudhary, C., Khatak, A., Grewal, R., & Rai, D. (s. d.). *Physical functional and nutritional properties of different cereals and flaxseed*.
- Cherabi, D., Djema, M., & Siad, L. (2022). *Elaboration d'un fromage frais enrichi par la graine de lin* [PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri].
- Commission, J. F. C. A. (1992). *Codex alimentarius*. Food & Agriculture Org. Codex+Alimentarius+(1995).+Cereals,+vegetables,+legumes,+derivative+products+and+plant+proteins.+Program+joint+FAO/WHO+food+standards.+2nd+edition,+FAO/WHO,+Vol.+7,+Rome &ots=pO1YpC4aHG&sig=QtHEMbUGIVa8bEBbDfVwffw5tKY
- Conforti, F., Statti, G., Uzunov, D., & Menichini, F. (2006). Comparative chemical composition and antioxidant activities of wild and cultivated *Laurus nobilis* L. leaves and *Foeniculum vulgare* subsp. *Piperitum* (Ucria) coutinho seeds. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29(10), 2056–2064.
- Dan, C. G., Koffi, L. B., Yao, K., Nemlin, J. G., & Kouame, P. (2017). Effet du mûrissement sur les propriétés fonctionnelles des farines de baies de Gnagnan (*Solanum anguivi* Lam) cultivées en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 13(6), 303–314.
- Darwish, A. A., Tawfek, M. A., & Baker, E. A. (2020). Texture, sensory attributes and antioxidant activity of spreadable processed cheese with adding date seed powder. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 11(12), 377–383.
- Debry, G. (2001). *Lait, nutrition et santé*. Technique et documentation-Lavoisier.
- Debuigne, G., & Couplan, F. (2019). *Le petit Larousse des plantes médicinales*. Larousse.
- Diomande, M., Koko, A. C., Kouame, K. B., Beugre, G., & Bohoua, L. G. (2017). Evaluation des propriétés fonctionnelles et activité antioxydante d'amandes de mangue produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 6(11), 6–29.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654–660.
- Doymaz, I. (2004). "Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61(3): 359-364.

- Du, R. D. L. Q. S., Du Codex, C., & ET, S. (2005). *Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires*. https://www.fao.org/input/download/report/617/al04_11f.pdf
- Eck, A., & Gillis, J. C. (2006). Le fromage. 3eme edition : Tec et Doc. *Lavoisier. Paris. 891p.*
- El Galiou, O., Zantar, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Centeno, J. A., & Carballo, J. (2015). Chemical and microbiological characteristics of traditional homemade fresh goat cheeses from Northern Morocco. *Small Ruminant Research, 129*, 108–113.
- El-Khateeb, A. Y., Elsherbiny, E. A., Tadros, L. K., Ali, S. M., & Hamed, H. B. (2013). Phytochemical analysis and antifungal activity of fruit leaves extracts on the mycelial growth of fungal plant pathogens. *Journal of Plant Pathology and Microbiology, 4(9)*, 1–6.
- El-Soud, N. A., El-Laithy, N., El-Saeed, G., Wahby, M. S., Khalil, M., Morsy, F., & Shaffie, N. (2011). *Antidiabetic activities of Foeniculum vulgare Mill. Essential oil in streptozotocin-induced diabetic rats.*
- Endo, T., Fukunaga, T., Yoshimura, T., & Esumi, K. (2006). Scavenging DPPH radicals catalyzed by binary noble metal–dendrimer nanocomposites. *Journal of colloid and interface science, 302(2)*, 516–521.
- Esseid èp Rezka, C., & Benayache, F. (2018). *Isolement et détermination structurale de métabolites secondaires de plantes sahariennes* [PhD Thesis, Université Frères Mentouri-Constantine 1].
- Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*, 283–323.
- Ferrante, A., & Maggiore, T. (2007). Chlorophyll a fluorescence measurements to evaluate storage time and temperature of Valeriana leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology, 45(1)*, 73–80.
- Fonseca, D. F., Salvador, Â. C., Santos, S. A., Vilela, C., Freire, C. S., Silvestre, A. J., & Rocha, S. M. (2015). Bioactive phytochemicals from wild *Arbutus unedo* L. berries from different locations in Portugal: Quantification of lipophilic components. *International journal of molecular sciences, 16(6)*, 14194–14209.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017). *Fundamentals of Cheese Science*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
- Fragile, P. C., Chatterjee, K., Ingram, A., & Middleton, M. (2023a). The luminous, hard state can't be MAD. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 525(1)*, L82–L86.
- Fragile, P. C., Chatterjee, K., Ingram, A., & Middleton, M. (2023b). The luminous, hard state can't be MAD. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 525(1)*, L82–L86.
- Fredot, E. (2005). *Connaissance des aliments*. Tec & Doc Lavoisier.
- Frühbauerová, M., Červenka, L., Hájek, T., Salek, R.-N., Velichová, H., & Buňka, F. (2020). Antioxidant properties of processed cheese spread after freeze-dried and oven-dried grape skin powder addition. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences.*

