MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Réf : ……./UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière** : Sciences Biologiques
Spécialité : Biotechnologie Microbienne

Présenté par :

ARAB Chorouk et LARABI Thelleli

Thème

Evaluation de la qualité physicochimique, microbiologique et sensorielle d'un fromage fondu enrichi par Curcuma aromatica produit au niveau de la laiterie RAMDY

Soutenu le : 11 /07 / 2021 **Devant le jury composé de :**

Nom et Prénom	*Grade*		
Mme. IDER Djamila	*MAB.*	*Univ. de Bouira*	*Présidente*
Mme. MOURI-HADIDI Lila	*MCB.*	*Univ. de Bouira*	*Examinatrice*
Mme. YALAOUI-GUELLAL Drifa	*MCB.*	*Univ. de Bouira*	*Promotrice*

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

« Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail ».

En guise de reconnaissance, nous tenons à témoigner nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin au bon déroulement de ce travail.

On commence par exprimer notre profonde reconnaissance et nos vifs remerciements à notre promotrice ***Mme YALAOUI-GUELLAL Drifa****, Maître de conférences B à l'université de Bouira, qui nous a honorés en acceptant de diriger ce travail. Ses encouragements, ses efforts qu'elle a consenti et ses précieux conseils, et sur tout sa confiance tout au long de ce travail pour puisse avoir ce jour.*

Nos sincères considérations et nos vifs remerciements vont également aux membres du jury : ***Mme IDER Djamila*** *Maître Assistant B à l'université de Bouira, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury,* ***Mme MOURI-HADIDI Lila*** *Maître Assistant B à l'université de Bouira, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

Notre remerciement les plus sincère et les plus profond est adressé à Mr « ***BAATOUCHE Yousef*** *» le propriétaire de l'entreprise à SARL RAMDY de nous avoir ouvert les portes de son entreprise et d'avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires pour la réalisation de notre étude.*

Nos chaleureux remerciements vont aux ***Mr. MOUKRANI Lotfi*** *et* ***Mlle. AIT IDIR Souad*** *ainsi que* ***Mlle. ZEGGAN Yasmina*** *d'avoir nous suivis tout au long de notre stage au sein de la laiterie RAMDY.*

Sans oublier d'adresser nos remerciements au personnel du laboratoire de contrôle de qualité pour leur aide technique et scientifique également pour leurs conseils et gentillesse.

Nos sincères reconnaissances vont à tous ceux et celles, qui ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire.

...Merci !

Dédicace

Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu de m'avoir aidé à réaliser ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à : Mes chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les encouragements, prières et les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur ; Que dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit et soit le témoignage de mon amour.

A mes chères sœurs : Ouiam, Loundja, Marram, Feriel en témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A mes précieux trésors : ma nièce Diam et à mon neveu Makhlouf.

A Amazigh, merci énormément pour ton soutien plus que précieux et d'être là pour moi. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ta présence et ton amour.

A la lumière de mes jours : Simon, Ketty, Kellyn et Lilou que dieu vous garde pour moi.

A la personne la plus douce, gentille et modeste au monde, ma promotrice, Mme YALAOUI GUELLAL, aucun mot ne pourra exprimer votre valeur pour moi. Votre rencontre est un grand honneur.

A Mr LEBDIRI Farid qui nous a enseigné et a implanté des principes de bonté et de connaissance dans nos cœurs avant nos esprits.

J'adresse aussi mes dédicaces à mes amies avec qui j'ai passé des moments agréables, en particulier à : Vova, Thiziri, Fatima et Ryma.

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Je tiens à remercie ma binôme Thelleli.

A Toutes les personnes qui ont cru en moi, qui m'encouragent et qui me donnent toujours l'envie d'aller en avant.

Chorouk

Dédicace

Je tiens c'est avec grand plaisir que je dédié ce modeste travail,

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifier pour me voir réussir, à toi mon père « MOULOUD ».

A ma mère « MALIKA » pour son amour, et qu'elle m'a toujours accordé en témoignage de ma reconnaissance envers sa confiance, ses sacrifices et sa tendresse.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, à mon frère « ZYLALSEN » et sa femme « LYDIA » ainsi que son fils « RAMZY »

A mes chères sœurs « ZAHRA » et « KENZA » pour l'amour qu'elles me réservent.

A la personne la plus douce, gentille et modeste au monde, ma promotrice, Mme YALLAOUI GUELLAL, aucun mot ne pourra exprimer votre valeur pour moi, votre rencontre est un grand honneur.

A Mr LIBDIRI FARID qui nous a enseigné et a implanté des principes de bonté et de connaissance dans nos cœurs avant nos esprits.

J'adresse aussi mes dédicaces à mes amies avec qui j'ai passé des moments agréables : « Thiziri, Vouva et Chanez».

En particulier je dédie ce travail à ma très chère et meilleure amie « Yasmine Idahmanene »

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables qu'on a passé ensemble je tiens a passé mes dédicaces pour mon très cher binôme « Chorouk ».

Thelleli

Table des matières

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

Partie 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Le fromage..... 3
I-1-Généralité sur le fromage 3
I-1-1-Historique et origines des fromages 3
I-1-2-Définition du fromage 3
I-1-3- Composition du fromage 3
I-1-4-Technologie des fromages..... 4
I-1-4-1-Coagulation du lait..... 5
I-1-4-2-Egouttage 5
I-1-4-3-Moulage 6
I-1-4-4-Salage..... 6
I-1-4-6-Conditionnement et conservation 7
I-1-5-Divers types des fromages 7
I-1-5-1-Fromages frais 7
I-1-5-2-Fromages à pâtes molles 7
I-1-5-3-Fromages à pâtes dures 8
I-1-5-4-Fromages à pâtes filées 8
I-1-5-5-Fromages à pâtes pressées 8
I-1-5-6-Les fromages fondus 9
I-2-Le fromage fondu 9
I-2-1-Historique et définition du fromage fondu 9
I-2-2-Compossition du fromage fondu 10
I-2-2-1-Fromage de fonte 10
I-2-2-2-Poudre de lait 11
I-2-2-3-Eau 11
I-2-2-4-Pré-fonte 11
I-2-2-5-Sels de fonte..... 11
I-2-2-6-Matière grasse 12
I-2-2-7-Additifs alimentaires..... 12
I-2-4-Classification du fromage fondu 12
I-2-4-1-Selon la teneur en matière grasse..... 12
I-2-4-1-Selon la forme..... 12
I-2-5-Valeur nutritionnelle du fromage fondu..... 13
I-2-6-Contrôle de la qualité 14
I-2-6-1-Contrôle physico-chimique..... 14
I-2-6-2-Contrôle microbiologique 14
I-2-6-3-Contrôle organoleptique 15
I-2-7-Microflore du fromage 15
I-2-7-1-Flore naturelles 15
I-2-7-2-Flore d'altération 15
I-2-7-3-Flore de contamination 16
I-2-8-Défauts de fabrications..... 16
Chapitre II : Le curcuma 18
II-1-Historique..... 18
II-2-Etymologie 18
II-3-Classification systématique..... 19

II-4-Description de la plante 19
II-4-1-Rhizomes 21
II-4-2-Feuilles 21
II-5-Composition chimique 22
II-5-1-Les curcuminoïdes 22
II-5-1-1-La curcumine (C1) 22
II-5-1-2-Déméthoxycurcumine (C2) 23
II-5-1-3-Bis-déméthoxycurcumine (C3) 23
II-5-2-Huile essentielle 23
II-5-3-Autres constituants 24
II-6-Activités biologiques 24
II-6-1-Activité antioxydante 24
II-6-2-Activité anti-inflammatoire 25
II-6-3-Activité antibactérienne 26
II-6-4-Activité antifongique 26
II-6-5-Activité antivirale 26
II-6-6-Activité anti-tumoral 27
II-6-7-Activité anti-cancéreuse 27
II-6-8-L'activité anti-VIH 27
II-6-9-L'activité Antidiabétique 28
II-7-Usages à travers le monde 28
II-7-1-Usages courants 28
II-7-2-Médecine traditionnelle orientale 29
II-7-3-Usage thérapeutique en occident 31
II-7-3-1-Médicaments 31
II-7-3-2-Compliments alimentaires 32
II-7-3-3-Produits cosmétiques 32
II-7-3-4-Produits alimentaires 34
II-8-Effets toxiques 35
Partie 2 : Procédures expérimentales
Chapitre III : Matériels et méthodes 36
III-1-Objectif de l'étude 36
III-2-Présentation de l'organisme d'accueil 37
II-2-1-Historique de SARL RAMDY 37
II-2-2-Situation géographique 38
II-2-3-Infrastructure 38
III-3-Présentation de matériels 38
III-3-1-Matériels végétal 38
III-3-2-Matériels et équipements 39
III-4-Méthodes utilisées 39
III-4-1-Préparation de la matrice végétale 39
III-4-2-Analyses microbiologique de la matrice végétale 39
III-4-2-1-Préparation de la solution mère 40
III-4-2-2-Recherche des Entérobactéries 40
III-4-2-3-Recherche de *Staphylococcus aureus* 41
III-4-2-4-Recherche des *Clostridium* Sulfito-Réducteurs (CSR) 42
III-4-2-5-Recherche des levures et moisissures 42
III-4-3-Technologie de fabrication du fromage fondu selon la laiterie RAMDY 43
III-4-3-1-Préparation des matières premières 43
III-4-3-2-Mélange, cuisson et fonte 43
III-4-3-3-Conditionnement 43
III-4-3-4-Refroidissement 44
III-4-3-5-Etiquetage 44
III-4-3-6-Stockage et commercialisation 44
III-4-4-Incorporation de curcuma dans le fromage fondu 45

III-4-4-1-Fabrication de fromage fondu incorporé de Curcuma 45
III-4-4-2-Détermination de l'effet de l'incorporation de Curcuma 45
III-4-4-2-1-Analyses physicochimiques 46
III-4-4-2-2-Analyses microbiologiques 47
III-4-4-2-3-Analyses sensorielles 49
Chapitre IV : Résultats et discussions 51
IV-1-Analyses microbiologique de la matrice végétale 51
IV-1-1-Résultats avant la pasteurisation 51
VI-1-1-1-La recherche des Entérobactéries 51
VI-1-1-2-La recherche des *Staphylococcus aureus* 52
VI-1-1-3-La recherche des *Clostridium* Sulfito- Réducteur 52
VI-1-1-4-La recherche des levures et les moisissures 53
IV-1-2-Résultats après la pasteurisation 53
VI-2-Elaboration et analyses de fromage fondu incorporés par *Curcuma aromatica* 53
IV-2-1-Choix des doses d'incorporation 53
IV-2-2-Les analyses physicochimiques 54
IV-2-2-1-Suivi du pH 54
IV-2-2-2-Détermination de l'extrait sec total (EST) 56
IV-2-2-3-Détermination de l'humidité (H) 57
IV-2-2-4-Détermination du taux de la matière grasse (MG) 58
IV-2-2-5-Détermination du rapport de matière grasse /matière sèche (MG/MS) 59
IV-2-3-Analyses microbiologiques 60
V-2-3-1- Recherche des coliformes totaux et fécaux 62
IV-2-3-2-Recharche de *Staphylococcus aureus* 62
IV-2-3-3-Recherche des levures et moisissures 63
IV-2-4-Résultats d'analyses sensorielles 63
IV-2-4-1-La couleur 64
IV-2-4-2--L'odeur 65
IV-2-4-3--Le goût 66
IV-2-4-4--La texture 67
IV-2-4-5-Arrière-goût 68
IV-2-4-6-Les choix préférentiels des fromages 69
Conclusion 72
Référence bibliographique 74
Annexes 87
Résumé

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition de quelques fromages (par 100g de fromage).....**04**

Tableau 02 : Classification des fromages fondus.....**12**

Tableau 03 : Composition du fromage fondu.....**14**

Tableau 04 : Principaux levures et moisissures responsables d'altération dans le Fromage **16**

Tableau 05 : Principaux germes rencontrés en fromagerie.....**16**

Tableau 06 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager **17**

Tableau 07 : Les constituants de la poudre de *Curcuma aromatica* (pour 100g).....**24**

Tableau 08 : Spécialités contenant du curcuma, inscrit au VIDAL.....**33**

Tableau 09 : Compléments alimentaires contenant du curcuma.....**34**

Tableau 10 : Les échantillons de fromages préparés.....**45**

Tableau 11 : Résultats des analyses microbiologiques de la poudre de *Curcuma Aromatica* **51**

Tableau 12 : Résultats d'analyse microbiologiques des quatre échantillons de fromage fondu étudiés.....**61**

Tableau 13 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur la couleur.....**64**

Tableau 14 : les résultats de l'appréciation de l'odeur de nos fromages par les dégustateurs **66**

Tableau 15 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur le goût.....**67**

Tableau 16 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur la texture.....**68**

Tableau 17 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur l'arrière-goût.....**69**

Tableau 18 : Les résultats des choix d'appréciation de test hédonique des échantillons.....**70**

Liste des figures

Figure 01 : Quelques espèces de curcuma source curcumine.....**20**

Figure 02 : Aspect général de *Curcuma aromatica* (A) Cône fleuri dans son habitat naturel (B) Rhizome frais (C) Rhizomes réduit en poudre.....**20**

Figure 03 : Rhizome frais de *Curcuma aromatica*.....**21**

Figure 04 : Inflorescence de *Curcuma aromatica*.....**22**

Figure 05 : Structure chimique des principaux composés présents dans la poudre de *Curcuma aromatica*.....**23**

Figure 06 : Effets potentiel de la curcumine sur de nombreuses affections.....**29**

Figure 07 : Usage traditionnel de curcuma.....**31**

Figure 08 : Produit à base de curcuma.....**32**

Figure 09 : La composition de la poudre de curry.....**35**

Figure 10 : Organigramme de la méthodologie d'étude.....**36**

Figure 11 : Situation géographique de SARL RAMDY.....**38**

Figure 12 : Photographie des rhizomes de curcuma utilisé.....**39**

Figure 13 : Photographie de la solution mère.....**40**

Figure 14 : Processus de fabrication du fromage fondu selon la laiterie RAMDY.....**44**

Figure 15 : Les échantillons de fromage élaborés à différentes concentrations.....**45**

Figure 16 : La solution mère des différents échantillons de fromage élaborés.....**48**

Figure 17 : Evolution du pH durant la conservation des fromages fondus élaborés.....**54**

Figure 18 : Evolution du l'extrait sec total durant la conservation des fromages fondus élaborés.....**56**

Figure 19 : Evolution du l'humidité durant la conservation des fromages fondus élaborés....**57**

Figure 20 : Variation de la teneur en matière grasse des fromages fondus élaborés en fonction de temps.....**58**

Figure 21 : Variation du rapport de matière grasse/ matière sèche des fromages fondus élaborés en fonction de temps.....**59**

Figure 22 : Résultats de l'appréciation des produits selon la couleur.....**65**

Figure 23 : Résultat de l'odeur de nos échantillons.....**66**

Figure 24 : Résultat de gout de nos échantillons.....**67**

Figure 25 : Résultat de la texture de nos échantillons.....**68**

Figure 26 : Résultat de l'arrière-gout de nos échantillons.....**69**

Figure 27 : Résultats des choix d'appréciation des quatre échantillons.....**70**

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de normalisation.

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché.

BP : Baird Parker.

C : Carbone.

°C : Température en degrés Celsius.

C1 : Curcumine 1.

C2 : Curcumine 2.

C3 : Curcumine 3.

CA : *Curcuma aromatica.*

c.à.s : Cuillère à soupe.

CACQE : Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage.

CD4 : Cluster de Différenciation 4.

CDS : Cellules Dendritiques.

C. perfringens : *Clostridium perfringens*.

CSR : *Clostridium* Sulfito-Réducteurs.

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène.

ES : Extrait sec.

EST : Extrait Sec Total.

Etc : Etcetera.

Ex : Exemple.

FAO : Food and Agriculture Organization.

g : gramme.

H : Humidité.

h : heur.

H1N1 : Virus de la grippe A.

H6N1 : Virus de la grippe A.

HSV-1 : Virus Herpès Simplex-1.

J : Joule.

JOA : Journal Officiel de la république Algérienne.

kcal : Kilocalorie.

kg : Kilogramme.

Km : Kilomètre.

L : Litre.

MG : Matière grasse.

MS : Matière Sèche.

mg : milligramme.

min : minute.

ml : millilitre.

mm : millimètre.

N° : Numéro.

ND : N déterminé.

O : Oxygène.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

® : Symbole de marque déposée.

R : Rapport**.**

rpm : rotations par minute.

SARL : Société à Responsabilité Limitée.

spp. : *species pluralis :* plusieurs espèces (non identifiées).

S. aureus : *Staphylococcus aureus.*

TIAC : Toxi-Infections Alimentaire Collectives.

TIACs : Toxi-Infections Alimentaire Collectives due à *Staphylococcus.*

UFC : Unité Formant Colonie.

µg : Microgramme.

µM : Micromolaire.

VF : Viande-Foie.

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine.

VRBG : Violet Red Bile Glucose.

VRBL : Violet Red Bile Lactose.

% : Pourcentage.

RN : Route Nationale.

USA : United States of America.

Introduction

Les végétaux ont été utilisés par l'homme depuis l'antiquité comme remède, épice, colorant et comme poison pour la guerre et la chasse. Près de 80% de la population mondiale a recours aux plantes médicinales par manque d'accès aux médicaments prescrits (Benaissa, 2011).

Les plantes médicinales constituent un composant fondamental pour l'avenir du système de santé dans le monde, elles possèdent des propriétés médicamenteuses qui ont souvent une réelle efficacité contre plusieurs maladies, elles sont donc une matière première naturelle servant à la fabrication des médicaments (Abayomi, 2010). Le curcuma est l'un de ces plantes médicinales le plus répondus en monde ; qui représente une source de métabolites secondaires, biologiquement actifs, telles que les activités antimicrobienne, anti-inflammatoire et anti-oxydante (Lonchampt, 2002).

Le fromage fut, à son origine, un mode de conservation du lait ou du moins des éléments susceptibles d'être conservé au prix de fermentations que l'homme a appris à diriger (Eck et Gillis, 2006).

Le fromage fondu est un aliment riche en protéines et en minéraux. La technologie de deuxième transformation issue du fromage, lui-même issu du lait, permet de garantir une conservation plus longue. C'est encore aujourd'hui un type de fromage, fromage fondu, particulièrement adapté aux habitudes de consommation : de texture souple à tartinable, au goût doux légèrement fromager, c'est un produit laitier à part entière d'une grande sécurité microbiologique et joue un rôle très important d'alimentation de tous les groupes d'âge, offrant une praticité d'utilisation, largement consommé à travers le monde et notamment par les enfants (Eck et Gillis, 2006; Richonnet, 2016).

Une altération de la qualité hygiénique de fromage met en cause la santé du consommateur, cette dernière est généralement invisible, elle est due à un développement de microorganismes pathogènes responsables d'intoxications alimentaires de gravités diverses. Une autre altération de la qualité marchande du fromage modifie ses caractéristiques organoleptiques (altération du goût, rancissement), cette altération bien que non dangereuse pour le consommateur, rend ce produit non commercialisable (Bouix et Leveau, 1984).

Ces dernier années les industries alimentaires cherchent à envisagés des nouveau produits, en utilisant des plantes médicinale possèdent des profils de composition chimique différents permettant de les utiliser comme agents naturels de conservation des aliments, les aromatisés et d'améliorer les variétés et la qualités nutritionnelle des produits dans le marché

(Holley et al., 2005). Le fromage fondu est souvent consommé sous sa forme nature ou additionné de certains ingrédients tels que l'ail, le persil et les fines herbes pour but d'augmenter la qualité nutritionnelle et marchande de cet aliment.

Dans cette optique notre travail a été mené au sein de la laiterie RAMDY, BEJAIA, afin de formuler un nouveau produit laitier à base de curcuma.

Cette étude s'articule sur deux parties :

La première partie concerne l'étude bibliographique qui est subdivisée en deux chapitres, le premier chapitre est consacré aux connaissances générales sur les fromages en particulier le fromage fondu ; le deuxième chapitre décrive le curcuma, sa composition, ses activités et ses applications.

La deuxième partie est consacrée à la partie expérimentale, elle contient deux chapitres, le chapitre trois présente une description des matériels et méthodes utilisés dans notre travail pour la formulation d'un fromage fondu enrichi par le curcuma au sein de la laiterie RAMDY ; Le quatrième chapitre de cette étude est réservé à la présentation et discussion des résultats obtenue concernant les analyses physicochimique, microbiologique et sensorielle de fromage fondu enrichi.