- Gençcelep, H. (2018). Effects of different herbs on biogenic amine contents and some characteristics of herby cheese farklı otların otlu peynirin biyojen amin içeriği ve bazı özellikleri üzerine etkisi. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14049>
- Ghasemzadeh, R., & Ghavidel, R. A. (2011a). Processing and assessment of quality characteristic of cereals-legumes composite weaning foods. *International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics IPCBEE. IACSIT Press, Singapore*, 5.
- Ghasemzadeh, R., & Ghavidel, R. A. (2011b). Processing and assessment of quality characteristic of cereals-legumes composite weaning foods. *International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics IPCBEE. IACSIT Press, Singapore*, 5.
- Goli, A. H., Barzegar, M., & Sahari, M. A. (2005). Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food chemistry*, 92(3), 521–525.
- Gonçalves, B.-H. R. F., Silva, G. D. J., Conceição, D. G., Egito, A. S. D., & Ferrão, S. P. B. (2017). Buffalo mozzarella chemical composition and authenticity assessment by electrophoretic profiling. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4), 1841.
- Grappin, R., Lefier, D., & Mazerolles, G. (2006). Analysis of milk and dairy products. *Service de presse: la spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques.*, Ed. 2, 583–626.
- Guillén, M. D., & Manzanos, M. J. (1996). A study of several parts of the plant *Foeniculum vulgare* as a source of compounds with industrial interest. *Food research international*, 29(1), 85–88.
- Guinee, T. P., & Fox, P. F. (2017). Salt in cheese: Physical, chemical and biological aspects. In *Cheese* (p. 317–375). Elsevier.
- Habellah, R. M., Karoune, S., Kechebar, M. S. A., & Bounab, H. (2016). Etude des composés phénoliques et des activités antioxydantes de l'Acacia ehrenbergiana de la région de Tindouf. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA) No*, 13(1), 27–34.
- Hala, M. F., Ebtisam, E. D., Sanaa, I., Badran, M. A., Marwa, A. S., & Said, M. E. (2010). Manufacture of low fat UF-soft cheese supplemented with rosemary extract (as natural antioxidant). *J. Am. Sci*, 6(10), 570–579.
- Hashash, M. M., El-Sayed, M. M., Abdel-Hady, A. A., Hady, H. A., & Morsi, E. A. (2017). Nutritional potential, mineral composition and antioxidant activity squash (*Curcubita pepo* L.) fruits grown in Egypt. *inflammation*, 9(10), 11–12.
- Hassan, F. A., El-Gawad, A., Mona, A. M., & Enab, A. K. (2012). Flavour compounds in cheese. *International Journal of Academic Research*, 4(5).
- Hayder, N., Abdelwahed, A., Kilani, S., Ammar, R. B., Mahmoud, A., Ghedira, K., & Chekir-Ghedira, L. (2004). Anti-genotoxic and free-radical scavenging activities of extracts from (Tunisian) *Myrtus communis*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 564(1), 89–95.

- Ibrahim, F. Y., & El-Khateeb, A. Y. (2013). Effect of herbal beverages of *Foeniculum vulgare* and *Cymbopogon proximus* on inhibition of calcium oxalate renal crystals formation in rats. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 221–229.
- Imane, M., Khayra, N., & Hamada, B. (2020). *Etude de l'activité antiarthritique*
- Jeantet, R., Croguennec, T., Garric, G., & Brulé, G. (2017). *Initiation à la technologie fromagère*. Lavoisier Tec & doc.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., & Brulé, G. (2007). *Les produits laitiers*. Editions Tec & Doc Lavoisier.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2008). *Sciences des Aliments 1-Stabilisation biologique et physico-chimique*. Tec & Doc Lavoisier.
- Jora, M. Z., Cardoso, M. V., & Sabadini, E. (2017a). Correlation between viscosity, diffusion coefficient and spin-spin relaxation rate in ¹H NMR of water-alcohols solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 238, 341–346.
- Jora, M. Z., Cardoso, M. V., & Sabadini, E. (2017b). Correlation between viscosity, diffusion coefficient and spin-spin relaxation rate in ¹H NMR of water-alcohols solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 238, 341–346.
- Kandyliari, A., Potsaki, P., Bousdouni, P., Kaloteraki, C., Christofilea, M., Alpounioti, K., Moutsou, A., Fasoulis, C. K., Polychronis, L. V., & Gkalpinos, V. K. (2023). Development of dairy products fortified with plant extracts: Antioxidant and phenolic content characterization. *Antioxidants*, 12(2), 500.
- Karam, N.-E., Dellali, A., & Zadi-Karam, H. (2012). Activité lipolytique chez les bactéries lactiques. *Rencontres autour des recherches sur les ruminants*, 19.
- Katalinic, V., Mozina, S. S., Generalic, I., Skroza, D., Ljubenkovic, I., & Klancnik, A. (2013). Phenolic Profile, Antioxidant Capacity, and Antimicrobial Activity of Leaf Extracts from Six *Vitis vinifera* L. Varieties. *International Journal of Food Properties*, 16(1), 45–60.
- Kaur, G. J., & Arora, D. S. (2009). Antibacterial and phytochemical screening of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 9(1), 30.
- Khan, A., & Saini, C. S. (2016). Effect of roasting on physicochemical and functional properties of flaxseed flour. *Cogent Engineering*, 3(1), 1145566.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Vandenberg, A. (2019). Seed protein of lentils: Current status, progress, and food applications. *Foods*, 8(9), 391.
- Kooti, W., Moradi, M., Ali-Akbari, S., Sharafi-Ahvazi, N., Asadi-Samani, M., & Ashtary-Larky, D. (2015). Therapeutic and pharmacological potential of *Foeniculum vulgare* Mill: A review. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 4(1), 1–9.
- Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2006). Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. *Trends in plant science*, 11(10), 499–507.