Nous terminerons cette étude par une conclusion générale énumérant les principaux résultats obtenus et les perspectives projetées dans l'avenir suivie par des références bibliographiques et des annexes.

Partie I:
Recherche bibliographique

Chapitre I

Chapitre I : Le fromage

I-1-Généralité sur le fromage

I-1-1-Historique et origines des fromages

Le mot fromage dérive du latin "*formaticum*" qui veut dire "ce qui est fait dans une forme" (Dulor, 2002).

La première occurrence de l'utilisation du fromage comme aliment est inconnue, les technologues tiennent preuve que l'homme connue depuis longtemps ce phénomène de coagulation du lait depuis la découverte sur les rives du lac Neuchâtel (en Suisse) des moules à caillé depuis 5000 an avant Jésus Christ, cependant l'origine exacte de la transformation du lait en fromage est incertaine, s'entend pour dire que le fromage serait originaire du sud-ouest asiatique et daterait d'environ 8000 ans. Les romains auraient simulés le développement de nouvelles variétés durant leur invasion de l'Europe entre 60 ans avant Jésus Christ et 300 ans après Jésus Christ, leur influence est reflété dans l'étymologie ; en effet le mot latin caseus, signifiant fromage est la racine donnera le mot caséine en français, nom qui désigne protéine coagulable du lait (Gelais et al., 2002; Katz et Weaver, 2003).

I-1-2-Définition du fromage

Selon la norme Food and Agriculture Organization (FAO), le fromage est défini comme étant le produit affiné ou non affiné, de consistance molle, dure, semi dure, ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel :

- Le rapport protéine de lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait ;

- Il est obtenu par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulantes appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation (FAO, 1996).

I-1-3- Composition du fromage

Le fromage présent un groupe alimentaire très hétérogène dont la constitution est très variable selon la qualité de matière première utilisée ou selon la technique de fabrication. Les compositions des fromages sont dues aux constituants énergétiques tels que les protéines, les sels minéraux, les vitamines, l'eau et les lipides (Eck, 1987). La composition de certains fromages est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition de quelques fromages (par 100g de fromage) (Scott et al., 1998).

fromages / Composés	Parmesan	Cheddar	Edam	Cottage	Feta
Eau (g)	18,4	36	43,3	79,9	58
Protéines(g)	39,4	25,2	6	14	20
Lipides(g)	32,7	34,4	25,4	4	21
Cholestérol (µg)	100	100	80	13	70
Energie (kcal)	452	412	33	98	250
Vitamines (µg)					
Vitamine A (µg)	345	325	175	/	/
Vitamine D (µg)	0,25	0,26	0,19	0,03	0,5
Vitamine E (µg)	700	480	480	80	370
Minéraux (mg)					
Sodium (mg)	1090	670	1020	380	1440
Potassium (mg)	110	77	97	89	95
Calcium (mg)	1200	720	770	73	360
Magnésium (mg)	45	25	39	9	20
Phosphore (mg)	810	490	530	160	280
Zinc (mg)	5,3	2,3	2,2	0,6	0,9
Sulfure (mg)	250	230	/	/	/
Chlorides (mg)	1820	1030	1570	550	2350

I-1-4-Technologie des fromages

Le fromage correspond à une véritable conserve alimentaire, obtenue grâce à l'action conjuguée de l'élimination de l'eau du lait et de la récupération des matières sèches. Le fromage peut être assimilé à une concentration des éléments majeurs du lait (protéine, matière grasse), réalisée par égouttage d'un coagulum obtenu par acidification et/ou action d'une enzyme (Madjoudj, 2018).

I-1-4-1-Coagulation du lait

La coagulation du lait correspond à une modification physico-chimique des micelles de caséine sous l'action d'enzymes protéolytiques et/ou d'acide lactique, d'où la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel. Les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement, suivant que ces modifications ont induites par acidification ou par action d'enzymes coagulantes ou encore par l'action combinée des deux (Eck et Gillis, 1997). Trois voies de coagulation du lait ont été décrites :

a-Par voie acidifiante

La coagulation du lait par voie acide est procurée par l'acide lactique d'origine bactérienne, qui change le lactose en acide lactique. La diminution de pH du lait de fromagère adhère avec la production d'acide, ce qui provoque une solubilisation de phosphate et du calcium, un élément essentiel dans la stabilité des micelles de caséine. Ces dernières vont s'accoler entre-elles et composer un gel cassant très ébouleux et peu flexible. La teneur en protéines agit sur la coagulation acide ; un caillé lactique plus ferme sera formé à partir d'un lait riche en protéines. L'acide lactique produit par la fermentation diminue le pH à 4,6 (Lapoint, 2002).

b-Par voie enzymatique

La coagulation du lait par voie enzymatique s'attestée par divers type d'enzymes protéolytique, d'origine animale (présure), végétale (la cyprosine et la cardosine) ou microbienne (*Cryphonectria parasitica)* (Veisseyre, 1975 ; Mietton, 1995). Les facteurs influençant la coagulation sont nombreux : la composition du lait, la concentration en enzymes, la température d'emprésurage et les traitements technologiques (Vetier et al., 2000).

c-Par voie mixte

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différentes états d'équilibre spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâte pressée non cuite (Medjoudj, 2018).

I-1-4-2-Egouttage

Le gel formé par acidification ou par action de la présure est dans un état physique instable. Selon la nature du coagulum, plus ou moins rapidement, la phase dispersante se sépare spontanément du coagulum sous forme de lactosérum liquide jaune pâle. L'élimination

progressive du lactosérum (par synérèse) s'accompagne de la rétraction et d'un durcissement du gel. Il conduit à un caillé dont l'extrait sec est plus ou moins élevé, et qui correspond au fromage formé (Boutonnier, 2012 ; Bennett et Johnston, 2004).

L'égouttage est le résultat de deux phénomènes physiques différents : la synérèse, qui est due à la contraction du gel ; un phénomène passif, résultant de l'aptitude du coagulum à laisser s'écouler le lactosérum occlus ; cette exsudation spontanée du sérum, liée à la perméabilité du coagulum, est une des caractéristiques des gels lactiques (Leksir, 2018).

La séparation du lactosérum s'accompagne d'une ségrégation des différents composants originels du lait : la plus grande partie de lactose et du l'eau ainsi qu'une petite fraction de la matière grasse et des protéines sont éliminées par le sérum ; la plus grande partie des protéines et de la matière grasse est retenue par le coagulum, dont l'extrait sec croît progressivement à mesure de l'élimination du sérum (Ramet, 1985).

I-1-4-3-Moulage

Le moulage consiste à mouler le caillé à la louche en plusieurs passes dans des faisselles (Mahaut et al., 2000). Le moulage et le retournement permettent de donner la forme au fromage et de poursuivre l'élimination du lactosérum (Lapoint, 2002).

I-1-4-4-Salage

Pour la plupart des fromages, une opération de salage entre l'égouttage et l'affinage est indispensable. Cette phase consiste à enrichir la pâte fromagère en chlorure de sodium (Veisseyre, 1975). Le salage s'effectue par deux méthodes : salage avec sel fin ou gros et salage en saumure qui est plus régulier car il permet d'économiser des quantités importantes en sel (Goudédranche et al., 2008).

I-1-4-5-Affinage

L'affinage est un phénomène très complexe, chaque type de fromage est caractérisé par son propre mécanisme d'affinage. C'est la phase finale de la fabrication fromagère qui correspond à l'élimination d'une partie d'eau, la formation d'une croute, la libération des substances aromatiques par la protéolyse et la lipolyse (Veisseyre, 1975).

I-1-4-6-Conditionnement et conservation

L'emballage du fromage doit assurer une protection contre les agents extérieurs (contaminations des microbes, des infections...) il a pour objectif de régler les échanges avec le milieu extérieur, de la chaleur et de gaz (Eck, 1997).

Les fromages présentent le conditionnement le plus varié. Selon le type, on utilise le papier, les pellicules cellulosiques, l'aluminium et les matières plastiques (Veisseyre, 1975).

Le stockage des portions logées dans des cartons, doit être réalisé au froid (4 à 10°C).La durée de stockage varie avec les types de fromage, le degré de maturation et l'hygiène de manipulation (Boularak, 2005).

I-1-5-Divers types des fromages

Il existe une multitude de variétés des fromages, qui sont classés en différentes catégories, selon certains critères tels que l'espèce animale la teneur en eau et la technologie de fabrication. Selon ce dernier, les fromages sont classés en 6 grandes classes (Mahaut et al., 2000) :

I-1-5-1-Fromages frais

Les fromages frais ne sont pas affinés, sont traditionnellement a égouttage lent, fabriqués à partir de la crème ou de lait, ils résultent de la coagulation à prédominance lactique du lait, combinant souvent l'action des ferments lactiques à celle de la présure (Mahaut et al., 2000).

Ces caillés restent très humides (75%-80%) et sont peu minéralisés ; la pâte à un pH bas (4,3 - 4,5), n'a pas de cohésion et se prête à la fabrication de fromage sans forme ou de format réduit et de courte conservation (Abakar, 2012), Ex : Ricotta.

I-1-5-2-Fromages à pâtes molles

Les fromages à pâtes molles sont des fromages affinés ou non, ayant éventuellement subi indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations, et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée (Taleb ben diab, 2017). Dans ce groupe extrêmement diversifié s'y trouve le camembert (à croute fleurie) ; le Munster (à croute lavée) ; le Roquefort (à pâte molle persillée) ; fromage au lait de chèvre et au lait ultra filtré (pavé d'affinois).

I-1-5-3-Fromages à pâtes dures

Leur teneur en extrait sec varie entre 64% et 72% et leur durée de conservation peut atteindre 2 à 3 ans et en font de véritables fromages de garde. Leur technologie se rapproche de celle des pates pressés cuites : le tranchage est poussé et le brassage est effectué à chaud pendant 1 à 2h avec une montée en température de 55°-58°C, ce qui permet d'atteindre l'extrait sec recherché .La croute est séchée et brossée régulièrement parfois huilée (Evette, 1975). Les principaux représentants sont d'origine italienne (Parmesan, Asiago, Grana padano) et suisse (Sbrinz).

I-1-5-4-Fromages à pâtes filées

Les fromages à pâtes filées sont des fromages typiques d'origine Italienne ; traditionnellement fabriqués avec du lait d'hiver, conférant à la pâte une couleur blanche recherchée. Ils peuvent être fabriqués avec du lait de brebis, de chèvre ou de vache, comme le Provolone ou Caciocavallo mais aussi du lait de bufflonne pour la Mozzarella (Le Jaouen, 1993).

I-1-5-5-Fromages à pâtes pressées

Il s'agit des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage (GEMRCN, 2009).On distingue deux sous catégories :

a-Pâtes pressés cuites

Ce sont des fromages à pâtes pressés dont le caillé a subi un chauffage supérieur ou égale à 50 °C pendant moins d'une heure afin de l'affermir au moment de son tranchage (GEMRCN, 2009); le résultat est une pâte compacte ornée parfois d'une croute résistante et dont la texture peut être tendre ,ferme, moelleuse , ou très granuleuse comme dans le cas du Gruyère et le Parmesan (Branchet, 2013).

b-Pâte pressés non cuites

Ce sont des fromages fabriqués à partir de lait de vache ou de brebis et qui peut être cru ou pasteurisé ,dont le mélange caillé-sérum chauffé à une température inférieur à 50°C (GEMRCN, 2009) ce qui leur donne une consistance dense et une couleur jaune pâle comme le Cheddar.

I-1-5-6-Les fromages fondus

Il s'agit de préparations fromagères fabriquées à partir d'autres fromages que l'on broie puis remet à fermenter ou dont on a fondu ensemble la pâte. Après coupage et le broyage de vieux morceaux de fromage immangeables, ou les trempait dans un liquide afin de déclencher une deuxième fermentation (Evette, 1975).

Actuellement, les entreprises laitières en mélangeant des fromages affinés et frais, additionnés éventuellement à du lait, crème, beurre, lactosérum, caséine et d'autres ingrédients (épices, jambon, aromates…Etc.) parviennent à produire plusieurs saveurs. Depuis presque une décennie, aux raisons de marketing intensive, les fromages fondus à base des pâtes fraiches ont envahi le marché (Evette, 1975).

Exemples : Cancoillotte, Fromage aux noix, Crème de Brie de Meaux, La vache qui rit (depuis 1921), Vache Grosjean (depuis 1926), Kiri, Société Crème.

Pour toutes ces pâtes, aujourd'hui il est possible de trouver des fromages allégés en matière grasse. Cette offre correspond à une demande plus générale des consommateurs de produits contenant peu de graisse. Le fromage n'échappe pas à ce phénomène. Cependant les fromages allégés ne sont pas aussi savoureux. Les matières grasses jouent un rôle dans la texture du fromage et contiennent les éléments chimiques qui donnent pour chaque fromage son caractère et ses saveurs particulières (Ouari, 2017).

Le fromage le plus consommé est le fromage fondu. Les Algériens en consomment plus de 20 000 tonnes l'année. Le fromage en portions se taille la part du lion. Ce qui explique cette tendance à la consommation, c'est le facteur de conservation de longue durée du fromage fondu qui n'a pas besoin d'une chaîne de froid. Et il reste également le moins cher (Ouari, 2017).

I-2-Le fromage fondu

I-2-1-Historique et définition du fromage fondu

La possibilité de produire le fromage fondu a été traitée pour la première fois en 1890 en Allemagne. Les sels de fonte n'étaient pas utilisés et le produit n'a pas réussi. Le premier fromage fondu réussi, dans lequel les sels de fonte ont été utilisés, était introduit en Europe en 1911 et aux USA en 1916 (Mayer, 1973).

L'intérêt de fondre des fromages provenait à l'époque des difficultés qu'il y avait à ralentir ou stopper leur maturation, du fait de l'absence de possibilité de stockage en chambres froides (Eck, 1987).

Le fromage fondu est un produit obtenu par la fonte d'un fromage ou d'un mélange des fromages frais ou affinés additionnés éventuellement d'autres produits laitiers comme le lait, beurre ,crème ,caséine ,lactosérum et d'autres ingrédients comme les épices et les aromates (Fredot, 2009).

D'après Fox et Mcsweenny (1998), la fonte des fromages présente plusieurs avantages entre autres :

- ✓ Une certaine quantité de fromage qui est difficile ou même impossible à commercialiser peut être employée ;
- ✓ Le mélange de différentes variétés de fromage et d'autres matières premières non laitières permet de donner des fromages fondus différents du point de vue consistance, flaveur et forme ;
- ✓ Les fromages fondus ont une stabilité à la conservation sous des températures modérées, ce qui réduit le coût de stockage et du transport (Christensen et al., 2003) ;
- ✓ Ces fromages sont plus stables que les fromages naturels pendant le stockage ;
- ✓ Une valeur nutritionnelle excellente, spécialement comme source de calcium et de protéines pour les enfants, et bonne aptitude à la satisfaction des besoins nutritionnels s'ils sont enrichit en vitamines et en minéraux (Zhang et Mahoney, 1991) ;
- ✓ Les fromages fondus sont attractifs pour les enfants qui refoulent les flaveurs poussées des fromages naturels.

I-2-2-Compossition du fromage fondu

I-2-2-1-Fromage de fonte

Le choix des fromages utilisés se fait entre le Gruyère, le Cheddar, l'Emmental, la Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée en se basant sur le type, la flaveur, la consistance, la maturité, la texture et l'acidité (Chambre et Daurelles, 1997).

I-2-2-2-Poudre de lait

Les poudres de lait qui sont des produits résultant de l'élimination partielle de l'eau du lait sont divisées en trois groupes : poudre de lait entière, poudre de lait partiellement écrémé et poudre de lait écrémé (Claude et al., 2002).

I-2-2-3-Eau

Elle joue un rôle important dans la préparation des aliments, elle intervient comme matière première ; il faut qu'elle soit potable (Adjelane, 2018).

I-2-2-4-Pré-fonte

Il s'agit de fromage déjà fondu qui résulte de la récupération de la pâte contenue dans différents endroits du circuit de la production. En pratique lorsqu'elle était refondue, la pâte crème très fortement et transmet ce processus physico-chimique de modification de la structure au fromage fraichement fondu auquel elle est ajoutée (Adjelane, 2018).

I-2-2-5-Sels de fonte

Les sels de fonte sont des agents très importants pour la fabrication des fromages fondus, ils sont d'ailleurs à l' origine de la fonte. À ce jour les phosphates et les citrates sont pratiquement les seuls sels de fontes utilisés (Chambre et al., 2004).

Selon Veisseyre (1975), le rôle des sels de fonte dans la fabrication du fromage fondu est :

a-Ajustement du pH

Le pH est ajusté dans une gamme allant de 5,4 à 5,8 selon les propriétés recherchées.

b-Solubilisation des protéines et séquestration du calcium

La capacité des sels de fonte à solubiliser la caséine dépendent essentiellement de sa capacité à échanger le calcium du produit laitier contre le sodium qui le contient initialement.

c-Fonction antimicrobiennes

Il ne s'agit pas d'un effet bactéricide (les phosphates ne détruisent pas les micro-organismes) mais plutôt, d'un effet bactériostatique (Berger et al., 1993). Les phosphates sont également reconnus comme de bons inhibiteurs de la germination des spores, la production de toxines botuliques (Gaucheron, 2004).

I-2-2-6-Matière grasse

L'incorporation de matière grasse laitière est fréquente afin d'ajuster la teneur finale en matière grasse du produit et lui conférer les qualités organoleptiques notamment aromatique agréables. Elle se fait essentiellement sous forme de beurre, de crème ou autres présentations commerciales (Eck et Gilis, 1997).

I-2-2-7-Additifs alimentaires

Ce sont des agents de sapidité, colorants, agent de texture et conservateurs utilisés de manière limitée, selon le type de fromage fondu (Boutonnier, 2000).

I-2-4-Classification du fromage fondu

Les fromages fondus peuvent être classés selon leur teneur en matière grasse ou selon leur forme (DFI, 2016).

I-2-4-1-Selon la teneur en matière grasse

Les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec (MG/ES) (DFI, 2016), le tableau suivant précise une moderne classification des fromages :

Tableau 2 : Classification des fromages fondus (DFI, 2016).

Catégorie selon la teneur en MG	Teneur minimale MG/ES en g/kg	Fromage fondu ES minimal en g/kg	Fromage fondu à tartiner ES minimal
-Double crème	650	530	450
-Trois quarts gras	350	450	400
-Demi gras	250	400	300
-Quart gras	150	400	300
-Maigre	Moins de 150	400	300
-Crème	550	500	450
-Gras	450	500	400

I-2-4-1-Selon la forme

Selon Boutonnier (2000), sur le marché mondial les produits issus de la fonte des fromages peuvent être regroupés en cinque familles :

a-Bloc

C'est le plus ancien des fromages fondus. L'extrait sec totale est relativement élevé dans le rapport MG/ES. Il a une consistance ferme et une bonne élasticité. Le coulage s'effectue sous forme de blocs de poids différents, mais aussi de plus en plus sous forme de tranche.

b-Coupe

Moins ferme que le bloc, il n'est pas pour autant tartinable, il contient trois à quatre points de moins de matière sèche, ce qui le rend plus agréable à la dégustation.

c-Tartinable

Ce type de fromage nécessite un crémage important par rapport au fromage fondu en bloc, ceci a permis d'augmenter de 10% la teneur en eau et d'obtenir un produit a consistance comparable à celle du beurre. De plus l'extrait sec relativement faible et la teneur élevé en matière grasse permettent des fontes relativement faciles.

d-Toastable

Originaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranche adaptées à une utilisation dans les cheeseburgers,...Etc.

e-Thermostable

C'est un fromage fondu qui ne peut pas être refondu, il est coupé sous forme de dés. Il accompagne d'autres aliments comme ingrédient tel que les pâtes. Ce genre de fromage ne change pas de goût et de valeur nutritionnelle après la cuisson.

I-2-5-Valeur nutritionnelle du fromage fondu

La spécialité fromagère comporte toutes caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Elle apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire comme le démontre le tableau 03. C'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines,...Etc.) (Meyer, 1973).

Tableau 03 : Composition du fromage fondu (Meyer, 1973).