- Križman, M., Baričević, D., & Prošek, M. (2007). Determination of phenolic compounds in fennel by HPLC and HPLC–MS using a monolithic reversed-phase column. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 43(2), 481–485.
- Kulkarni, K. D., Kulkarni, D. N., & Ingle, U. M. (1991). Sorghum Malt-Based Weaning Food Formulations: Preparation, Functional Properties, and Nutritive Value. *Food and Nutrition Bulletin*, 13(4), 1–7.
- Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 344–352.
- Kurt, A., & Genççelep, H. (2018). Enrichment of meat emulsion with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder: Impact on rheological and structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, 237, 128–136.
- Lagnika, L. (2005). Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. *France/Bénin: Université Louis Pasteur Starsbourg/Université d'Abomey Calavi*, 280.
- Lambert, J. L. (1996). *Commercialisation, consommation et distribution du lait de chevre, de brebis et de leurs produits*.
- Lapointe-Vignola, C. (2002a). *Science et technologie du lait: Transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Lapointe-Vignola, C. (2002b). *Science et technologie du lait: Transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Lapointe-Vignola, C. (2002c). *Science et technologie du lait: Transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Lapointe-Vignola, C. (2002d). *Science et technologie du lait: Transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Lapointe-Vignola, C. (2002e). *Science et technologie du lait: Transformation du lait*. Presses inter Polytechnique.
- Lauzon, C., & Charette, A. B. (2006). Catalytic Asymmetric Synthesis of α,α,α -Trifluoromethylamines by the Copper-Catalyzed Nucleophilic Addition of Diorganozinc Reagents to Imines. *Organic Letters*, 8(13), 2743–2745.
- Lazouni, H. A., Benmansour, A., Sari, D. C., & Smahi, M. E. (2006). Valeurs nutritives et toxicité du *foeniculum vulgare* miller. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 2(1).
- Ledoux, M., du Chaffaut, L., Oseredczuk, M., Calamassi-Tran, G., & Menard, C. (2013). Élaboration et utilisation de la table de composition nutritionnelle du Ciqual-2012. *L'Information diététique: Revue de l'Association des diététiciens de langue française*, 4, 39.
- Lim, T. K. (2015). *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants: Volume 9, Modified Stems, Roots, Bulbs*. Springer Netherlands.

- Lucera, A., Costa, C., Marinelli, V., Saccotelli, M. A., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2018). Fruit and vegetable by-products to fortify spreadable cheese. *Antioxidants*, 7(5), 61.
- Luquet, F. M. (1990). Laits et produits laitiers : Vache, brebis, chèvre. Tome 2: Les produits laitiers, transformation et technologies. Ed., Lavoisier. *Sciences et Techniques Agro-alimentaires*, 637.
- Luquet, F. M., & Bonjean-Linczowski, Y. (1990). Les produits laitiers, transformation et technologies. *Technique et documentation, Lavoisier, paris*.
- Mahaut, M., Jeantet, R., & Brulé, G. (2000). *Initiation à la technologie fromagère*.
- Mahaut, M., Jeantet, R., Schuck, P., & Brulé, G. (2000). *Les produits industriels laitiers*. Editions Tec & Doc.
- Malhotra, S. K. (2012a). Fennel and fennel seed. In *Handbook of herbs and spices* (p. 275–302). Elsevier.
- Malhotra, S. K. (2012b). *Fennel and fennel seed. U : Peter KV (ured.) Handbook of Herbs and Spices, 2. izd.* Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Manzoor, A. A., Lindner, L. H., Landon, C. D., Park, J.Y., Simnick, A. J., Dreher, M. R., Das, S., Hanna, G., Park, W., & Chilkoti, A. (2012). Overcoming limitations in nanoparticle drug delivery : Triggered, intravascular release to improve drug penetration into tumors. *Cancer research*, 72(21), 5566–5575.
- Marie, N. N. g. A. & D. A. Edmond (2015). Functional properties of seed flours from different cultivars of *Citrullus lanatus* (Cucurbitaceae) cultivated in Cote d'Ivoire. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 1(5): 32-48.
- Martin, B., Verdier-Metz, I., Buchin, S., Hurtaud, C., & Coulon, J.-B. (2005). How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products? *Animal Science*, 81(2), 205–212.
- Mehra, N., Tamta, G., & Nand, V. (2021). A review on nutritional value, phytochemical and pharmacological attributes of *Foeniculum vulgare* Mill. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(2), 1255–1263.
- Merigaud, J.-P., Lemoine, T., Aguer, D., Beugnot, N., Gillis, J. C., Jouanneau, F., Koubbi, L., Lepecheur, E., Madiot, P., & Maupeu Prouin, J. (2009). Spécification technique de l'achat public : Laits et produits laitiers. *Groupe d'étude des marches de restauration collective et de nutrition (GEM RCN). Ministère de l'économie de l'industrie et de l'emploi. France*.
- Meryem, G. (2017). *Contribution à la fabrication d'un fromage local à base de lait de chèvre*.
- Messaid, H. (2008). *Optimisation du processus d'immersion-rehydratation du système dattes seches-jus d'orange* [PhD Thesis, Boumerdes, Université M'hamed Bougara. Faculté des sciences de l'ingénieur].
- Meunier-Goddik, L. (2004). Fromage Frais. In *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology* (p. 235–250). CRC Press.