Composants	Composition par 100g de fromage fondu
-Eau	48 g
-Lipides	22 g
-Glucides	2,5 g
-Protéines	18 g
-Calcium	680 mg
-Sodium	1650 mg
-Vitamine A (2/3 mg)	1200 mg

I-2-6-Contrôle de la qualité

Les contrôles effectués dans les laboratoires au sein des industries ont pour but d'analyser les matières premières et les produits finis. Ils sont réalisés à chaque étape de la production afin de pouvoir corriger à n'importe quel moment en cas d'un problème (Adjelane, 2018).

I-2-6-1-Contrôle physico-chimique

Consiste à mesurer les différentes paramètres tels que le pH, la matière grasse, l'extrait sec des matières usagées y'a compris le produit fini, afin de les comparer aux normes exigées (Adjelane, 2018).

I-2-6-2-Contrôle microbiologique

Selon Benyahia et Hamdadou (2008), ce type de contrôle vise :

- ✓ D'une part à contrôler l'absence de germes ayant des incidences technologiques défavorables
- ✓ D'autre part à vérifier l'absence des germes pathogènes et la présence en nombre limité des micro-organismes indicateurs d'hygiène.

Il s'agit des levures, des spores et des microorganismes tels que les coliformes, les salmonelles et les staphylocoques.

I-2-6-3-Contrôle organoleptique

Les caractéristiques organoleptiques dépendent du jugement de certaines qualités en rapport avec le consommateur (Benyahia et Hamdadou, 2008) ; Entre autres :

-Aspect externe : couleur, brillance,...Etc.

-La texture : mastication, tartinabilité,...Etc.

-La flaveur : olfaction et goût.

I-2-7-Microflore du fromage

Les microorganismes des fromages ont différent origines : le lait, l'atmosphère, le matériel utilisé, la saumure..., ils représentent une population d'environ 10^6 cellules par gramme (Leyral et Vierling, 2007).

La composition microbiologique du fromage dépend de celle du lait utilisé, du processus de fabrication et de l'âge du fromage (Ercolini et al., 2009).

I-2-7-1-Flore naturelles

- **Bactéries :** Généralement, elle est dominée par les bactéries lactiques en l'occurrence les *Lactococcus* et les *Enterococcus* qui influencent les caractéristiques sensorielles du produit fini (Randazzo et al., 2009).
- **Levures :** Les levures sont retrouvées de manière plus importante à la surface des fromages (à pâte molle notamment) qu'à l'intérieur, tel que *Kluyveromyces, Geotrichum candidum, Debaryomyces, Candida, Yarrowia* (Hermier et al., 1992).
- **Moisissures :** Elle joue un rôle très actif dans l'affinage de certaine fromage comme : *Penicillium camembertii* et *Geotrichum* (camembert), *Penicillium roquefortii* (fromage à pâte persillée), *Mucor*, *Penicillium caseicolum* (fromage de brie) (Leyral et Vierling, 2007).

I-2-7-2-Flore d'altération

Levures et moisissures : Certaines levures et moisissures peuvent se manifester dans le fromage (tableau 4), mais la quantité de toxines produites est trop faible pour provoquer des intoxications (Le Jaouen, 1993).

Tableau 04 : Principaux levures et moisissures responsables d'altérations dans les fromages (Le Jaouen, 1993).

Micro-organismes	Origines
- *Scopulariopsis fusca*	-Papier, emballage
-*Trichosporon penicillatum*	-Air
- *Penicillium brevicompactum*	-Terre, bois, liège, emballage.
-*Penicillium funiculosum*	-Stores, matériel, lait, eau, air.
-*Geotrichum candidum*	-Défaut d'égouttage, de salage du fromage, implantation insuffisante du pénicillium.
-*Mucor, Rhizopus,* ...Etc.	-Bois, liège, stores, matériel, lait, eau, air.

I-2-7-3-Flore de contamination

Les germes pathogènes provoquant des risques que comporte leur présence dans les produits (tableau 05).

Tableau 05 : Principaux germes pathogènes rencontrés en fromagerie (Le Jaouen, 1993).

Nom de la bactérie	Effets
- *Escherichia coli*	-Toxi-infection, gastro-entérite
-*Listeria monocytogenes*	-Listériose, toxi-infection
- *Salmonelle spp*	-Toxi-infection, gastro-entérite
-*Staphylocoques pathogènes*	-Intoxication
-*Clostridium perfringens*	-Toxi-infection
-*Bacillus cereus*	-Intoxication
-Germes dits banaux mais charge importante	-Intoxication

I-2-8-Défauts de fabrications

Au cours du processus technologique, quelques défauts technologiques peuvent apparaitre (tableau 06).

Tableau 06 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager (Berger et al, 1993).

Aspect de la pâte	Origines possibles	Remèdes
La pâte n'est pas homogène	-Le pH faible, et sa valeur dépend de la matière première employée (ex : Emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar).	-Augmenter le pH.
	-La teneur de sel de fonte est faible.	-Augmenter la dose.
	Le temps de cuisson étant court.	-Augmenter le temps.
Le fromage fondu liquide	-La matière première utilisée n'est pas affinée, n'arrive pas à crémer ou à l'inverse, est trop vielle et ne gonfle pas.	-Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée.
	-Les sels de fonte employés n'étaient pas crémants.	-Mettre un sel de fonte crémant.
	-Le mélange contient une quantité élevée d'eau.	-Vérifier la qualité d'eau.
La pâte forme des fils	-L'emploi des sels n'est pas adéquat.	-Augmenter la dose de sel.
	-Temps de fonte court.	-Augmenter le temps.
	-Brassoir d'une vitesse faible.	-Augmenter la vitesse des brassoirs.
A l'ouverture des pétrins la pâte est trop molle	-pH élevé.	-Diminuer le pH.
A l'ouverture des pétrins la pâte est relativement épaisse	- pH faible.	-Augmenter le pH.
Un gout prononcé de fromage	-Cela tient dans la plupart des cas, a un emploi élevé du fromage trop vieux ou une valeur élevé du pH.	-Si c'est possible de mélangé la matière première a un fromage plus jeune. -Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le gout indésirable.

Chapitre II

Chapitre II : Le curcuma

II-1-Historique

Le curcuma est l'une des épices qui fait l'objet d'échanges commerciaux depuis tellement longtemps qu'on ne peut déterminer avec certitude son origine. On pense cependant qu'il vient du Sud ou du Sud-est de l'Asie, peut-être plus précisément de l'Inde, d'où il se serait répandu dans toute l'Asie, de même qu'au Moyen-Orient et au Proche, il y a des milliers d'années (Penso, 1986). Son emploi, en Afrique, en Asie et au Proche et Moyen-Orient, remonte à plus de 4000 ans. Dès cette époque, le curcuma est utilisé en tant qu'épice, mais aussi comme un colorant de plusieurs aliments, tels que la moutarde et le cari, de même que dans la production de cosmétiques, de médicaments et de teintures (Perry, 2008).

Le curcuma serait connu en Chine depuis très longtemps puisque le plus vieux traité de médecine chinoise, le Pen-Tsao de Sheng Nung écrit vers 2600 avant Jésus Christ, le mentionne dans le traitement des douleurs rhumatoïdes (Penso, 1986). L'usage du curcuma en Inde serait apparu en tant que substitut de safran et autres poudres jaunes apportées par les anciens aryens lorsqu'ils envahirent cette partie du continent asiatique vers 2000 avant Jésus Christ (Perry, 2008).

De l'Est, il passe par la voie commerciale en Grèce. Dioscorides, médecin hellène, décrit la curieuse épice comme "kupeiros ex India" : cyperus ou souchet des Indes ; ça couleur jaune lui fait croire à tort à des propriétés identiques à celles du safran. Une grande confusion de termes s'installera, pendant centaines d'années, tandis que les marchands arabes introduisent largement ce produit. Ainsi au 18ème siècle P.Pomet écrira : " La terra mérita que quelques-uns appellent curcuma et d'autres safran ou souchet des Indes, ou de Malabar ou de Babylone, est une racine presque semblable au gingembre " (Delaveau, 1987). Depuis 1450, il figure sur la liste des produits exotiques transitant par Francfort, à côté du gingembre et la zédoaire (Hombourger, 2010).

II-2-Etymologie

Le mot curcuma est d'origine irano-indienne. Il dérive du sanscrit "kartouma" qui a donné en persan ancien "kurkum", "kourkoum" en arabe et curcuma en latin (Delaveau, 1987). A cette dernière forme qu'il est passé dans les langues européennes, le "c" se transformant parfois en "k" dans les langues germaniques, et "turmeric" en anglais. C'est d'ailleurs la langue anglaise qui a conservé l'origine de son appellation en latin médiéval,

"terra merita" (terre mérite) par le mot "turmeric".Notons que sa couleur jaune Intense le fait parfois nommer, bien à tort, safran des Indes et safran cooli (Delaveau, 1987).

II-3-Classification systématique

D'après la classification systématique de Carl Von Linné, (Daniel, 2015) le curcuma appartient au :

Règne : Végétal

Division : Magnoliophytes

Classe : *Liliopsida*

Ordre : *Zingiberales*

Famille : *Zingiberaceae*

Genre : *Curcuma*

Le genre de curcuma regroupe environ 80 espèces (Guldner, 1986), des espèces ornementales et d'autres se sont démarquées par l'utilisation de leur rhizome, aux propriétés culinaires et médicinales. Parmi ces espèces (Figure 01), *Curcuma longa Linné* le plus étudié et le plus utilisé ; mais on retrouve également *Curcuma aromatica, Curcuma xanthorriza Roxburgh* dit temoelawak et la zédoaire, décrite sous le nom de *Curcuma zedoaria Roscoe* ou *Curcuma zerumbet Roxburgh* (Delaveau, 1987).

Parmi ces espèces citées, seul *Curcuma aromatica* (CA) nous intéresse. Il peut être désigné sous divers synonymes tel que curcuma sauvage, zédoaire jaune, Jonglihaldi ou Haruukan en japonais (Kojima et al., 1998). C'est un espèce qui occupe la deuxième place parmi les curcumines largement utilisées à côté du curcuma commun (*Curcuma longa*) (Sikha et al., 2015).

II-4-Description de la plante

Curcuma aromatica (CA) c'est une plante vivace à tige courte (Figure 02), largement distribué dans les régions tropicales et subtropicales et principalement cultivé pour ses rhizomes principalement en Inde, en chine et au Japon (Al-Reza et al., 2010; Shika et al., 2015). La plante pousse vite, sauvage et vigoureusement pendant la saison de la mousson (Jean, 2010). En pleine croissance la plante peut atteindre une hauteur d'environ un mètre (Al-Reza et al., 2010).

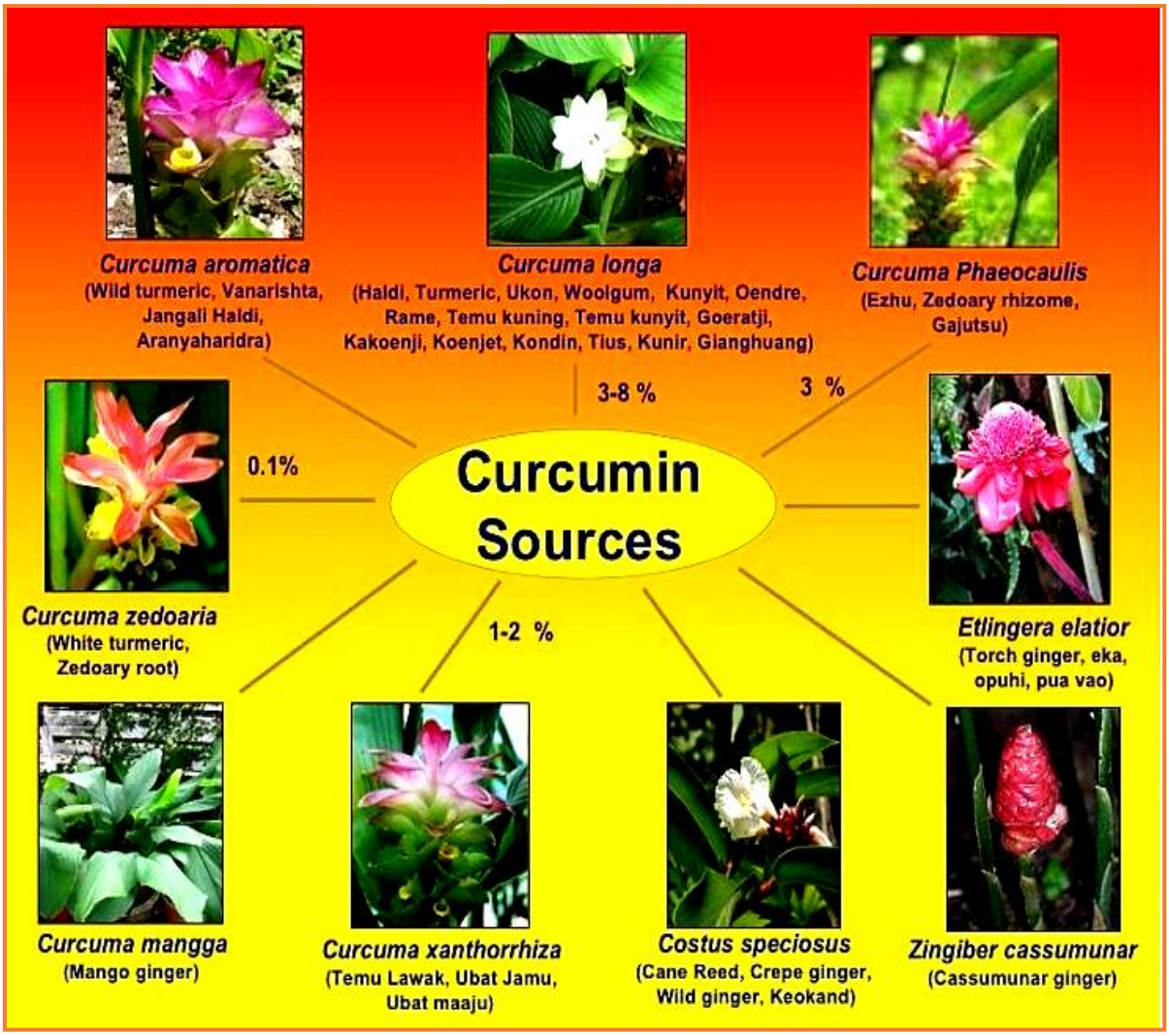


Figure 01 : Quelques espèces de curcuma source de curcumine (Akoachere et al., 2002).

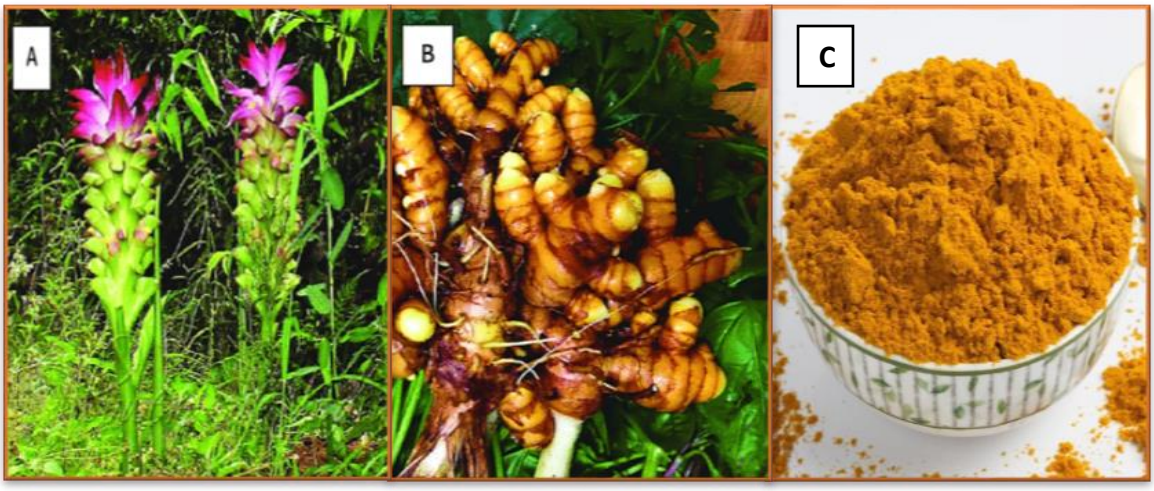


Figure 02 : Aspect général de *Curcuma aromatica*. **(A)** Cône fleuri dans son habitat naturel **(B)** Rhizomes frais **(C)** Rhizomes réduit en poudre (Umar et al., 2020).

II-4-1-Rhizomes

Les rhizomes principaux de forme ovoïde fournissent le curcuma rond et les secondaires donnent le curcuma long (Delaveau, 1987). Ils sont épais, écailleux, charnus, de couleur jaune claire intérieurement orangé à l'intérieur, gris brunâtre en surface, ils restent dormants en hiver (Figure 03). Une odeur camphrée aromatique forte se dégage après leurs section (Al-Reza et al., 2010; Sikha et al., 2015). C'est ce rhizome que l'on consomme une fois réduit en poudre (Delaveau, 1987).

Figure 03 : Rhizomes frais de *Curcuma aromatica* (Umar et al., 2020).

II-4-2-Feuilles

Ses feuilles sont très longues et larges, oblongues à elliptiques, dressés, non ramifiées possèdent une puissante nervure axiale et des nervures secondaires parallèles**,** naissent à partir du rhizome. Le feuillage meurt à la fin de l'automne (Al-Reza et al., 2010).

II-4-3-Fleurs

Les fleurs (Figure 04) apparaissent avant les feuilles au début du printemps à partir de la base des rhizomes, elles sont parfumées de couleur blanc rosé avec une lèvre orange (Al-Reza et al., 2010).

Figure 04 : Inflorescence de *Curcuma aromatica* (Umar et al., 2020).

II-5-Composition chimique

Le contenu des rhizomes de curcuma est très variable et dépend de l'endroit où ils sont cultivés, du type de cultivar, du moment de la récolte et de la méthode d'analyse (Jansen et al., 2005).

L'étude chimique du *Curcuma aromatica* révèle l'existence des curcuminoïdes responsables de la coloration et des propriétés pharmacologiques de cette épice, d'une huile essentielle contenant une multitude de composés terpéniques et de divers composés secondaires (Lonchampt, 2002).

II-5-1-Les curcuminoïdes

D'après Bruneton (1999), les curcuminoides sont des composés phénoliques structuralement rattachées à un diarylheptane. Il est constitué de 3 pigments jaunes (Figure 05) :

II-5-1-1-La curcumine (C1)

Le 1,7-bis (4-hydroxy-3- méthoxyphényl)-1,6-heptadiène-3,5-dione ou, diferuloyl méthane. C'est le composé majoritaire de l'ensemble (50 à 60%), se présente sous forme de poudre cristalline jaune orangée. Elle est très peu soluble dans l'eau, le benzène et l'éther de pétrole. Soluble dans l'alcool éthylique, propylène glycol et l'acide acétique glacial, et très soluble dans l'acétone et l'éther éthylique (Paris et Moyse, 1981).

II-5-1-2-Déméthoxycurcumine (C2)

Le bis-(4-hydroxycinnamoyl)-méthane, représentant 24% de l'ensemble de la curcumine.

II-5-1-3-Bis-déméthoxycurcumine (C3)

Le Feruloyl-(4- hydroxycinnamoyl), il représente 14 % de l'ensemble.

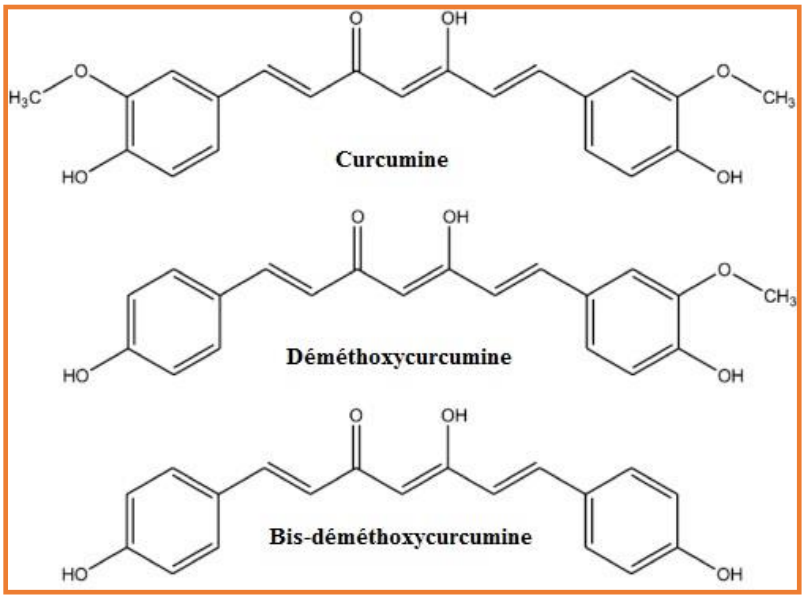


Figure 05 : Structures chimiques des principaux composés présents dans la poudre de *Curcuma aromatica* (Sharma et al., 2015).

II-5-2-Huile essentielle

L'odeur des rhizomes est due à la présence d'huile essentielle qui produit environ 6,1%. Cette huile essentielle est isolée par hydrodistillation, la vapeur d'eau entraînant les substances volatiles. (Pris et Moyse, 1981). Elle est décrite comme ayant une odeur aromatique, forte, jaune orangée et sert principalement à aromatiser certaines denrées alimentaires. A plus faible échelle, on l'utilise en parfumerie pour conférer au parfum un caractère oriental (Lonchampt, 2002).

Les composés majeurs de l'huile essentiel de *Curcuma aromatica* sont : Le camphre (26,94%), ar-curcumène (23,18%), xanthorrhizol (18,70%), curzerénone (11,0%), ar-turmérone (6,7%), germacrone (4,87%) (Al-Reza et al., 2010). En outre, α-β-γ curcumène sont présents. De nombreux autres sesquiterpènes ont été détectés tel que le 1,8-cinéole, l'isobornéol, l'α-terpineol, la curlone (Lonchampt, 2002).

II-5-3-Autres constituants

Les rhizomes de *Curcuma aromatica* renferment également d'autres constituants présentés dans le tableau 07 (Hombourger, 2010).

Tableau 07 : Les constituants de la poudre de *Curcuma aromatica* (pour 100g) (Hombourger, 2010).

Constituants	Quantité
Protéines	13 à 19%
Lipides	2 à 5%
Glucides	55 à 70%
Fibres alimentaires	21,1 g
Calcium	183 mg
Magnésium	193 mg
Phosphore	268 mg
Fer	41,4 mg
Zinc	4,4 mg
Riboflavine	0,23 mg
Niacine	5,14 mg
Folate	39 µg
Acide ascorbique	25,9 mg
Thiamine	0,15 mg

II-6-Activités biologiques

«C'est une herbe contre toute souffrance », dit un proverbe bien connu en Inde. Le curcuma, est une plante dont le rhizome, est considéré dans les régions tropicales et subtropicales de l'Asie comme un remède universel (Shahid, 2016).

II-6-1-Activité antioxydante

Un antioxydant est une molécule qui récupère et neutralise les radicaux libres en donnant un électron, réduisant ainsi le pouvoir nocif des radicaux libres (Umar et al., 2020), ces dernier sont impliqués en tant que médiateur, dans la progression de nombreuses maladies chroniques et dans le vieillissement des cellules en général. Plusieurs études ont montrés que les curcuminoïdes ($C_{21}H_{20}O_6$) et leurs dérivés sont des puissants antioxydants et que la

curcumine est considérée comme un antioxydant dix fois plus actif que la vitamine E (Portes, 2008).

Plusieurs scientifiques ont étudié l'effet de la curcumine sur la peroxydation lipidique. Ils sont trouvés qu'il est un bon antioxydant et inhibe la peroxydation lipidique qui joue un rôle important dans l'inflammation, les maladies cardiovasculaires et le cancer (Shoba, 1998). De plus, l'activité antioxydante de la curcumine est médiée par des enzymes antioxydants telles que la catalase, la glutathion peroxydase et le superoxyde dismutase. Dans la réaction de Michael la curcumine est un accepteur, ce qui lui permet de réagir avec la thioredoxine et le glutathion en les réduisant dans les cellules (Shoba, 1998).

In vitro, la curcumine peut inhiber la génération des espèces réactives de l'oxygène (ERO), comme le peroxyde d'hydrogène et les anions superoxyde. Ainsi que l'activation des macrophages qui jouant un rôle important dans l'inflammation, par la génération de radical nitrite. La curcumine peut aussi diminuer la production des espèces réactives de l'oxygène in vivo. Ses dérivés, la bis-déméthoxycurcumine et la déméthoxycurcumine exercent aussi des effets antioxydants (Portes, 2008).

Dans la pathologie amyloïde chez des souris transgéniques Alzheimer, la curcumine réduit les protéines oxydées. Depuis que les espèces réactives de l'oxygène sont impliquées dans le développement de conditions pathologiques variées, la curcumine présente le potentiel de contrôler ces maladies via son activité antioxydante (Shoba, 1998).

II-6-2-Activité anti-inflammatoire

Le pouvoir anti-inflammatoire du curcuma est clairement relié à son effet antioxydant. Plusieurs mécanismes ont été invoqués pour expliquer cet effet : l'inhibition du métabolisme de l'acide arachidonique et donc de la synthèse des prostaglandines, l'inhibition de l'accroissement de l'activité des enzymes lysosomiales, l'interférence avec la réponse des granulocytes aux stimuli liés au processus inflammatoire, l'inhibition de la formation d'oxyde nitrique, l'inhibition phospholipases spécifiques. Les effets antioxydant et anti-inflammatoire trouvent des applications dans les traitements de nombreuses affections (Kumar et al., 2011).

Dans des études réalisées in vitro, in vivo et chez l'homme, il a été rapporté que le curcuma a des propriétés anti-inflammatoire et que son utilisation est sûre même à une dose de 12g/jour (Kuptniratsaikul et al., 2014). Le curcuma se révèle très efficace pour prévenir toutes les maladies qui se développent à partir d'une inflammation passant souvent inaperçue.

Le curcuma peut ainsi soigner l'arthrose, les névralgies, les tendinites, les sciatiques. Dans les pays d'Asie il est prescrit contre toutes les douleurs (musculaire, articulaire), les rhumatismes les polyarthrites, l'artériosclérose, les complications cérébrales et coronariennes, les maladies neurodégénératives tel que Parkinson et Alzheimer (Kim et al., 2003).

II-6-3-Activité antibactérienne

En plus de son activité anti-inflammatoire, la curcumine possède également des propriétés antibactériennes. C'est en effet une bactéricide efficace vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*, d'*Escherichia coli*, d'*Enterococcus faecalis*, de *Salmonella typhimurium*, de *Salmonella enteritidis*, de *Listeria monocytogenes*, de *Bacillus subtilis* ainsi que vis-à-vis de *Pseudomonas naerusigosa*. Une exposition de 30 min à une concentration de 25 µM, la curcumine tue entre 12% et 60% de ces bactéries. L'activité bactéricide de la curcumine s'expliquerait par les dommages causés aux membranes et aux parois bactériennes qui finit par la lyse cellulaire (Al-Reza et al , 2011).

Helicobacter pylori qui est responsable de pathologies gastroduodénales incluant le cancer gastrique et qui se révèle difficile à combattre par les antibiotiques conventionnels, est éradiquée par la curcumine (Choi et al., 2006).

II-6-4-Activité antifongique

Des substances et des extraits isolés à partir de différentes ressources naturelles, en particulier les plantes, ont toujours constitué un arsenal riche pour lutter contre les infections fongiques et la décomposition. En raison de l'utilisation traditionnelle extensive du curcuma dans les produits alimentaires, diverses recherches ont été effectuées afin d'étudier le curcuma et la curcumine dans le but de contrôler la détérioration des champignons et les pathogènes fongiques. L'étude de l'addition de la poudre de curcuma dans la culture de tissu végétal a montré que le curcuma à 0,8 et 1,0 g/L a une activité inhibitrice appréciable sur les contaminations fongiques (Hombourger, 2010).

II-6-5-Activité antivirale

C'est une découverte qui passionne tant les Américains qu'elle a été reprise par plusieurs media grand public et de nombreux sites spécialisés dans la communication médicale : la curcumine empêche le virus de la fièvre de la vallée du Rift de se multiplier dans un modèle cellulaire expérimental. Une recherche réalisée par Chen et ses collaborateurs montre qu'un traitement à la curcumine 30 µM réduisait de 90 % la production de virus

grippaux d'une culture cellulaire. Les chercheurs évoquant en outre un effet direct de la curcumine sur l'infectiosité de particules virales H6N1 ou H1N1 (Chen et al., 2010).

La même année Zandi et ses collaborateurs comparaient l'activité de plusieurs produits naturels sur des cellules Vero infectées par le virus herpès simplex HSV-1, et montrait que la curcumine et ses dérivés ont un effet très puisant sur les cellules infectées (Zandi et al., 2010). Depuis de décennies, les Indiens qui soignent leurs maux de gorge et autres syndromes grippaux en absorbant leur dose quotidienne de curcuma (Peng et al., 2016).

II-6-6-Activité anti-tumoral

Germacrone est l'un des principaux composants bioactifs de curcuma dont il a été prouvé qu'il possède des propriétés anti-tumorales. Dans une étude sur l'effet antiprolifératif de la germacrone sur l'homme cellules de gliome et le mécanisme moléculaire sous-jacent cytotoxicité a conclu que la germacrone inhibe la prolifération des cellules de gliome en favorisant l'apoptose et induisant un arrêt du cycle cellulaire. Il a également suggéré que la germacrone être un nouveau médicament chimio-préventif puissant pour les gliomes via régulant l'expression des protéines associées à l'apoptose et l'arrêt du cycle cellulaire G1 (Sikha et al., 2015).

II-6-7-Activité anti-cancéreuse

Plusieurs études indiquent que la curcumine est un puissant agent anti-cancer. Elle inhibe la croissance de cellules cancéreuses variées ; les tumorigenèses de la glande mammaire, des voies aérodigestives, de la cavité orale, de l'œsophage, de l'estomac, de l'intestin, du colon, du foie et du poumon ont été stoppés par la curcumine. La curcumine peut aussi supprimer l'activité tumorigénique d'une large variété de carcinogènes, notamment responsables des cancers du côlon, duodénum, œsophage, aérodigestif, foie, sein, buccaux et prostate (Hombourger, 2010).

II-6-8-L'activité anti-VIH

Le VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine) est un virus absolu qui ne peut survivre à moins d'être pleinement intégré dans le matériel génétique de la cellule vivante. Une fois cette intégration réalisée, le matériel génétique de la cellule n'est plus à son service, mais bien à celui du virus, ce qui entraîne la destruction des cellules lymphocytes CD4 et CDS (Shorderet, 1998).

Plusieurs études ont été conduites in vitro afin de déterminer l'effet potentiel anti-VIH du curcuma. Les curcuminoïdes sont capables de bloquer la réplication de VIH en inhibant l'activité de l'enzyme intégrase responsable du processus d'intégration, ce qui pourrait avoir pour effet de prévenir la destruction prématurée des lymphocytes CD4 et CDS (Mazumder, 1997).

II-6-9-L'activité Antidiabétique

Depuis une décennie (environ 4000 ans), le curcuma était célèbre pour sa propriété antidiabétique. Les rapports d'études expérimentales prouvent également l'efficacité du curcuma pour le diabète (Kim et al., 2003). Une étude expérimentale sur l'efficacité du curcuma sur la glycémie chez des rats albinos a montré que le curcuma et la curcumine réduisaient le taux de sucre dans le diabète. La curcumine s'est révélée capable de diminuer les complications du diabète sucré (Jeong et al., 2006).

Le rapport suggère que l'action antidiabétique du curcuma peut être principalement à travers la vitalisation des cellules pancréatiques et par la stimulation de la production d'insuline. Il a été démontré que l'extrait éthanolique de curcuma abaissait le niveau de glucose sanguin lorsqu'il était injecté à des rats expérimentaux. L'effet abaissant était de 37,2% après 3 heures et de 59,5% après 6 heures. L'huile essentielle de curcuma et ses composants principaux, sont capables d'inhiber significativement l'activité de l'α-glucosidase et de l'α-amylase, des enzymes clés liées au diabète de type 2 (Salh et al., 2003).

La figure 06 récapitule les différents effets de la curcumine sur de plusieurs affections.

II-7-Usages à travers le monde

II-7-1-Usages courants

Le curcuma a été utilisé, depuis des millénaires en cuisine comme en thérapeutique, il est cultivé pour ses rhizomes comme colorant et comme épice (Lonchampt, 2002).

En Afrique de l'Ouest, il est surtout utilisé pour teindre en jaune d'or des produits tels que les tissus en coton, le cuir tanné, le fil et les fibres de palme. Ses rhizomes sont utilisés aussi comme produits cosmétiques en Afrique et comme l'un des principaux ingrédients de plusieurs épices en Asie. Ils sont de bon augure dans tous les rites religieux domestiques des hindous, et ont de nombreux usages dans la vie courante, au mariage et à la mort, ainsi qu'en agriculture (Jansen et al., 2005).

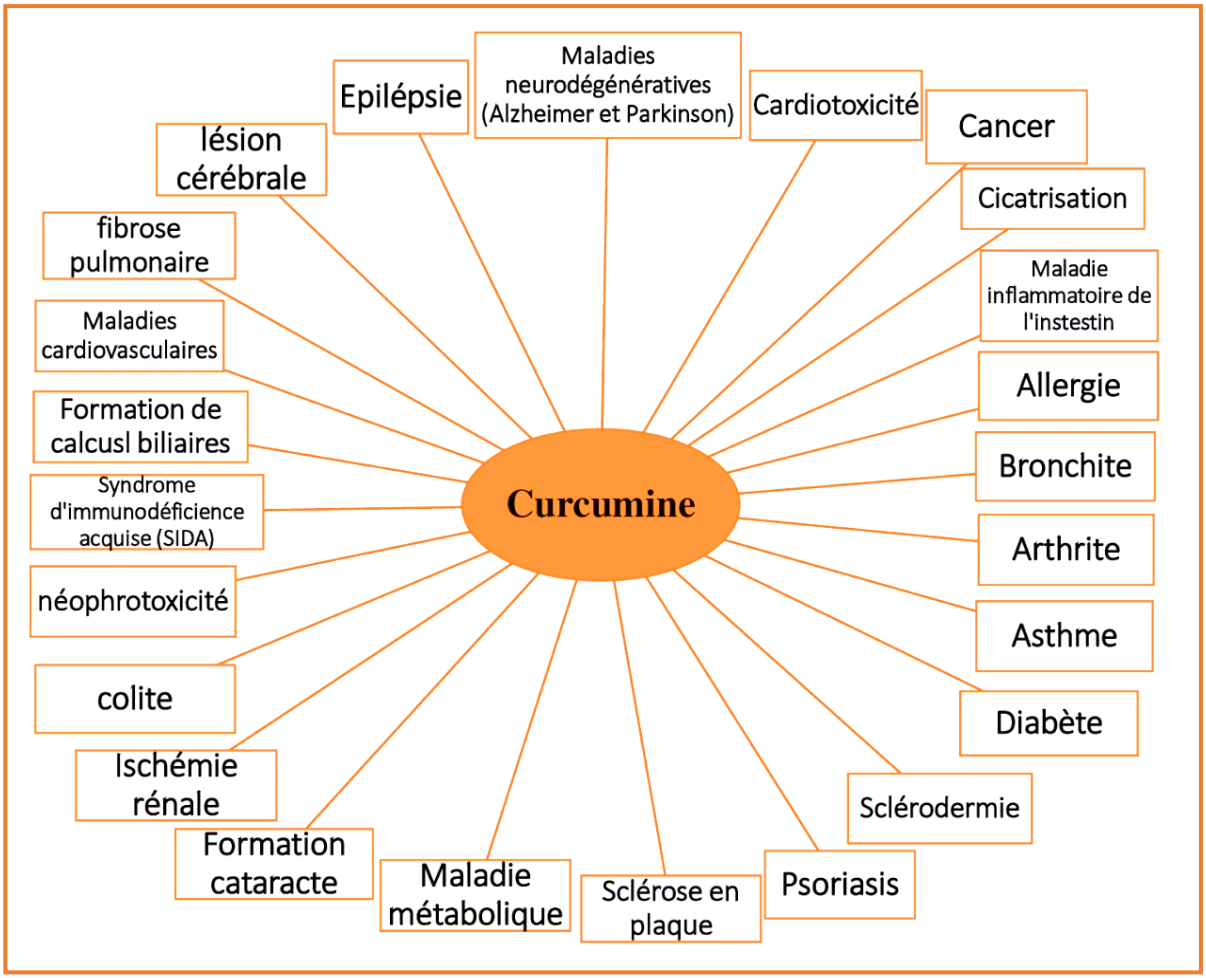


Figure 06 : Effets potentiels de la curcumine sur de nombreuses affections (Dikshit et al., 1995).

II-7-2-Médecine traditionnelle orientale

Le curcuma et ses curcuminoïdes ont fait l'objet de préparations thérapeutiques (Figure 07) à travers les siècles dans différentes parties du monde (Lonchampt, 2002).

En médecine traditionnelle chinoise et ayurvédique, le curcuma est un traitement très efficace pour diverses affections respiratoires tel que l'asthme, ainsi que dans les manifestations douloureuses abdominales accompagnées ou non de troubles biliaires ou hépatiques, l'anorexie, les rhumatismes, les rhumes, les sinusites. Il constitue en outre un remède ancestral contre l'acidité gastrique (Araujo et León, 2001).

En Inde, ce végétal est utilisé comme stomachique, tonique, dépuratif sanguin et antiseptique, pour les dermatoses prurigineuses (psoriasis, pemphigus) et l'ophtalmie

purulente (Lonchampt, 2002). A travers l'Orient, il est utilisé comme anti-inflammatoire très puissant (Aggarwal et al., 2003). D'après Lonchampt (2002), le curcuma s'utilise :

- ✓ **En poudre**

C'est la préparation la plus utilisée par la médecine ayurvédique. En cas de gastrite, prendre une cuillère à café diluée dans de l'eau trois fois par jour.

Elle est aussi mélangé au miel, appelé miel d'or. C'est l'association de deux produits exceptionnels puissants, consommé depuis la nuit des temps en Asie. C'est une véritable panacée, en mangeant une cuillère à café tous les matins à jeun pour lutter contre les affections digestives, hépatiques et virales (Ligeon, 2017).

- ✓ **En teinture**

Contre l'eczéma, boire une cuillère à café diluée dans 100 ml d'eau trois fois par jour.

- ✓ **En décoction**

Pour soigner les gastrites, boire une demi-tasse trois fois par jour.

- ✓ **En cataplasme**

Soigner des entorses appliquer une pâte constituée d'un mélange de rhizome et d'alun, trois fois par jour.

- ✓ **En infusion**

Rhizomes de curcuma mélangés à des feuilles d'apayana et des racines de gingembre pour préparer des tisanes à visée cholérétiques. Utilisé également contre la toux, la bronchite, le coryza sous forme de tisane mélangée à du zeste d'orange, des feuilles de cannelle et un œuf cru (Kapoor, 2018).

- ✓ **En sirop**

Utilisé pour soulager les toux grasses, s'utilise aussi en cuisine pour parfumer les plats ou sucrer les boissons (Ligeon, 2017).