- Milardović, S., Iveković, D., & Grabarić, B. S. (2006). A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*, 68(2), 175–180.
- Molyneux, P. (2004a). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, 26(2), 211–219.
- Molyneux, P. (2004b). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, 26(2), 211–219.
- Muckensturm, B., Foechterlen, D., Reduron, J.-P., Danton, P., & Hildenbrand, M. (1997). Phytochemical and chemotaxonomic studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical systematics and ecology*, 25(4), 353–358.
- Naczka, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1523–1542.
- Najgebauer-Lejko, D., Pluta-Kubica, A., Domagała, J., Turek, K., Duda, I., & Golian, J. (2022). Effect of Bear Garlic Addition on the Chemical Composition, Microbiological Quality, Antioxidant Capacity, and Degree of Proteolysis in Soft Rennet Cheeses Produced from Milk of Polish Red and Polish Holstein-Friesian Cows. *Molecules*, 27(24), 8930.
- Nickavar, B., Alinaghi, A., & Kamalinejad, M. (2008). Evaluation of the antioxidant properties of five *Mentha* species. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 203–209.
- Noreen, S., Tufail, T., Badar Ul Ain, H., & Awuchi, C. G. (2023). Pharmacological, nutraceutical, functional and therapeutic properties of fennel (*Foeniculum vulgare*). *International Journal of Food Properties*, 26(1), 915-927.
- Okpala, L., Okoli, E., & Udensi, E. (2013). Physico-chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food Science & Nutrition*, 1(1), 8–14.
- Oktay, M., Gülçin, İ., & Küfrevioğlu, Ö. İ. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 36(2), 263–271.
- Papagianni, O., Argyri, K., Loukas, T., Magkoutis, A., Biagki, T., Skalkos, D., Kafetzopoulos, D., Dimou, C., Karantonis, H. C., & Koutelidakis, A. E. (2021). Postprandial bioactivity of a spread cheese enriched with mountain tea and orange peel extract in plasma oxidative stress status, serum lipids and glucose levels: An interventional study in healthy adults. *Biomolecules*, 11(8), 1241.
- Paris, R. R., Alexis, M. N., Faugeras, G., & Jacquemin, H. (1978). Plantes de la guyane française v.-sur les polyphénols du *Sauvagesia erecta* L., ochnacées. *Plantes Medicinales et Phytothérapie*, 12.

- Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M., & Moosavi, S. A. (2018). Effect of exogenous application of several plant growth regulators on photosynthetic pigments of fennel plants. *Notulae Scientia Biologicae*, *10*(4), 508–515.
- Pluta-Kubica, A., Najgebauer-Lejko, D., Domagała, J., Štefániková, J., & Golian, J. (2022a). The effect of cow breed and wild garlic leaves (*Allium ursinum* L.) on the sensory quality, volatile compounds, and physical properties of unripened soft rennet-curd cheese. *Foods*, *11*(24), 3948.
- Pluta-Kubica, A., Najgebauer-Lejko, D., Domagała, J., Štefániková, J., & Golian, J. (2022b). The effect of cow breed and wild garlic leaves (*Allium ursinum* L.) on the sensory quality, volatile compounds, and physical properties of unripened soft rennet-curd cheese. *Foods*, *11*(24), 3948.
- Pointurier, H., Mietton, B., Devoyod, J. J., Millet, L., Belliard, S. N., Meyer-Caron, H., Brassier, C., Tracard, H., Chamba, J. F., & Cretin-Maintenaz, P. (1985). fromages. Les fromages a partir de lait de vache. *Laits et produits laitiers: vache, brebis, chevre/Societe scientifique d'hygiene alimentaire; Francois M. Luquet, coordonnateur, assiste de Yvette Bonjean-Linczowski; prefaces de J. Keilling, R. de Wilde.*
- Pradal, M. (2012). *La transformation fromagère caprine fermière : Bien fabriquer pour mieux valoriser ses fromages de chèvre*. Ed. Lavoisier.
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, *269*(2), 337–341.
- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J.-C., Bailleul, F., & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of ethnopharmacology*, *72*(1–2), 35–42.
- Ramet, J. P. (1985). *La fromagerie et les varietes de fromage du bassin mediterraneen*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/647361952c1d629bc97e992b>
- Rani, V., & Grewal, R. B. (2014). Physical and functional properties of six varieties of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Asian Journal of Dairy and Food Research*, *33*(2), 126–130.
- Rather, Dr. M., Dar, B., Sofi, S., Ahmad, B., & Qurishi, M. (2012). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, *14*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.011>
- Rather, M. A., Dar, B. A., Sofi, S. N., Bhat, B. A., & Qurishi, M. A. (2016). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, *9*, S1574–S1583.