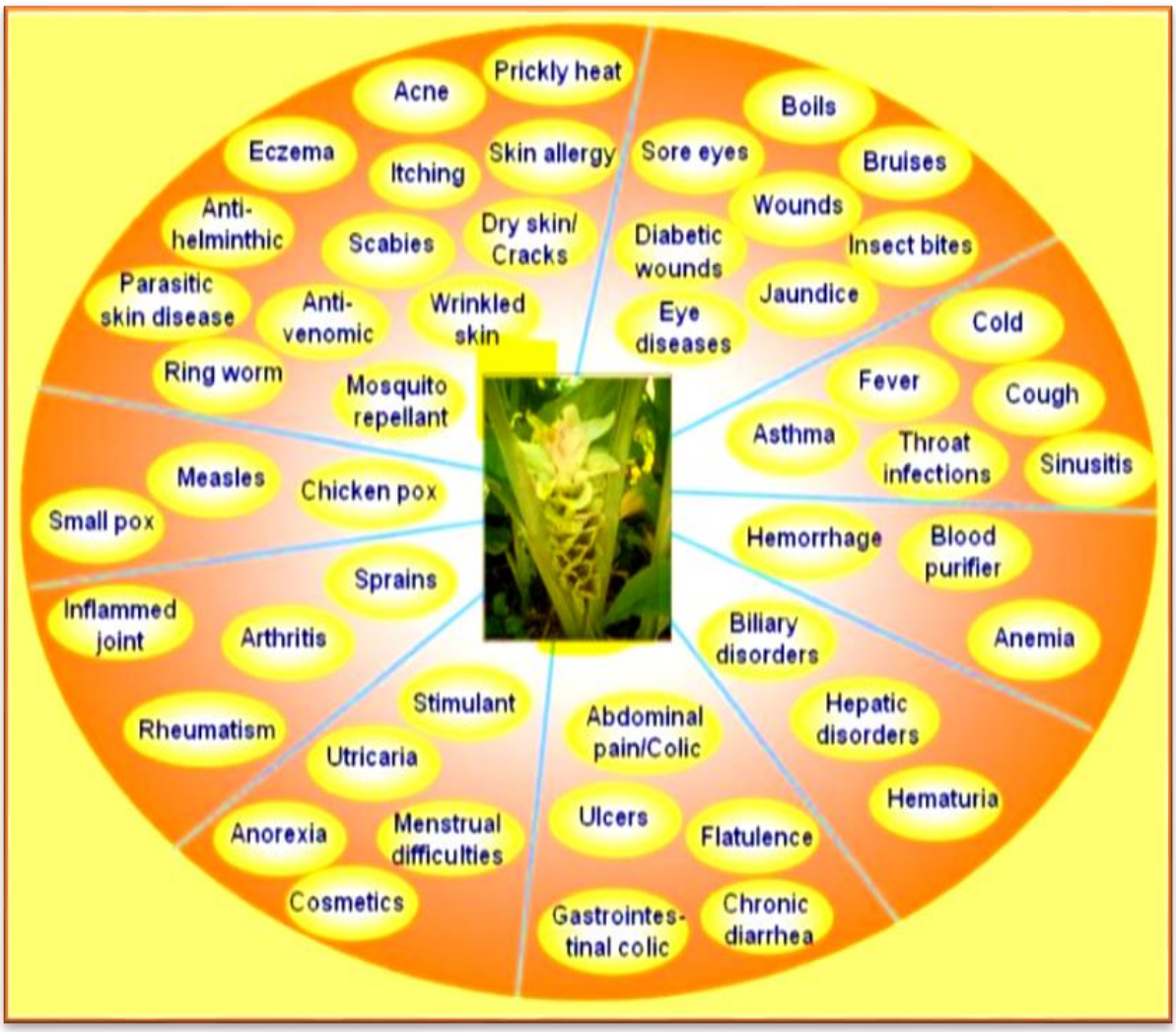


Figure 07 : Usage traditionnel de curcuma (Aggarwal et al., 2007).

II-7-3-Usage thérapeutique en occident

En occident, on retrouve le curcuma sous forme de poudre et de rhizome (Figure 08), c'est-à-dire pour l'usage dans déférents domaines tel que : le domaine médicale, pharmaceutique, alimentaire,...Etc. (Lonchampt, 2002).

II-7-3-1-Médicaments

Les spécialités à base de curcuma possédant une autorisation de mise sur le marché (AMM), appartiennent à la classe des phytomédicaments. La poudre de curcuma et ses extraits ontre dans la composition de nombreux médicaments qui sont inscrites au VIDAL, l'intelligence médicale au service du soin, les plus utilisés sont présentés dans le tableau 08 (Lonchampt, 2002).

Figure 08 : Produits à base de curcuma (Hombourger, 2010).

II-7-3-2-Compliments alimentaires

Les compliments alimentaires font actuellement l'objet d'une réflexion quant à leur nature spécifique et à la mise en place d'un statut particulier (Lonchampt, 2002). Parmi les complexes alimentaires contenants de curcuma citons les suivants dans le tableau 09.

II-7-3-3-Produits cosmétiques

Le curcuma à l'avantage d'être un colorant naturel, et ne provoque aucun effet secondaire, ça composition en vitamine C maintient l'élasticité de la peau et son hydratation et empêche l'apparition des rides. En effet, les antioxydants contenus dans la vitamine C s'affronte contre les radicaux libres qui sont responsable du vieillissement prématuré des cellules. (Lonchampt, 2002).

L'industrie cosmétique l'a repéré et l'inclut dans ses produits (masques, fond de teint, baume visage, huiles de beauté,...Etc.). Récemment, un laboratoire américain nommé SABINSA CORPORATION a déposé le brevet d'un médicament sous le nom de composition de BIOPROTECTANT®. Ce produit, composé d'un mélange de trois curcuminoïdes, exploite les propriétés antioxydantes du curcuma et revendique un effet préventif contre le vieillissement cutané (Badmaev et Majeed, 2000).

Tableau 08 : Spécialités contenant du curcuma, inscrit au VIDAL (Lonchampt, 2002).

Spécialités	**Composition en principes actifs**	**Indications thérapeutiques**	**Posologie usuelle et mode d'administration**
HEPATOUM® (Solution buvable)	-Curcuma : 0,15g -Anémone : 0,15g -Alverine citrate : 0,014g	-Trouble fonctionnel hépatobiliaire.	-Réservé à l'adulte et enfant plus de 12 ans. -1 à 3 c.à.s par prise, 6 à 8 fois par jour.
BILLEROL® (Comprimé)	-Curcuma : 0,06g -Atropine sulfate : 0,07g -Sodium carbonate : 0,07g -Chlorate sodique : 0,07g -Phosphate sodique : 0,06g -Aneth : 1 goutte -Podophylle : 0,07g	-Insuffisance hépatique. -Congestion hépatique. -Coliques hépatiques. -Traitement post-opératoire.	-Prendre 1 comprimé ½ heure avant le repas de midi et du soir pendant 3 mois.
CHOLEODORON® (Solution buvable)	-Curcuma : 25g -*Chelidonium majus* : 33g	-Facilite la production de bile par le foie. -Trait des digestions difficiles, ballonnements et des rots.	-A partir de 13 ans. -10 à 15 gouttes 3 fois par jour pour une durée qui ne dépasse pas 1 mois.

Tableau 09 : Compléments alimentaires contenant du Curcuma (Lonchampt, 2002).

Spécialités	Composition en principes actifs	Indications thérapeutiques	Posologie usuelle
ARKOGELULES CURCUMA® (Gélule)	-Rhizomes de curcuma : 300mg/gélule	-Troubles hépatobiliaires. -Troubles digestifs.	-3 gélules par jour.
SEDAFLEX® (Gélule)	-Extrait de curcuma : 300g Extrait de feuille d'ortie : 45mg -Hydrolysat de protéine de blé : 9,37mg	-Souplesse et douleurs articulaires.	-2 gélules par jour.
HEPACLEM® (Comprimé)	-Curcuma : 240 mg -Cambretum : 240mg -Artichaut : 360mg	-Elimination de la bile. -Trouble hépatiques.	-1 à 2 comprimés par jour avant le repas.
DYNVEO CURCUMA® (Gélule)	-Extrait de rhizome de curcuma. -Huile de tournesol. -Extrait de quillaja.	-Troubles digestifs d'origine hépatique.	-1 gélule par jour au milieu du repas pendant 1 mois.

II-7-3-4-Produits alimentaires

Les rhizomes de curcuma réduits en poudre sont employés dans l'industrie alimentaire, notamment en tant que colorant dans les aliments transformés et les sauces. Ils servent également de colorant dans la confiserie (Jansen et al., 2005). Il rentre dans la composition de plusieurs mélanges d'épices préparés par l'industrie alimentaire (Lonchampt, 2002), citons par exemple la poudre de curry (Figure 09).

C'est la loi du 1er Août 1905 qui en avait autorisé l'emploi comme colorant dans les aliments. La curcumine figure elle-même au Journal officiel de la République Française du 1er juin 1975 sous le code E 100 indiquant la référence à une décision Européenne (Delaveau, 1987).

En 1980, la Direction de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes a autorisé la coloration artificielle par la curcumine des articles suivants : « fromages , croûtes de fromages, moutardes, laits aromatisés, beurre, huiles, graisses (à l'exception des

margarines), bouillons et potages, condiments, sauces, confitures, produits de charcuterie et salaisons, gelées, sucreries, pastillages, bonbons, glaces, pâtes de fruits, caviar, crevettes, sirops, … » (Delaveau, 1987).

.Tamarin	20 g
. Piment	5 g
. Curcuma	3 g
. Ferugrec	3 g
. Cumin	2 g
. Poivre	2 g
. Graine de moutarde	2 g

Cardamome sucré, clou de girofle, cannelle, fenouil, muscade et badiane viennent souvent compléter cette formule simplifiée.

Figure 09 : La composition de la poudre de curry (Lonchampt, 2002).

II-8-Effets toxiques

La curcumine n'a pas démontré d'effet toxique sur le corps humain, même à une dose élevée (8g/j), mais il est déconseillé aux personnes allergiques aux plantes *Zingiberaceae* (Guillouty, 2016 ; Aggarwal et al., 2007). Un adage explique que « c'est la dose qui fait le poison », ceci s'applique particulièrement bien aux huiles essentielles. En général, elles sont peu toxiques mais leurs fortes concentrations en molécules actives et donc leur utilisation en faible volume nécessite le respect strict des posologies et des excipients utilisés (Bourachot, 2017).

Partie II:
Procédures expérimentales

Chapitre III

Chapitre III : Matériels et méthodes

III-1-Objectif de l'étude

Notre étude expérimentale est réalisée au niveau de la laiterie «RAMDY» et s'est étalée sur deux mois (de la mi-avril à la mi-juin) ; dont l'objectif, consiste dans un premier temps, à préparer un fromage fondu à base de *Curcuma aromatica* ; ensuite étudier ces caractéristiques physicochimiques et microbiologiques. Le Protocol suivi dans notre étude est décrit dans la Figure 10.

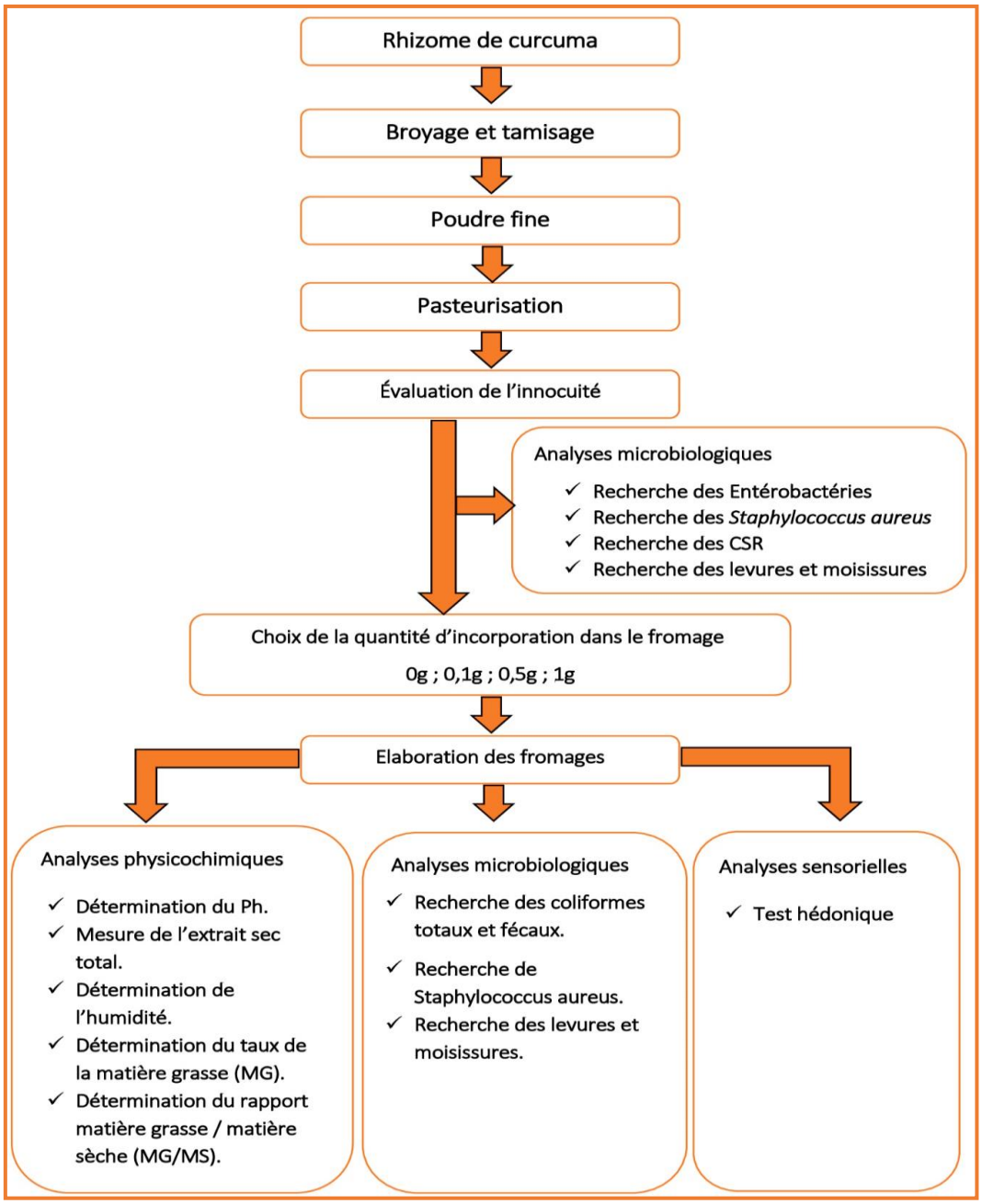


Figure 10 : Organigramme de la méthodologie d'étude.

III-2-Présentation de l'organisme d'accueil

La SARL RAMDY (ex laiterie Djurdjura) est une entreprise agroalimentaire spécialisée dans les produits laitiers et ses dérivées. Elle a été créée le 01 janvier 1983. Elle s'est spécialisée dans la production des yaourts (aromatisé, nature, aux fruits, brassé aromatisé et aux fruits et crème dessert), fromages (portions et barre), lait pasteurisé, chirbet, raïb et l'ben. Elle occupe une place appréciable du fait de l'importance de ses produits dans l'équilibre nutritionnel de la population ainsi que sa participation à la réduction du taux de chômage dans la région.

II-2-1-Historique de SARL RAMDY (Zegrir, 2019)

- ✓ C'est en 1983, que mûrit dans l'esprit du groupe BATOUCHE, l'idée de création d'une unité de fabrication de yaourt dans la région d'Ighzer Amokrane avec des moyens très limités, l'unité n'a démarrer qu'avec une remplisseuse de pot préformés d'une capacité de 1000 pots/heure.
- ✓ En 1986 l'unité à réussie pour acquérir une conditionneuse thermo-formeuse d'une capacité de 4000 pots/heure.
- ✓ En 1988, l'entreprise se voit dotée d'un atelier de fabrication de fromage fondu et de camembert.
- ✓ En 1991, se fut l'acquisition d'une ligne de production de crème dessert.
- ✓ En 1993, une nouvelle conditionneuse est installée avec une capacité de production de 9000 pot/heure.
- ✓ En 1995, l'entreprise RAMDY sort carrément de son adolescence, par l'acquisition de deux conditionneuses 12000 et 9000 pot/heure et une remplisseuse de 7000 pot/heure.
- ✓ En 1996, profitant de la création de la zone industrielle d'Akbou, le groupe BATOUCHE inaugure sa nouvelle unité.
- ✓ En 1999, construction d'une deuxième usine de fabrication des produits laitiers (fromage fondu, fromage à pâte pressé, camembert).
- ✓ En Octobre 2001, signature d'un accord de partenariat avec le groupe DANONE.
- ✓ En Août 2002 RAMDY a été lancée.

II-2-2-Situation géographique

L'unité laitière industrielle « LA SARL RAMDY » est implantée dans la zone industrielle de TAHARACHT d'AKBOU à 200 m de la RN 26 (Figure 11), sur le chemin qui relie la commune d'Akbou à celle d'Amadou, qui se trouve à 60 km de BEJAIA et à 170 km à l'Est de la capitale d'ALGER.

Figure 11 : Situation géographique de SARL RAMDY (Google Maps, 2021).

II-2-3-Infrastructure

L'entreprise dispose d'un complexe intégré de deux principaux départements de production « atelier yaourt et crème dessert et atelier fromage », en plus d'un atelier lait pasteurisé. Pour une meilleure surveillance de la qualité du produits et une protection optimale du consommateur, l'industrie s'est équipé d'un laboratoire d'autocontrôle afin d'effectuer toutes les analyse physico-chimique et microbiologique exigées, comme elle dispose d'un grand magasin de stockage de matière première (Zegrir, 2019).

III-3-Présentation de matériels

III-3-1-Matériels végétal

Le matériel végétal choisi pour la présente étude est le rhizome de *Curcuma aromatica* (originaire de l'Inde) acheté chez un herboriste dans la région d'Akbou au moins d'avril 2021 (Figure 12).

Figure 12 : Photographie des rhizomes de Curcuma utilisé.

III-3-2-Matériels et équipements

Le matériel et les équipements utilisés dans notre pratique sont présentés dans l'Annexe N°01.

III-4-Méthodes utilisées

III-4-1-Préparation de la matrice végétale

Après triage (élimination des impuretés), les rhizomes de *Curcuma aromatica* ont été rincés avec de l'eau du robinet puis déposés sur un tissu propre pour séchage à l'air libre dans un endroit sec et à l'abri du soleil pendant 5 jours. Ils ont ensuite été broyés grossièrement à l'aide d'un broyeur à main (pilon) ; la poudre ainsi obtenue a été broyée à l'aide d'un broyeur électrique, jusqu'à l'obtention d'une poudre fine (Volàk et al., 1986).

Après broyage, la poudre est tamisée (tamis à 200 µm) afin d'obtenir une poudre très fine et homogène ; puis pasteurisée et stockée à l'abri de lumière et de l'humidité jusqu'à l'utilisation.

III-4-2-Analyses microbiologique de la matrice végétale

Les analyses microbiologiques nous permettent de vérifier l'innocuité de la matrice végétale utilisée. Selon le Journal Officiel de la république Algérienne, les germes recherchés et dénombrés dans les épices sont (JOA N°39, 2017) :

Les Entérobactéries, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium* Sulfito-Réducteurs (CSR), levures et moisissures.

III-4-2-1-Préparation de la solution mère

Dans des conditions d'asepsie, 10g de *Curcuma aromatica* homogénéisés dans 90ml de la solution de Ringer (Annexe N°02), on obtient ainsi une dilution 10^{-1}. Cette suspension constitue la solution mère (Figure 13).

Figure 13 : Photographie de la solution mère.

III-4-2-2-Recherche des Entérobactéries

Les Entérobactéries sont des bacilles Gram négatif qui appartiennent à la famille des *Entérobacteriaceae*, non sporulés, mobiles ou immobiles, aéro-anaérobie facultatifs et oxydase négative (Mossel et al., 1962).

- ✓ **Principe**

Le milieu utilisé est la gélose Violet Red Bile Glucose (VRBG), Annexe N°02, il repose sur l'aptitude des *Enterobacteriaceae* à fermenter le glucose. Le milieu est rendu inhibiteur face aux bactéries Gram positives et à certaines bactéries Gram négatives par la présence des sels biliaires (Mossel et al., 1962).

- ✓ **Mode opératoire**

Réalisée par la méthode d'ensemencement en masse. Une quantité du milieu de culture VRBG est coulée sur la boite de pétri contenant préalablement 1ml de la solution mère, en tenant compte de bien mélanger la gélose avec l'inoculum. Après solidification une deuxième couche du même milieu de culture est coulée et laissée se solidifier. Les boites ainsi ensemencées sont incubées à 37°C pendant 24h.

✓ **Lecture**

Les Entérobactéries apparaissent sous forme de colonies rose.

III-4-2-3-Recherche de *Staphylococcus aureus*

Il s'agit d'une bactérie commensale de la peau des animaux et de l'homme qui contamine fréquemment les aliments et peut entrainer des dégradations et des problèmes sanitaires. Leur caractère saprophyte de la peau et de la muqueuse des êtres vivants en fait des agents de contamination par manipulation. Les *Staphylococcus* appartiennent à la famille des *Micrococcaceae*. Ce sont des cocci à Gram positif, non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs, immobiles, halophiles, coagulase positive, protéase positive et catalase positive (Messaour, 2018).

✓ **Principe**

Le milieu utilisé est le milieu gélosé Baird Parker (Annexe N°02) qui contient du tellurite de potassium (K_2TeO_3) et une concentration en glycine pour inhiber la force secondaire. Tandis que le pyruvate et la glycine agissent comme accélérateurs sélectifs de croissance pour les staphylocoques (Oxoid, 2001). Dans ce milieu opaque par la suite de la teneur en jaune d'œuf, les colonies de staphylocoques présentent deux caractéristiques diagnostiques :

- Elles donnent naissance par lipolyse et protéolyse à des halos clairs caractéristiques (Dégradation de la lécithine du jaune d'œuf).
- La réduction du tellurite en tellure développe une coloration noire.

✓ **Mode opératoire**

Transférer à l'aide d'une pipette stérile, 0,1ml de la solution mère à la surface d'une plaque de la gélose Baird Parker (BP). Etaler soigneusement l'inoculum à la surface de la gélose en essayant de ne pas toucher les bords de la boite avec un râteau stérile. La boite sera incubée à 37°C pendant 48 heures.

✓ **Lecture**

Les colonies de *Staphylococcus aureus* apparaissent sur le milieu de couleur noire, brillante, voutée avec une bordure blanche mince entourées d'un halo clair.

III-4-2-4-Recherche des *Clostridium* Sulfito-Réducteurs (CSR)

Il s'agit de bactéries telluriques communément rencontrés dans le sol, les eaux des égouts et l'intestin. Elles peuvent contaminer et dégrader les produits alimentaires dans des conditions d'anaérobie (conserves). Ce sont des bactéries catalase négative, réduisent le nitrate en nitrite, fermentant le lactose avec production de gaz (Messaour, 2018).

- ✓ **Principe**

Le milieu utilisé est la gélose viande-foie (VF), Annexe N°02, additionnée de sulfite de sodium et d'alun de fer, l'action des germes sulfito-réducteur (*Clostridium*) conduit à la réduction de sulfite de sodium en présence d'alun de fer en sulfure, donnant des colonies à coloration noire. Ces microorganismes étant anaérobie strictes (Oxoid, 2001).

- ✓ **Mode opératoire**

Réalisée par la méthode d'ensemencement en masse. La solution mère est portée à 80°C pendant 10min dans un bain marie puis directement dans l'eau froide afin d'éliminer les formes végétatives et de ne laisse que les spores. Une quantité de la gélose viande foie est coulée sur la boite de pétri contenant préalablement 1ml de la solution mère. Après solidification une deuxième couche de même milieu de culture est coulée et laissée se solidifier. Les boites de pétrie ainsi ensemencées sont incubées à 44°C pendant 48h dans une jarre d'anaérobie.

- ✓ **Lecture**

Les *Clostridium* Sulfito-Réducteurs apparaissent sous forme de colonies noires.

III-4-2-5-Recherche des levures et moisissures

- ✓ **Principe**

Le milieu utilisé est la gélose Sabouraud chloramphenicol dextrose (Annexe N°02) est un milieu peptone complémenté au dextrose pour encourager la croissance des champignons. Les peptones sont des sources de facteurs de croissance azotés. Le dextrose fournit une source d'énergie pour la multiplication des microorganismes. Ajouté à la formulation, le chloramphénicol qui est un antibiotique à large spectre, inhibiteur pour une large gamme de bactéries Gram positives et Gram négatives (Sabouraud, 1892).

✓ **Mode opératoire**

Réalisée par la méthode d'ensemencement en masse. Une quantité de milieu de culture Sabouraud chloramphenicol dextrose est coulée sur la boite de pétri contenant préalablement 1ml de la solution mère. Après solidification, une deuxième couche de même milieu de culture est rajoutée, et laissée solidifier. Les boites sont incubées à 25°C pendant 5 jours.

Pour chaque analyse une boite témoin contenant environ 15ml de gélose utilisée, et une autre contenant 1ml de la solution mère a été préparée pour contrôler leurs stérilités.

III-4-3-Technologie de fabrication du fromage fondu selon la laiterie RAMDY

Le diagramme de fabrication du fromage fondu fabriqué à l'unité « RAMDY » est illustré dans la Figure 14 (Ramdy, 2021).

III-4-3-1-Préparation des matières premières

Les différents ingrédients entrant dans la composition du fromage fondu (Cheddar, poudre de lait, pré-fonte, sels de fonte, matières grasse, et d'autres ingrédients) sont préparés, pesés et fragmentés. Pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de la cuisson, le cheddar est découpé à l'aide de lames.

III-4-3-2-Mélange, cuisson et fonte

Les ingrédients sont mélangés dans un cuiseur. A ce stade, de l'eau de procès est ajoutée afin d'ajuster l'extrait sec donc la pâte. A cette étape les sels de fonte sont ajoutés pour assurer l'homogénéité de la pâte, suivie d'une cuisson (pasteurisation) à une température de 90°C pendant 12 min.

III-4-3-3-Conditionnement

Le conditionnement des portions de fromage fondu pasteurisé s'effectue dans une feuille d'aluminium d'une façon automatisée tout en maintenant la température de pasteurisation entre 65°C et 85°C afin d'éviter toute contamination microbiologique. La feuille est préformée par pliage sous forme d'une coquille qui, après remplissage avec la pâte fondue, reçoit un couvercle avant l'accomplissement du scellage. Une fois conditionnée, les portions de fromage sont misent dans des boites en carton de façon manuelle.

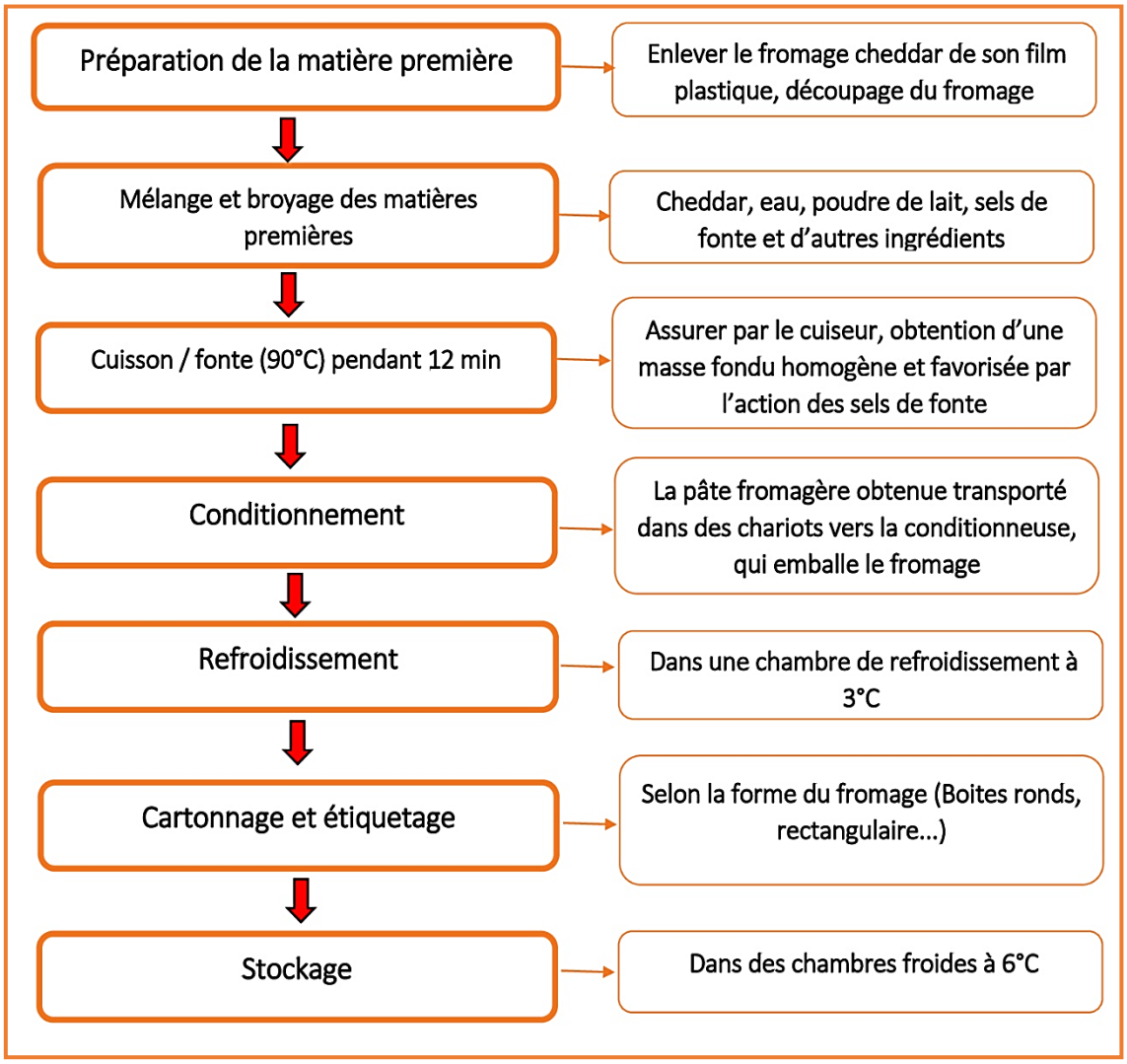


Figure 14 : Processus de fabrication du fromage fondu selon la laiterie RAMDY

III-4-3-4-Refroidissement

Une fois le fromage conditionné, il subit un refroidissement en le mettant dans des chambres froides à 3°C.

III-4-3-5-Etiquetage

Les boites sont marquées par un jet d'encre qui va mentionner toutes les coordonnées de production ainsi que la date pour l'identification de la machine responsable en cas de défaut.

III-4-3-6-Stockage et commercialisation

Les fromages sont stockés dans des températures de 6°C, puis sont livrés selon les commandes.

III-4-4-Incorporation de curcuma dans le fromage fondu

L'ensemble des travaux de cette partie est effectué au niveau de laboratoire du contrôle de qualité de l'unité RAMDY.

III-4-4-1-Fabrication de fromage fondu incorporé de Curcuma

L'ajout de la poudre de *Curcuma aromatica* est effectué au niveau du laboratoire microbiologique dans des conditions aseptiques. Le conditionnement est réalisé manuellement dans des flacons stériles de 100g (Figure 15), emballés dans des sachets et stockés à 6°C. 24 échantillons du fromage fondu préparés, réparties en quatre lots sont présentés dans le tableau 10.

Figure 15 : Les échantillons de fromage élaborés à différentes concentrations.

Tableau 10 : Les échantillons de fromage préparés.

Lots	Echantillons	Quantité de fromage	Quantité de Curcuma
Lot 1 (témoin)	Echantillon A	100g	0g
Lot 2	Echantillon B	99,9g	0,1g
Lot 3	Echantillon C	99,5g	0,5g
Lot 4	Echantillon D	99g	1g

III-4-4-2-Détermination de l'effet de l'incorporation de Curcuma

Les effets de l'incorporation de Curcuma sur le fromage fondu ont été évalues par le suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, effectués à partir du premier jour de fabrication jusqu'à 30 jours de stockage à 6°C.

III-4-4-2-1-Analyses physicochimiques

a-Détermination du pH

- ✓ **Principe**

La mesure de pH de fromage fondu est basée sur la lecture directe de la valeur du pH sur le pH-mètre (JOA N°73, 2016).

- ✓ **Mode opératoire**

L'électrode du pH-mètre, préalablement étalonnée, est rincée avec de l'eau distillée, puis est directement introduite dans l'échantillon du fromage. La valeur de pH de l'échantillon est obtenue par simple lecture sur l'écran de l'appareil.

b-Détermination de l'extrait sec total (EST)

- ✓ **Principe**

La détermination de l'extrait sec total est reposée sur la dessiccation par l'évaporation de l'eau d'une quantité de fromage fondu. La matière sèche est exprimée en pourcentage en masse. Cette expérience est réalisée à l'aide d'un dessiccateur, ce dernier est équipé d'une balance (JOA N°25, 2014).

- ✓ **Mode opératoire**

Dans un dessiccateur réglé à une température de 102°C, 1g du fromage est mis puis étalé sur toute la coupelle d'aluminium préalablement tarée. Le couvercle du dessiccateur est fermé. Après quelque minute, la valeur de l'extrait sec est indiquée en pourcentage sur l'afficheur de l'appareille.

c-Détermination de l'humidité (H)

Détermination de l'humidité a été effectuée selon la méthode décrite par Berger et al., 2004. Elle est déterminée en se basant sur les résultats de la matière sèche, et en appliquant la formule suivant :

$$\boxed{H\ (\%) = 100 - EST}$$

Avec : H (%) : Humidité en pourcentage, EST : Extrait sec total.

d-Détermination du taux de la matière grasse (MG)

- ✓ **Principe**

Déterminer par la méthode Gerber ; elle est basée sur la dissociation des protéines du fromage par l'addition de l'acide sulfurique et séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de Van – Gulik (JOA N°67, 2014).

- ✓ **Mode opératoire**

3g de fromage sont pesés dans un godet en verre perforé, ce dernier est placé dans un butyromètre à fromage. Ensuite, l'acide sulfurique (61,72 % à 62,63 %) est ajouté jusqu'à immersion du godet afin de faire dissoudre les protéines du fromage. Le butyromètre, col en bas, est placé dans un bain marie à 65 ± 2°C pendant 2h. Chaque 20 min, le contenu est agité jusqu'à dissolution totale du fromage. Après avoir rajouté 1ml d'alcool iso-amylique (3-méthyl-1-butanol) à l'échantillon, le volume est complété par l'acide sulfurique jusqu'au trait du 35 ml de la graduation du butyromètre. Enfin le butyromètre est centrifugé à 1000 rpm pendant 10 min avec chauffage. Le taux de la matière grasse est lu sur les graduations du butyromètre.

e-Détermination du rapport matière grasse / matière sèche (MG/MS)

Détermination du rapport matière grasse / matière sèche a été effectuée selon la méthode décrite par Berger et al., 2004. Le rapport matière grasse / matière sèche exprimée en gramme pour 100g de matière sèche est donné par la formule suivante :

$$R\ (\%) = (MG / MS) \times 100$$

Avec : MG : Matière grasse, MS : Matière sèche, R : Rapport.

III-4-4-2-2-Analyses microbiologiques

Les produits alimentaires transformés peuvent contenir certains microorganismes nuisibles pour leur qualité (modification de la valeur d'usage) et pour la santé du consommateur (risque sanitaire lié à la présence de germe pathogène ou de leurs toxines).

L'analyse microbiologique de ce type de produit est indispensable pour garantir la bonne qualité hygiénique et assurer donc la sécurité des consommateurs.

a-Préparation de la solution-mère

Dans des conditions d'asepsie, 10g de fromage sont pesés puis dissous et homogénéisés dans 90ml de la solution de Ringer (JOA N°39, 2017). Cette suspension constitue la solution mère (Figure 16).

Figure 16 : La solution mère des différents échantillons de fromage élaborés.

b-Recherche des coliformes totaux et fécaux

La recherche des coliformes dans le produit fini met en évidence une pollution fécale et donc la possibilité d'une contamination par les entérobactéries pathogènes. Ces bactéries sont sensibles à la chaleur. Elles sont donc un bon témoin de l'efficacité des traitements thermiques et/ou d'une ré-contamination. De plus, elles sont en elles-mêmes un indice de mauvaise conservation ou d'accidents de fabrication (Messaour, 2018).

- ✓ **Principe**

Les coliformes sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz. Le milieu utilisé est le milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose) contenant les sels biliaires, le vert braillant comme agents sélectifs, qui inhibent la croissance de la flore secondaire Gram positif (Messaour, 2018).

- ✓ **Mode opératoire**

La recherche des coliformes totaux et fécaux a été réalisée par la méthode d'ensemencement en masse. A partir de la solution mère, porter aseptiquement 1ml dans une boite de pétri vide puis ajoutée environ 15ml de gélose VRBL. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose

laisser solidifier sur paillasse. Les boites seront incubées à 30°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux pendant 24 heures.

- ✓ **Lecture**

Après incubation ils apparaissent en masse sous forme de colonies de couleur rose.

c-Recherche de *Staphylococcus aureus*

La même méthode utilisée dans l'analyse microbiologique de la matrice végétale, la méthode est décrite en détail dans la section III-4-2-3.

d-Recherche des levures et moisissures

La même méthode utilisée dans l'analyse microbiologique de la matrice végétale, la méthode est décrite en détail dans la section III-4-2-5.

III-4-4-2-3-Analyses sensorielles

Cette partie a été réalisée au niveau de notre faculté et au niveau de laboratoire du contrôle qualité de l'unité RAMDY. Elle comporte des dégustateurs accompagnés d'un questionnaire comportant des informations sur le dégustateur et l'échelle de notation utilisée (Stone et Sidel, 2004).

a- Le panel

Le panel est constitué de 50 sujets de sexes masculin et féminin ; experts en analyse de la flaveur des produits alimentaires de l'unité RAMDY, enseignants et étudiants de notre faculté de science de la nature et de la vie à Bouira.

b- L'épreuve

Elle a porté essentiellement sur le test hédonique qui permet d'évaluer d'une façon générale le degré d'appréciation des échantillons de fromage.

Quatre échantillons de fromages codés comme suit :

- ✓ Fromage A : C'est un témoin (fromage fondu sans addition de poudre de curcuma).
- ✓ Fromage B, C et D : Fromage fondu incorporé avec 0,1 ; 0,5 et 1g de poudre de *Curcuma aromatica*, respectivement ont été présentés pour chaque dégustateur.

Les quatre échantillons ont été présentés pour chacun afin de donner une appréciation sur une échelle de cotation de 1 à 9 points.

c- Le questionnaire

Il est demandé aux dégustateurs de remplir un questionnaire fourni en Annexe N°03 en se basant sur l'analyse de la couleur, de l'odeur, de goût, de la texture, et de l'arrière-goût des quatre fromages.

Chapitre IV

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV-1-Analyses microbiologique de la matrice végétale

Le contrôle microbiologique de la poudre de *Curcuma aromatica* a été effectué avant et après la pasteurisation, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 11 et illustrés dans l'Annexe N°04.

Tableau 11 : Résultats des analyses microbiologiques de la poudre de *Curcuma aromatica*.

Germe	Résultats		Norme * (UFC/ml)
	Avant la pasteurisation	Après la pasteurisation	
Entérobactéries	ND	Absence	10^2
Staphylococcus aureus	ND	Absence	10^2
Clostridium Sulfito- Réducteur	ND	Absence	10^3
Levures et moisissures	180 UFC/ml	Absence	10^4

(ND) : N déterminé. (*) : JOA N°39.

IV-1-1-Résultats avant la pasteurisation

VI-1-1-1-La recherche des Entérobactéries

L'analyse microbiologique révèle que le *Curcuma aromatica* est hautement contaminer par les Entérobactéries, ces résultats sont en accord avec les résultats de Chikh et Rachem, qui sont trouvés les échantillons ayant présentés les plus hautes contaminations, par rapport aux autres épices analysés, sont les échantillons de curcuma, où les colonies étaient indénombrables (Chikh et Rachem, 2017). Dans une étude réalisée par Banerjee et Sarkar, un niveau élevé des Entérobactéries, a été enregistré dans certains échantillons (14-20%), de poudre de curcuma commercialisé. Nos résultats concordent avec ces résultats, témoignant d'une mauvaise hygiène (Banerjee et Sarkar, 2003).

Une autre étude menée en Inde par Shah et ses collaborateurs, a donné des valeurs moyennes inferieurs à 20 UFC/l qui ont expliqué la présence de ces germes est due principalement aux méthodes de manipulation non hygiéniques (Shah et al., 1996).

VI-1-1-2-La recherche des *Staphylococcus aureus*

Nos résultats obtenus révèlent la présence des *Staphylococcus aureus* dans la poudre de curcuma analysé (tableau 11). Ces résultats ne sont pas en accord avec celle de Shah et ses collaborateurs, où des analyses préliminaires ont montrées une absence totale de ce germe. Ces auteurs ont expliqué leurs résultats par présence de certains composants ayant une activité antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus* dans la poudre de curcuma commercialisé (Shah et al., 1996).

Cependant d'autres études ont bien mis en évidence la présence de ce micro-organisme dans des épices, notamment celle réalisée par Banerjee et Sarkar, qui ont trouvé que 11% des échantillons analysés étaient contaminés par *Staphylococcus aureus*. Ceci pourrait être dû aux mauvaises pratiques lors de la préparation de la poudre, en rapport avec l'hygiène du personnel (Banerjee et Sarkar, 2003).

Beaucoup d'études ont d'ailleurs rapporté que les manipulateurs en contact avec les denrées alimentaires sont souvent des porteurs sains de *S. aureus*, notamment au niveau des mains et des fosses nasales (Acco et al., 2003 ; Mahony et al., 2005).