- Ratiba, B. A., Wedad, A. M., Mohamed, O., & Abd El-Baky, H. M. (2006). Effect of cardamom, thyme and clove powder on the composition and quality of white soft cheese made from goat's milk. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 37(4), 139–157.
- Rhiat, M., Labioui, H., Driouich, A., Aouane, M., Chbab, Y., Mennane, Z., & Ouhssine, M. (2011). Étude bactériologique comparative des fromages frais marocains commercialisés (Mahlabats) et des fromages fabriqués au laboratoire. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 7(3).
- Riahi, M. H. (2006). *Modélisation de phénomènes microbiologiques, biochimiques et physico-chimiques intervenant lors de l'affinage d'un fromage de type pâte molle croûte lavée* [PhD Thesis, INAPG (AgroParisTech)].
- Ribereau-Gayon, P. (1968). Notions générales sur les composés phénoliques, méthodes générales d'études des composés phénoliques. *Les composés phénoliques des végétaux*.
- Richonnet, C. (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 51(1), 48–56.
- Ritota, M., & Manzi, P. (2020). Natural preservatives from plant in cheese making. *Animals*, 10(4), 749.
- Robalo, J., Lopes, M., Cardoso, O., Sanches Silva, A., & Ramos, F. (2022). Efficacy of whey protein film incorporated with Portuguese green tea (*Camellia sinensis* L.) extract for the preservation of latin-style fresh cheese. *Foods*, 11(8), 1158.
- Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J.-F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: A European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 72–79.
- Roby, M. H. H., Sarhan, M. A., Selim, K. A.-H., & Khalel, K. I. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Industrial crops and products*, 44, 437–445.
- Rodriguez, R. (2021, septembre 8). *FENOUIL COMMUN: Photo + Utilisation + Bienfaits + Vertus + Confusion*. Monde Végétal.
- Ross, R. P., Morgan, S., & Hill, C. (2002). Preservation and fermentation: Past, present and future. *International journal of food microbiology*, 79(1–2), 3–16.
- Ruiz-Rodríguez, B.-M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.-C., Cámara, M., Díez-Marqués, C., Pardo-de-Santayana, M., Molina, M., & Tardío, J. (2011). Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Research International*, 44(5), 1244–1253.
- Sahreen, S., Khan, M. R., & Khan, R. A. (2010). Evaluation of antioxidant activities of various solvent extracts of *Carissa opaca* fruits. *Food chemistry*, 122(4), 1205–1211.

- Sakr, N., & Moussa, E. H. (2007). Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et destinées à la préparation du pain libanais. *Lebanese science journal*, 8(2), 87.
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food research international*, 37(1), 66–74.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., & Toth-Markus, M. (2005). Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8–9), 1023–1029.
- Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: Antioxidants and beyond. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 215S–217S.
- Schlich, P., Deglaire, A., Cordelle, S., Urbano, C., Biguzzi, C., & Martin, C. (2010). Les préférences hédoniques pour le gras. Mesures et variabilité. *Innovations Agronomiques*, 10, 95–114.
- Semeniuc, C. A., Mandrioli, M., Tura, M., Socaci, B. S., Socaciu, M.-I., Fogarasi, M., Michiu, D., Jimborean, A. M., Mureşan, V., & Ionescu, S. R. (2023a). Impact of lavender flower powder as a flavoring ingredient on volatile composition and quality characteristics of Gouda-type cheese during ripening. *Foods*, 12(8), 1703.
- Semeniuc, C. A., Mandrioli, M., Tura, M., Socaci, B. S., Socaciu, M.-I., Fogarasi, M., Michiu, D., Jimborean, A. M., Mureşan, V., & Ionescu, S. R. (2023b). Impact of lavender flower powder as a flavoring ingredient on volatile composition and quality characteristics of Gouda-type cheese during ripening. *Foods*, 12(8), 1703.
- Semeniuc, C. A., Mandrioli, M., Tura, M., Socaci, B. S., Socaciu, M.-I., Fogarasi, M., Michiu, D., Jimborean, A. M., Mureşan, V., & Ionescu, S. R. (2023c). Impact of lavender flower powder as a flavoring ingredient on volatile composition and quality characteristics of Gouda-type cheese during ripening. *Foods*, 12(8), 1703.
- Settanni, L., & Moschetti, G. (2010). Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits. *Food microbiology*, 27(6), 691–697.
- Setyawardani, T., Sumarmono, J., Dwiyantri, H., & Arkan, N. D. (2023). Yield, Composition, Texture, and Sensory Characteristics of Cottage Cheese Produced with the Incorporation of Different Herb Extracts. *ANIMAL PRODUCTION*, 25(2), Article 2.
- Shafi, M., Baba, W. N., Masoodi, F. A., & Bazaz, R. (2016). Wheat-water chestnut flour blends: Effect of baking on antioxidant properties of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 53(12), 4278–4288.
- Shori, A. B., Baba, A. S., & Chuah, P. F. (2013). The effects of fish collagen on the proteolysis of milk proteins, ACE inhibitory activity and sensory evaluation of plain-and Allium sativum-yogurt. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(5), 701–706.