VI-1-1-3-La recherche des *Clostridium* Sulfito- Réducteur

Les résultats dans le tableau 11 révèlent la présence des *Clostridium* sulfito- réducteur à un nombre indéterminable, ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Banerjee et Sarkar, qui ont noté leur présence dans 59% des échantillons analysés (Banerjee et Sarkar, 2003).

Parmi les *Clostridium* sulfito-réducteurs, *Clostridium perfringens* est la plus communément retrouvée dans les épices. Ce germe, fréquent dans le tractus digestif des humains et de plusieurs animaux, et très répandu dans le sol et la poussière, à partir des quels il est disséminé dans l'environnement. Les spores de *Clostridium perfringens* résistent à la déshydratation et aux traitements thermiques moyens comme la cuisson. Aux températures favorables (de 15 à 50 °C), les spores ayant survécu à la cuisson germent et les cellules végétatives se multiplient rapidement. Les toxi-infections alimentaires dues à *C. perfringens* concernent le plus souvent des mets à base viande, ainsi que les aliments déshydratés comme les épices (Chikh et Rachem, 2017).

VI-1-1-4-La recherche des levures et les moisissures

Les levures et les moisissures ont été également observées à l'œil nue, mais leur nombre était négligeable est inférieur à la norme proscrites par le journal officiel de la république Algérienne N°39, fixé à moins de 10^4 UFC/ml (tableau 11). Ces résultats sont en concordent avec celles obtenus par Shah et ses collaborateurs dont les valeurs moyennes étaient généralement faibles (Shah et al., 1996).

La présence des levures et les moisissures dans les épices est due au fait que les spores de ces derniers peuvent être véhiculées par l'environnement et se retrouver ainsi dans l'atmosphère puis dans les épices (Chikh et Rachem, 2017).

Les études, réalisées en Algérie par Azzoune et ses collaborateurs, ont révélées que les espèces fongiques communément isolées appartenaient au genre *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* et *Eurotium*. Certaines de ces espèces sont capables de produire des mycotoxines notamment les espèces appartenant à *Aspergillus* de la section *Flavi*. Etant invisibles à l'œil nu, inodores, insipides, ces toxines, qui font partie des toxines naturels les plus puissantes, sont présentes dans de plusieurs matières premières, en particulier les graines oléagineuses (cacahuètes, noix de cajou…), les céréales, les fruits, le café et les épices (Azzoune et al., 2015).

IV-1-2-Résultats après la pasteurisation

Les analyses microbiologiques effectuées après la pasteurisation (tableau 11) se sont révélées négatifs pour tous les germes recherchés. Cette absence, confirme l'efficacité de cette opération qui a permis la destruction des microorganismes. Selon Rougereau, la pasteurisation permet de décontaminer les herbes, les épices et les graines thermosensibles sans nuire à la qualité (Rougereau, 1984).

VI-2-Elaboration et analyses de fromage fondu incorporés par *Curcuma aromatica*

IV-2-1-Choix des doses d'incorporation

A la base des essais préliminaires sur les analyses sensorielles de deux fromages élaborés à des concentrations de 0.1g et de 1g, nous avons écarté toutes les concentrations qui sont supérieures à 1g à cause de l'amertume perçue à cette concentration, et inférieures à 0,1 du fait de l'absence de la perception de l'arôme.

Les doses de 0,1g ; 0,5g et 1g ont été choisies afin de les incorporer dans le fromage fondu. Ce qui nous a permis d'élaborer trois types de fromage fondu avec l'échantillon de référence (fromage témoin de la laiterie RAMDY).

IV-2-2-Les analyses physicochimiques

IV-2-2-1-Suivi du pH

La figure 17 indique l'évolution du pH au cours de la conservation des déférents échantillons des fromages élaborés.

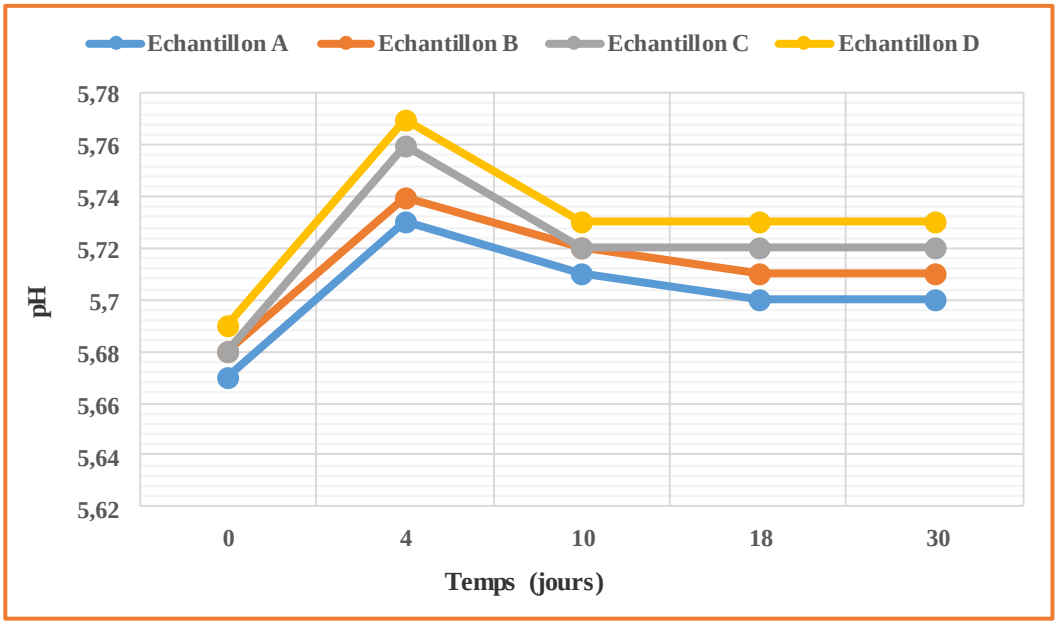


Figure 17 : Evolution du pH durant la conservation des fromages fondus élaborés.

Le pH est le paramètre qui influe le plus sur la texture et même à l'intérieur du fromage, c'est un paramètre important car il agit, d'une part sur la dissociation des différents groupes à liaison calcium donc sur l'action des sels de fonte, et d'autre part sur la solubilité des protéines (Vassal et al., 1986 ; Boutonnier, 2000).

A partir de la courbe nous remarquons que le pH augmente en fonction du temps, mais d'une manière plus importante dans les échantillons de fromage contenant du curcuma. Cette différence est due certainement, aux composés actifs du curcuma et leur effet sur le fromage fondu (Massaour, 2018).

L'évolution du pH du fromage témoin diffère significativement du fromage à 0,1g de curcuma ; qui est passé de 5,67 (j0) jusqu'à 5,73 au bout de 4ème jour de conservation,

commence à se diminuer et à se stabiliser jusqu'au 5,70 à partir de 18ème jour. Cette différence s'explique probablement par l'incorporation de petite quantité de curcuma. L'évolution du pH des deux fromages incorporés de 0,5g et 1g de curcuma diffèrent du témoin, ils sont passés de 5,68 et 5,69 à 5,76 et 7,77 au bout de 4ème jour de conservation, commence à se diminuer et à se stabiliser. Cette différence s'explique probablement par l'incorporation des grandes quantités de curcuma.

L'observation des valeurs expérimentales pour les 4 échantillons dans les premiers jours de stockage, montre que le pH augmente. Ces résultats sont comparable avec ceux obtenus par Lee et al., (2004), et Dimitreli et al., (2005). Ceci peut être due aux levures acidophiles (*Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces lactis* et *Cyberlindnera jadinii* communément appelée *Candida utilis*) qui jouant un rôle désacidifiant. Leur prolifération dans les fromages élève sensiblement le pH et entraîne la production d'alcool (Cavalcante, 1995).

En outre, la diminution du pH en fonction du temps pour tous les échantillons est due aux sels de fonte qui chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble, ce qui se traduit par le déroulement et à la dissociation des chaines protéines (Cavalcante, 1995). Selon Lapoint (2002), la diminution de pH observée peut être due à la transformation du lactose en acide lactique par les bactéries lactiques.

Les valeurs obtenues sont conformes à celles indiquées dans la norme exigée par l'entreprise RAMDY, qui sont comprises entre 5,60 et 5,80 (RAMDY, 2021).

Le pH est un critère de qualité déterminant l'aptitude à la conservation des aliments. Il constitue l'un des principaux obstacle que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (Lee et al., 2004). Donc, il est important de mesurer le pH, afin de connaître la stabilité de l'aliment vis-à-vis aux microorganismes. Il est rare que les microorganismes pathogènes pour l'homme se multiplient à un pH acide, inférieur à 4 (Boutonnier, 2000). La plupart des microorganismes se développent à des pH proche de la neutralité, dont les moisissures se développent à des pH acide (Lee et al., 2004).

L'incidence du pH sur la texture des fromages fondus est exprimée par les caractéristiques de la pâte du fromage. Un pH de 5,90 à 6,20 donne une pâte liée, trop humide, collante, au goût légèrement savonneux, avec une faible aptitude à la conservation. Alors qu'un pH de 5,70 à 5,90 donne une pâte homogène, courte, onctueuse, facilement

tartinable (Boutonnier, 2000). Cette gamme de pH comprend les valeurs obtenues dans ce travail. Globalement, les meilleurs résultats sont obtenus pour une gamme de pH comprise entre 5,4 et 5,8, pour les fromages de type tartinable et bloc (Roustel, 2014).

IV-2-2-2-Détermination de l'extrait sec total (EST)

Les résultats de l'extrait sec des 4 échantillons de fromage fondu analysés sont représentés dans la figure 18.

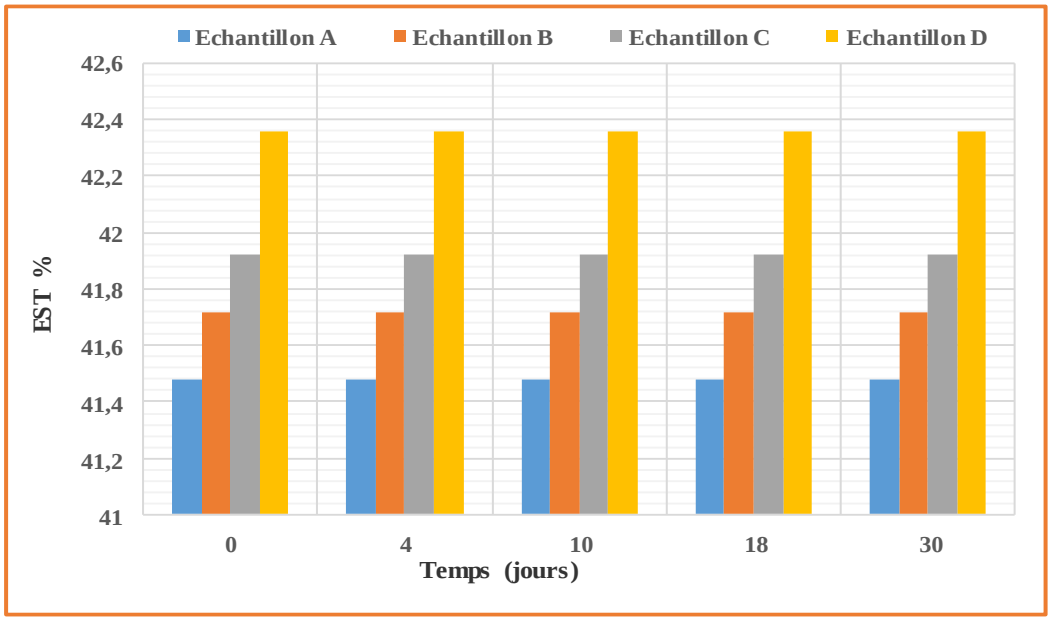


Figure 18 : Evolution de l'extrait sec total durant la conservation des fromages fondus élaborés.

Le taux d'extrait sec dans un fromage fondu est l'ensemble de ses constituants solides qui sont les protéines, les glucides et les minéraux (Lapoint, 2002).

L'extrait sec total est de l'ordre de 41,48 % pour le fromage témoin ; de 41,72 % pour le fromage à 0,1g de curcuma ; de 41,92% pour le fromage à 0,5g de curcuma et de 42,36% pour le fromage à 1g de curcuma, toute au longue de la période de conservation (30 jours à 6°C), cette différence est due probablement à l'ajout des déférentes concentrations en curcuma. Ces résultats révèlent que la valeur nutritive des fromages enrichis en *Curcuma aromatica* semble beaucoup plus riche en matières nutritives que le fromage témoin.

Les valeurs obtenues sont conformes à la norme exigée par l'entreprise qui doivent être entre 40,5% et 43,5% (RAMDY, 2021), ce qui montre que le produit fabriqué est de bonne qualité nutritive et en outre il n'y pas de perte de matières premières car nous ne

trouvons pas un point en dehors de la limite supérieure (AFNOR, 1986). Nos résultats son comparable à ceux de Djali et Hamadi (2017), du fromage enrichi en poudre d'Armoise, le taux d'extrait sec total augmente avec la concentration.

A travers des études réalisées par Zantar et ses collaborateurs et par Messaour, ils ont constaté que l'incorporation de l'huile essentiel de myrte, thym, romarin et d'orange sur le fromage; n'ont pas eu de déférence, ce qui explique probablement au fait qu'ils sont utilisés des huiles essentiels (substances très volatiles) et non pas des poudres (Zantar et al., 2013 ; Messaour, 2018).

IV-2-2-3-Détermination de l'humidité (H)

Les résultats de taux de l'humidité des quatre échantillons de fromage fondu analysés sont représentés dans la figure 19.

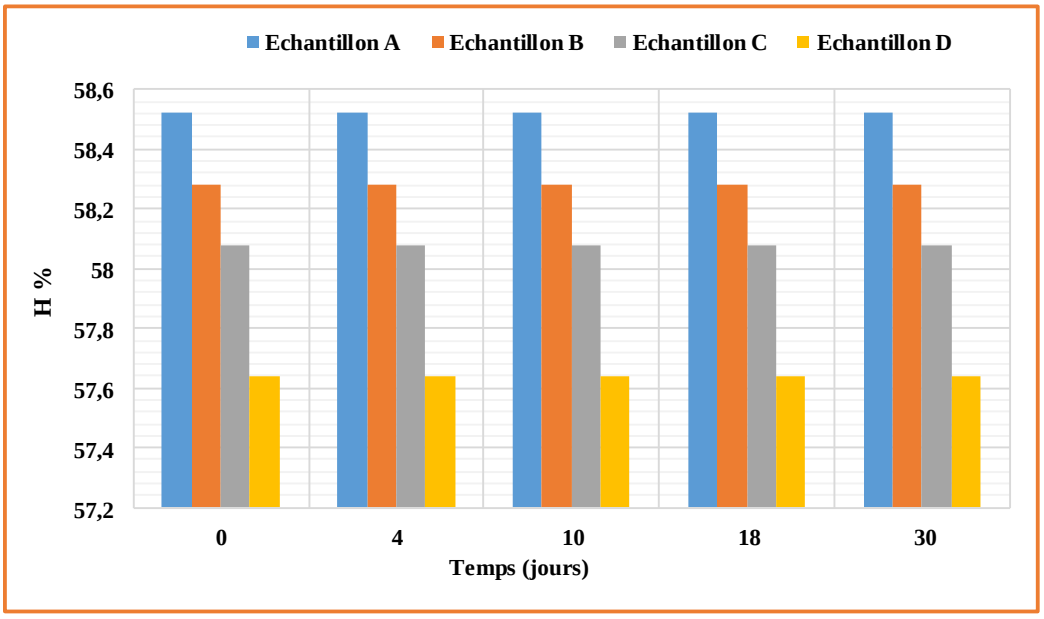


Figure 19 : Evolution de l'humidité durant la conservation des fromages fondus élaborés.

Le taux d'humidité est un paramètre physico-chimique qui renseigne sur la consistance du fromage, il est inversement proportionnel à la dureté du fromage (Cavalcante, 1995). Selon Mahon et ses collaborateurs, les propriétés fonctionnelles des fromages sont contrôlées par la composition chimique, y compris le taux d'humidité (Mahon et al., 1999).

Le taux de l'humidité est de l'ordre de 58,52% pour le fromage témoin ; de 58,28% pour le fromage à 0,1g de curcuma ; de 58,08% pour le fromage à 0,5g de curcuma et de 57,64% pour le fromage à 1g de curcuma toute au longue de la période de conservation (30

jours à 6°C), cette différence est due probablement à l'ajout des déférentes concentrations en curcuma. En effet l'humidité des fromages est liée à leur teneur en matière sèche, c'est-à-dire, un fromage très riche en matière sèche apparait le moins humide.

Nos résultats sont intense a ceux obtenus par Adjelan (2018), qui dans le cadre de contrôle qualité des fromages fondus de RAMDY, a trouvé des valeurs varient entre 52,58% et 50,40% (Adjelan, 2018). Nos résultats indiquent la conformité à la norme exigée par l'entreprise qui doit être entre 56,5% et 59,5% (RAMDY, 2021).

IV-2-2-4-Détermination du taux de la matière grasse (MG)

Le taux de la matière grasse des échantillons étudiés de fromage fondu sont illustrés dans la figure 20.

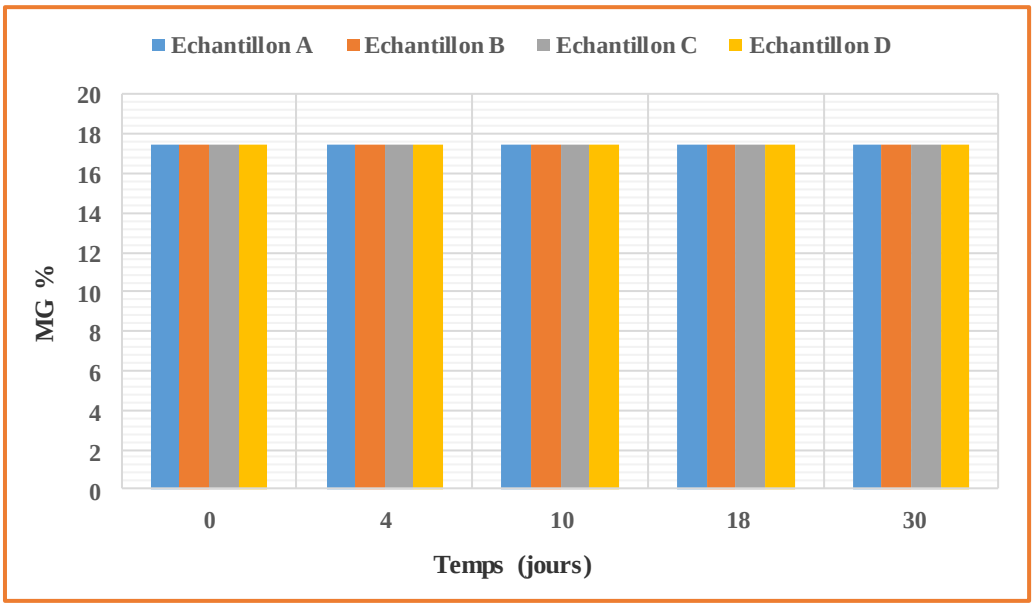


Figure 20 : Variation de la teneur en matière grasse des fromages fondus élaborés en fonction du temps.

La matière grasse joue un rôle essentiel dans la texture du fromage et lui confère sa saveur et son caractère particulier. Elle contribue aussi à prolonger sa durée de conservation (Cavalcante, 1995). D'après Gelais et ses collaborateurs, la matière grasse transporte de composés aromatiques liposolubles d'où sa contribution à la qualité sensorielle du fromage (Gelais et al., 2002).

D'après nos résultats, le taux de la matière grasse des échantillons de fromage était de 17,5% durant toute la période de conservation (30 jours à 6°C), ce qui montre que le curcuma ajouté na pas influencé sur la teneur en matière grasse. Ces résultats sont conformes à la

norme fixée par l'entreprise qui doit être entre 17% et 19% (RAMDY, 2021). Les résultats obtenus par Boudries (2018), sont comparable à nos résultats. Il a constaté que le taux de la matière grasse reste constant pour le fromage enrichi en poudre de romarin durant tout la période de conservation (25 jours à 6°C).

A travers les travaux réalisés par Zantar et ses collaborateurs, et par Messaour, ils ont constaté que l'incorporation de l'huile essentiel de myrte, thym, romarin et d'orange sur le fromage ; n'ont pas un effet sur la matière grasse (Zantar et ses collaborateurs al., 2013 ; Messaour,2018).