- Silva, L. F., Casella, T., Gomes, E. S., Nogueira, M. C. L., De Dea Lindner, J., & Penna, A. L. B. (2015). Diversity of Lactic Acid Bacteria Isolated from Brazilian Water Buffalo Mozzarella Cheese. *Journal of Food Science*, 80(2).
- Singh, S. P. (2019). A Comprehensive Review on Pharmacological Activity of *Foeniculum vulgare*. *Global Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 23–27.
- Smaili, T., Rebbas, K., Flamini, G., & Belkassam, A. (2016). Chemical composition of the essential oil of *Brachyapium dichotomum* (L.) Maire. *DER PHARMACIA LETTRE*, 8(10), 32–36.
- Tabak, S., Bendif, H., Miara, M. D., Mediouni, R. M., & Blake, P. (2022). Physico-Chemical analysis of some medicinal plants growing in Algeria : *Allium sativum*, *Allium cepa* and *Foeniculum vulgare*. *Genetics & Biodiversity Journal*, 6(1), Article 1.
- Taie, H. A. A., Helal, M. M. I., Helmy, W. A., & Amer, H. (2013). *Chemical composition and biological potentials of aqueous extracts of fennel (Foeniculum vulgare L)*.
- Tarakçi, Z., Coskun, H., & Tunçtürk, Y. (2004). Some properties of fresh and ripened herby cheese, a traditional variety produced in Turkey. *Food Technology and Biotechnology*, 42(1), 47–50.
- Tarakci, Z., Temiz, H., Aykut, U., & Turhan, S. (2011). Influence of Wild Garlic on Color, Free Fatty Acids, and Chemical and Sensory Properties of Herby Pickled Cheese. *International Journal of Food Properties*, 14(2), 287–299.
- Tepe, B., Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M., & Polissiou, M. (2005). Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller (*Lamiaceae*). *Food chemistry*, 90(3), 333–340.
- Teuscher, E., Anton, R., & Lobstein, A. (2005). *Plantes aromatiques : Épices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Tec & Doc.
- Thiebaud, M., Dumay, E., Picart, L., Guiraud, J. P., & Cheftel, J. C. (2003). High-pressure homogenisation of raw bovine milk. Effects on fat globule size distribution and microbial inactivation. *International Dairy Journal*, 13(6), 427–439.
- Tremolieres, J., Serville, Y., Jacquot, R., & Dupin, H. (s. d.). *Manuel d'alimentation humaine. Tome 1. Les bases de l'alimentation. 10 e édition revue et augmentée*. Consulté 22 mars 2024, <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8974602>
- Urgu-Öztürk, M., Kaymak-Ertekin, F., & Koca, N. (2021). Production of reduced-fat white cheese powder : The effects of fat reduction and microparticulated protein usage on the characteristics of the cheese powder during storage. *Powder Technology*, 391, 510–521.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4113–4117. <https://doi.org/10.1021/jf9801973>
- Vermerris, W. (2008). Composition and Biosynthesis of Lignocellulosic Biomass. In W. Vermerris (Éd.), *Genetic Improvement of Bioenergy Crops* (p. 89–142). Springer New York.

- Vignola, C. L. (2002). Science et technologie du lait. *Québec: Fondation de technologie laitière de Québec*.-587 p.
- Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., & Wehrmüller, K. (2008). Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 389-405.
- Wichtl, M., & Anton, R. (2003). *Plantes thérapeutiques (4ème édition allemande–2ème édition française)*.
- Xia, X., Cao, J., Zheng, Y., Wang, Q., & Xiao, J. (2014a). Flavonoid concentrations and bioactivity of flavonoid extracts from 19 species of ferns from China. *Industrial Crops and Products*, 58, 91-98.
- Xia, X., Cao, J., Zheng, Y., Wang, Q., & Xiao, J. (2014b). Flavonoid concentrations and bioactivity of flavonoid extracts from 19 species of ferns from China. *Industrial Crops and Products*, 58, 91-98.
- Yaacoubé, R., & Tlidjane, I. (2018). *Caractérisation physico-chimiques et analyses biologiques de l'huile essentielle des grains de Cuminum cyminum L. et de Foeniculum vulgare Mill. extraite par hydrodistillation et CO₂ supercritique : Etude comparative*.
- Yadav, C., & Malik, C. P. (2015). *Botany, Chemical Constituents and Genetic Diversity in Fennel (F. vulgare Mill) : Revisited-A Review*.
- Ydjedd, S., Chaala, M., Richard, G., Kati, D. E., López-Nicolás, R., Fauconnier, M.-L., & Louaileche, H. (2017). Assessment of antioxidant potential of phenolic compounds fractions of Algerian *Ceratonia siliqua* L. pods during ripening stages. *International Food Research Journal*, 24(5).
- Yildiz, F., Yetisemiyen, A., Senel, E., Durlu Özkaya, F., Öztekin, S., & Sanli, E. (2010). Some properties of Civil cheese : A type of traditional Turkish cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 575-580.
- Yıldırım, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Rumex crispus* L. Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 4083-4089.
- Yoo, K. M., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B., & Lee, C. Y. (2008). Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food chemistry*, 106(3), 929-936.
- Zainoldin, K. H., & Baba, A. S. (2009). The effect of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* on physicochemical, proteolysis, and antioxidant activity in yogurt. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60(3), 361-366.
- Zoubiri, S., Baaliouamer, A., Seba, N., & Chamouni, N. (2014). Chemical composition and larvicidal activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(4), 480-485.

Annexes

Annexe I : Courbes d'étalonnage

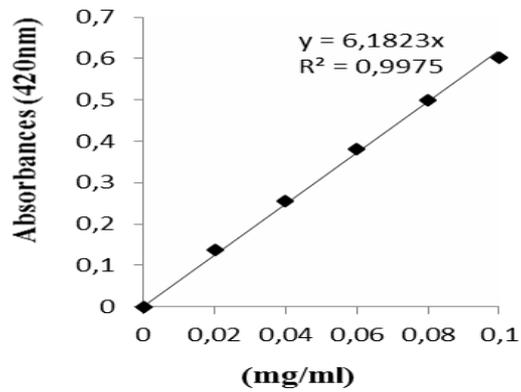
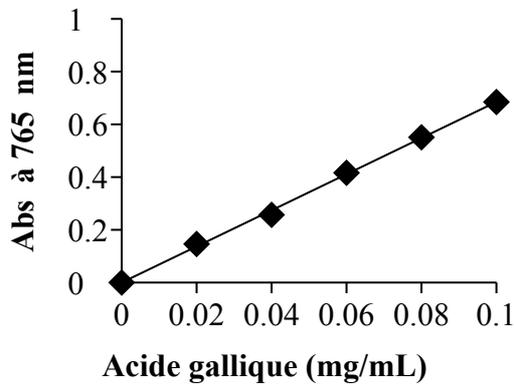


Figure 1: Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols.
Figure 2: Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.

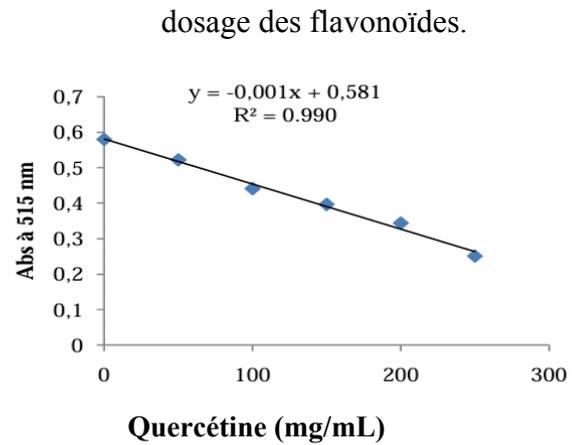
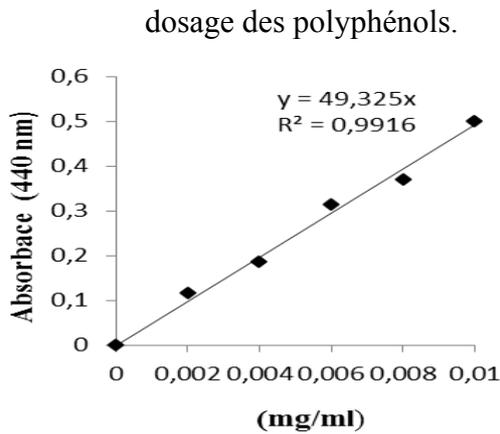


Figure 3: Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonols

Figure 4 : Absorbance en fonction de la Concentraion du Trolox ($\mu\text{g/mL}$).

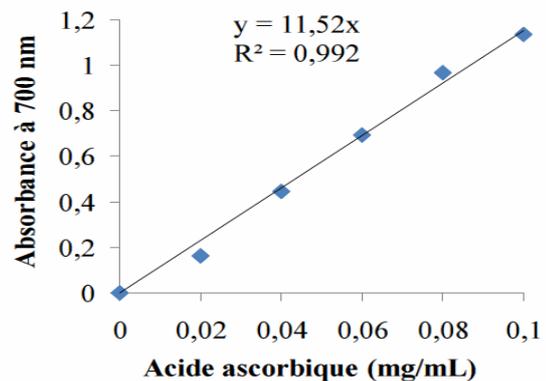
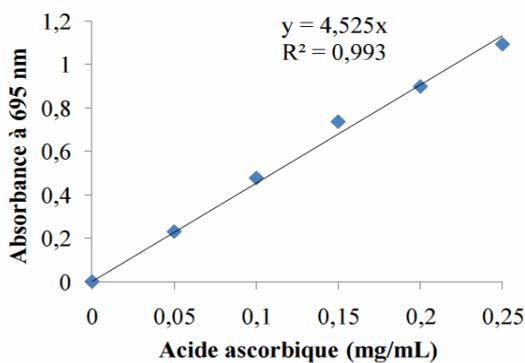


Figure 5 : Activité antioxydante totale en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (mg/mL).

Figure 6 : Pouvoir réducteur en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (mg/mL).

Annexe II : Questionnaire d'analyse sensorielle d'un fromage enrichi (Panel expert)

Date :

Age :

Profession :

Sexe : F M

Dans le cadre d'une analyse sensorielle d'un fromage enrichi plus un témoin, 7 échantillons vous sont présentés codés A, B, C, D, E, F et G, il vous est demandé de les examiner et de les goûter successivement, puis répondre aux questions qui suivent en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée pour chaque paramètre :

NB: Après la dégustation de chaque échantillon, rincez la bouche avec de l'eau.

I. Couleur

- (1) Blanc
- (2) Beige
- (3) Jaune
- (4) Vert clair
- (5) Verte

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

• La couleur vous l'appréciez ?

- (1) Non appréciée
- (2) Peu appréciée
- (3) Moyennement appréciée
- (4) Bien appréciée
- (5) Très appréciée

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

II. Odeur

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte
- (5) Très forte

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

• L'odeur vous l'appréciez ?

- (1) Non appréciée
- (2) Peu appréciée
- (3) Moyennement appréciée
- (4) Bien appréciée
- (5) Très appréciée

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

III. Goût

a. Goût salé

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

b. Goût acide

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte
- (5) Très forte

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

c. Arôme identifié

- (1) Absent
- (2) Feuilles de fenouil
- (3) Ail
- (4) Feuilles de fenouil et ail
- (5) Persil

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

d. Arrière goût

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte
- (5) Très forte

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

IV. Texture

a. Texture en bouche

- (1) Très lisse
- (2) Lisse
- (3) Peu granuleuse
- (4) Granuleuse
- (5) Très granuleuse

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

b. Consistance

- (1) Très molle
- (2) Molle
- (3) Moyennement molle
- (4) Ferme
- (5) Trop ferme

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

c. Astringence

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte
- (5) Très fort

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

d. Tartinabilité

- (1) Très Facile
- (2) Facile
- (3) Moyenne
- (4) Difficile
- (5) Très difficile

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

V. Préférence générale

Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et le numéro 9 à celui le plus préféré selon l'échelle présentée ci-dessous:

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

Echantillon	A	B	C	D	E	F	G
n							
Note							

VI. Paramètre

motivé la préférence générale

ayant

Quelles sont les caractéristiques organoleptiques qui ont motivé votre préférence:

La couleur

La consistance

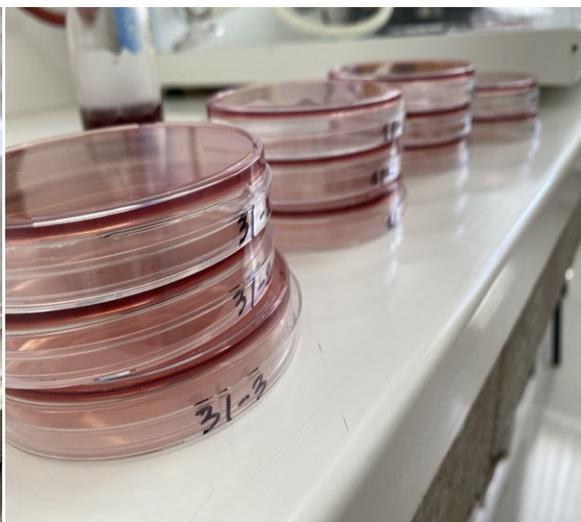
Le Goût

L'odeur

La Texture

Merci pour votre coopération

Annexe III : Analyse microbiologique du fromage.



Résumé

L'objectif principale de la présente étude est de formuler des fromages frais enrichis avec les feuilles de fenouil en vue de leur valorisation (FF, FFA1, FFA2) contre un fromage témoin (FT), élaboré dans des conditions similaires. En outre, une évaluation des qualités des fromages formulés (physico-chimique, microbiologique et sensorielle) a été déterminée après 6 jours de stockage à 4°C. Les résultats obtenus montrent que les feuilles de fenouil présentent certaines caractéristiques physico-chimiques distinctives et elles sont également une source importante d'antioxydants. Par ailleurs, les feuilles de fenouil ont montré des propriétés antioxydantes et fonctionnelles considérables, favorisant leurs intégrations dans des matrices alimentaires.

La préparation des fromages s'est déroulée selon des méthodes traditionnelles, respectant un schéma de fabrication classique du fromage frais. Les fromages ainsi élaborés présentent des profils physico-chimiques et microbiologiques au cours du stockage conformes aux normes réglementaires, témoignant le respect des normes d'hygiène et garantissant la sécurité des consommateurs. De plus, l'évaluation sensorielle effectuée après stockage a révélé que les fromages élaborés peuvent être conservés durant cette période sans aucune altération notable de leurs caractéristiques organoleptiques. En conclusion, l'élaboration d'un fromage à base des feuilles de fenouil est réalisable, promettant un intérêt qui se manifeste pour une éventuelle expansion de sa production à l'échelle industrielle.

Mots clés : Feuilles ; *Foeniculum vulgare*; Propriétés; Fromage ; Qualité ; Stockage.

Abstract

The main objective of the present study is to formulate fresh cheeses enriched with fennel leaves for their valorization (FF, FFA1, FFA2) against a control cheese (FT), elaborated under similar conditions. In addition, an evaluation of the qualities of the formulated cheeses (physicochemical, microbiological and sensory) was determined after 6 days of storage at 4 °C. The results obtained show that fennel leaves have some distinctive physicochemical characteristics and they are also an important source of antioxidants. In addition, fennel leaves have shown considerable antioxidant and functional properties, favoring their integration into food matrices.

The preparation of the cheeses was carried out according to traditional methods, respecting a classic fresh cheese manufacturing process. The cheeses thus produced have physicochemical and microbiological profiles during storage that comply with regulatory standards, demonstrating compliance with hygiene standards and guaranteeing consumer safety. In addition, the sensory evaluation carried out after storage revealed that the cheeses produced can be preserved during this period without any significant alteration of their organoleptic characteristics. In conclusion, the production of a cheese based on fennel leaves is feasible, promising an interest that is manifested for a possible expansion of its production on an industrial scale.

Key words: Leaves; *Foeniculum vulgare*; Properties; Cheese; Quality; Storage.