IV-2-2-5-Détermination du rapport de matière grasse /matière sèche (MG/MS)

Les résultats du rapport de matière grasse /matière sèche des échantillons étudiés de fromage fondu sont illustrés dans la figure 21.

Le taux de la matière grasse dans l'extrait sec contribue directement aux propriétés organoleptiques notamment l'onctuosité qui se caractérise par le toucher gras d'un produit. Le bon choix de la matière première et le respect de la technique de fabrication permettent l'obtention de produits dans une large gamme de textures : de fluide à ferme et de tartinable à tranchable (Eck et Gillis, 2006).

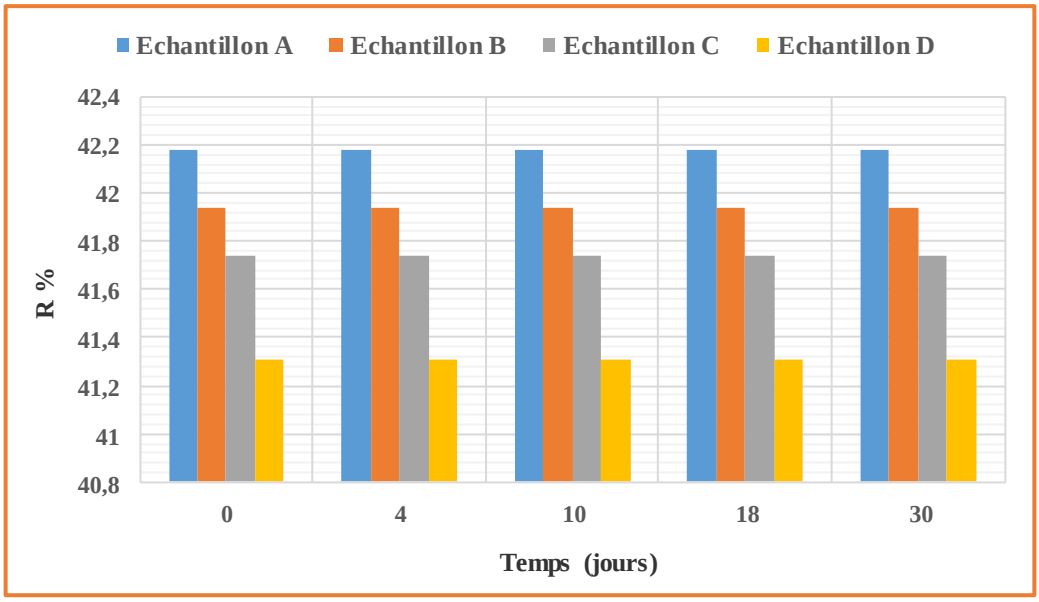


Figure 21 : Variation du rapport de matière grasse /matière sèche des fromages fondus élaborés en fonction du temps.

Les résultats de la présente étude montrent que les valeurs de ce rapport sont respectivement de 41,94 %, 41,74% 41,31 pour les fromages enrichis en curcuma par 0,1g, 0,5g et 1g et de 42,18% pour le formage témoin. Nos résultats sont conforment à la norme fixée par l'entreprise RAMDY qui est entre 40% et 45% (RAMDY, 2021).

Les résultats du rapport de matière grasse /matière sèche que nous avons obtenus sont faibles par rapport à ceux obtenus par Adjelan (2018), qui, dans le cadre de contrôle qualité des fromages fondus de RAMDY, a trouvé 50,73%. Le Codex alimentaire (1978), préconise un taux du rapport de matière grasse /matière sèche variant de 10 à 65% pour les fromages fondus pour tartine et les fromages fondu en bloc. En absence d'une norme algérienne, les services du CACQE (Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage), évaluent ce paramètre et l'interprètent uniquement pour seul but de vérifier la conformité du produit (Benamara, 2017).

Vu que les résultats obtenus dans les analyses physico-chimiques des échantillons de fromages élaborés sont conformes aux normes exigées par l'entreprise, nous pouvons conclure que nos produits sont de qualité physico-chimique satisfaisante.

IV-2-3-Analyses microbiologiques

L'objectif des analyses microbiologiques effectuées est de rechercher ou de quantifier un certain nombre de micro-organismes dans le but de vérifier que la qualité des fromages correspond aux objectifs fixés.

Les résultats des analyses microbiologiques du notre produit fini exprimés en UFC/ml, pendant la durée de 30 jours, sont représentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats d'analyses microbiologiques des quatre échantillons de fromage fondu étudiés.

Germe	Temps (jours)	Echantillons				Norme RAMDY (UFC/ml)
		A	B	C	D	
Coliformes totaux	0	-	-	-	-	10^2
	4	-	-	-	-	
	10	-	-	-	-	
	18	-	-	-	-	
	30	-	-	-	-	
Coliformes fécaux	0	-	-	-	-	10
	4	-	-	-	-	
	10	-	-	-	-	
	18	-	-	-	-	
	30	-	-	-	-	
Staphylococcus aureus	0	-	-	-	-	10^2
	4	-	-	-	-	
	10	-	-	-	-	
	18	-	-	-	-	
	30	-	-	-	-	
Levures et Moisissures	0	-	-	-	-	10^{3} *
	4	-	-	-	-	
	10	-	-	-	-	
	18	-	-	-	-	
	30	-	-	-	-	

(-) Signifie absence, (*) Norme de JOA N°20.

Selon Cardinal et ses collaborateurs, les indicateurs de la qualité et des bonnes pratiques de fabrication des aliments sont les microorganismes et/ou leurs produits métaboliques, dont la présence dans des aliments peut être utilisée pour évaluer la qualité d'un produit (Cardinal et al., 2003).

V-2-3-1- Recherche des coliformes totaux et fécaux

L'analyse microbiologique ne révèle aucune contamination des échantillons en coliformes totaux et fécaux durant la période de conservation (tableau 12).

Selon Larpent, la présence des coliformes totaux n'est pas obligatoirement une indication directe de la contamination fécale (Larpent, 1996). La présence des coliformes fécaux est considérée comme un indice de contamination fécale, il s'agit plutôt de marqueurs de mauvaise maitrise d'hygiène ainsi qu'a la mauvaise manipulation (Guiraud et Rosec, 2004), leurs existences dans les fromages, révèle l'insuffisance de l'opération thermique ou une contamination après chauffage (Dadémanao, 1966).

Les résultats obtenus de la recherche des coliformes totaux et fécaux dans les quatre échantillons des fromages fondus montrent le respect de toutes les conditions de manipulation et de sécurité hygiéniques durant le travail.

IV-2-3-2-Recharche de *Staphylococcus aureus*

Pour les *Staphylococcus aureus*, nous constatons l'absence totale de ce germe dans les échantillons des fromages analysés (tableau 12). Nos résultats sont en conformité avec la norme de l'entreprise RAMDY (RAMDY, 2021).

Selon Guiraud et Rosec, la bonne conduite d'hygiène au moment de la production rend notre produit exempt de *Staphylococcus aureus* (Guiraud et Rosec, 2004). La présence de ce microorganisme peut causer de sérieux problème sanitaire pour le consommateur.

Staphylococcus aureus est une des principales causes de toxi-infections alimentaire collectives (TIAC) qui possède un potentiel important de pathogénicité qui produit des entérotoxines qui sont thermostables libérés dans les aliments et qui provoque des nausées, des vomissement, des diarrhée et des douleurs abdominales (Cretenet et al., 2010).

Les produits laitiers, en particulier les fromages, sont particulièrement incriminés dans les TAICs à *S. aureus*. Si la virulence et la physiologie de *S. aureus* sont largement étudiées en laboratoire, elles sont assez peu documentées dans le contexte fromage. Le fromage constitue un écosystème complexe et dynamique dans lequel *S. aureus* est soumis à des conditions physico-chimiques changeantes et particulières : divers stress (milieu carencé en acides aminés libres, température), croissance en milieu liquide puis matrice solide (Cretenet et al., 2010).

IV-2-3-3-Recherche des levures et moisissures

L'analyse microbiologique ne révèle aucune présence des levures et moisissures pour les quatre échantillons, pendant la durée de 30 jours de la période de conservation (tableau 12).

La présence des levures, sont soit à l'origine de l'altération des produits laitiers, soit de la fermentation alcoolique indésirable du fait du gaz carbonique produit. Seul *Candida albicans* et *Cryptococcus neoformans* sont toxiques (Dadémanao, 1966).

En dehors du genre *Penicillium* présentant une utilité et un avantage incontestable en fromagerie, les autres sont souvent indésirables en industrie alimentaire (Dadémanao, 1966). D'après Billaudelle, leur développement excessif sur les fromages modifie ses caractères organoleptiques qui peuvent aussi être responsables de trois types d'infections (Billaudelle, 1977) :

- ✓ Les infections (mycoses) contagieuses bronchiques et pulmonaires dues surtout à *Aspergilus flavus* et *Aspergilus fumigatus*.
- ✓ Les allergies, suite au contact ou à l'inhalation des spores de moisissures. Elles causent souvent des dermatites ou des conjonctivites.
- ✓ Les mycotoxicoses ayant pour origine les mycotoxines. Certaines moisissures élaborent des mycotoxines thermostables et liposolubles difficiles à éliminer.

Notre analyse microbiologique a montré l'absence totale des germes recherchés tel que les coliformes totaux et fécaux, les *Staphylococcus aureus* ainsi que les levures et les moisissures. La recherche de ces germes permet de limiter les accidents, de garantir la qualité hygiénique des produits, et par-delà d'augmenter les ventes au profit des diminutions des pertes. Car l'utilisation des matières premières de bonne qualité microbiologique réduit les risques de pertes (Dadémanao, 1966).

Donc, notre produit est de qualité microbiologique satisfaisante concernant tous les germes recherchés et ceci conformément aux normes de l'entreprise RAMDY (RAMDY, 2021).

IV-2-4-Résultats d'analyses sensorielles

L'analyse sensorielle des quatre échantillons de fromages préparés à différentes concentrations de curcuma a été réalisée sur une population de 50 testeurs (enseignants,

étudiants et des experts en analyse de la flaveur des produits alimentaires de la laiterie RAMDY).

Les pourcentages d'appréciation divergente ont été obtenus pour les différents attributs sensoriels pour les quatre types de fromage testés.

Ces résultats sont présentés dans les figures et les tableaux ci-dessous qui rassemblent les profils sensoriels des quatre échantillons de fromages préparés à différentes concentrations de curcuma (A : témoin 0 g, B : 0,1 g, C : 0,5 g, D : 1g) avec différents attributs sensoriels qu'ils sont :

- ✓ La couleur ;
- ✓ L'odeur ;
- ✓ Le goût ;
- ✓ La texture ;
- ✓ L'arrière-goût ;
- ✓ Le choix préférentiel.

IV-2-4-1-La couleur

Les résultats d'appréciation de la couleur des quatre échantillons de fromage sont présentés sous formes de pourcentage dans le tableau 13 et illustrés dans la figure 22.

Tableau 13 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur la couleur.

Paramètres sensoriels	Le code d'échantillon	Blanche	Jaune clair	Jaune vif	Jaune orangé
La couleur	Fromage A	92%	8%	0%	0%
	Fromage B	0%	92%	8%	0%
	Fromage C	0%	4%	88%	8%
	Fromage D	0%	0%	4%	96%

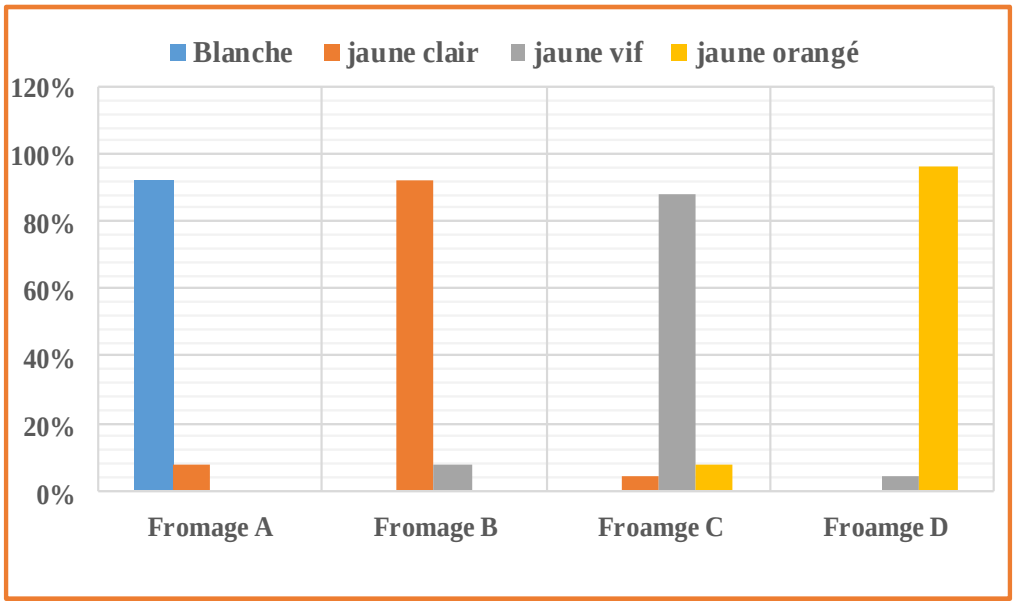


Figure 22 : Résultats de l'appréciation des produits selon la couleur.

D'après la figure 22, l'étude sensorielle a montré l'existence de différence notable liée à l'attribut couleur. Les dégustateurs ont constatés que la couleur de plus en plus foncé selon la concentration de curcuma ajoutée.

Le tableau 13 montre que 92% des dégustateurs ont classés le fromage A d'une couleur blanche, avec le même pourcentage pour le fromage B d'une couleur jaune clair. Cependant le fromage C a été classé par 88% d'une couleur jaune vif et 96% pour fromage D d'une couleur jaune orangé.

Une étude a était effectuée par Boudries, sur l'enrichissement de fromage par le romarin, les résultats révèlent que les concentrations 0,5g et 0,75g ont une intensité positive très importante pour la couleur (Boudries, 2018).

Une autre étude a était réalisée par Maameri et Baghdali, sur le fromage frais élaboré par les graines entières et la poudre de *Pin halepensis Mill*. Ils ont constaté qu'a même concentration de 2g, les deux pâtes de fromages sont de couleur blanche. Ces auteurs ont expliqué leurs résultats par l'ajout de vinaigre lors du processus de fabrication du fromage (Maameri et Baghdali, 2019).

IV-2-4-2--L'odeur

Les résultats d'appréciation de l'odeur des quatre échantillons sont présentés sous formes de pourcentage dans le tableau 14 et illustrés dans la figure 23.

Tableau 14 : Les résultats de l'appréciation de l'odeur de nos fromages par les dégustateurs.

Paramètres sensoriels	Le code d'échantillon	Absente	Faible	moyenne	Forte	Très forte
L'odeur	Fromage A	54%	32%	8%	2%	4%
	Fromage B	18%	60%	20%	2%	0%
	Fromage C	12%	38%	34%	14%	2%
	Fromage D	10%	26%	22%	32%	10%

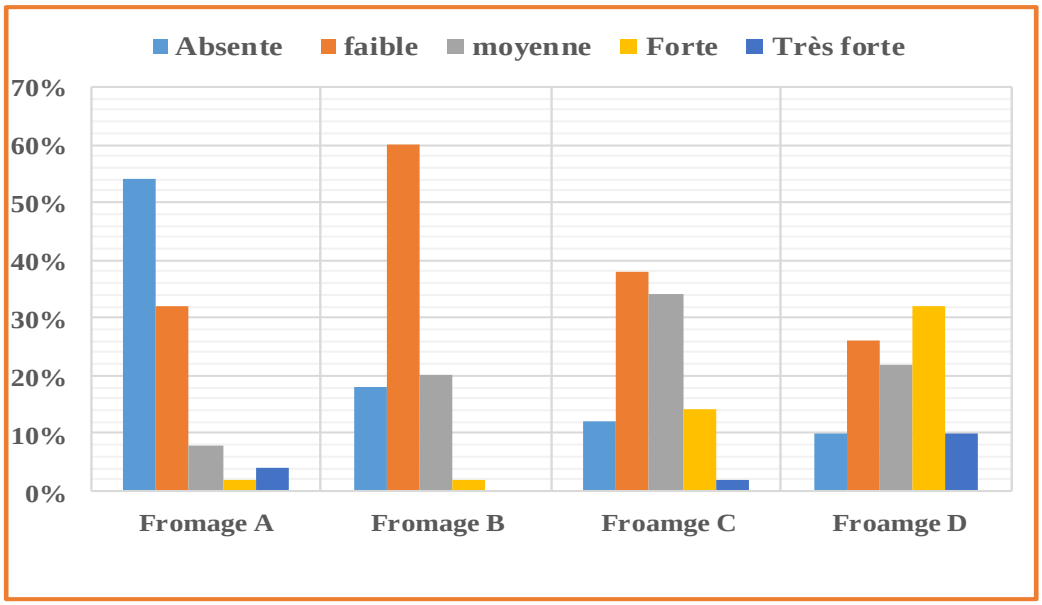


Figure 23 : Résultats de l'odeur de nos échantillons.

Le tableau 14 et la figure 23 montre que l'attribut sensoriel «odeur» pour les deux fromages B et C, ont obtenus le pourcentage d'appréciation le plus élevé par les dégustateurs. Alors que l'attribut sensoriel «odeur » forte est attribué au fromage D.

Curcuma aromatica est une espèce très caractéristique par sa richesse en camphre (26,94%) qui est une substance aromatique d'odeur forte (Al-Reza et al., 2010), de ce fait l'échantillon D a 1g de curcuma est défini par une odeur intense par rapport aux autres échantillons.

IV-2-4-3--Le goût

Les résultats d'appréciation de goût des quatre échantillons sont présentés sous formes de pourcentage dans le tableau 15 et illustrés dans la figure 24.

Tableau 15 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur le goût.

Paramètres sensoriels	Le code d'échantillon	Acide	Salé	Sucré	Amère
Le goût	Fromage A	8%	80%	12%	0%
	Fromage B	4%	88%	4%	4%
	Fromage C	8%	60%	20%	12%
	Fromage D	0%	36%	28%	36%

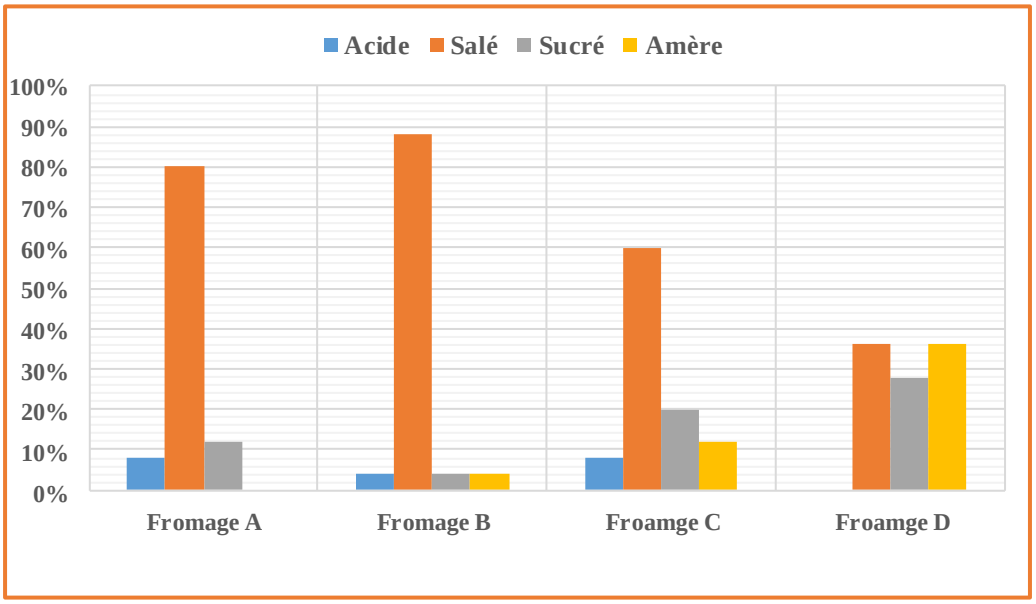


Figure 24 : Résultats de goût de nos échantillons.

L'attribut sensoriel salé est classé par la plupart des dégustateurs pour les trois fromages A, B et C avec un pourcentage qui varie entre 60% et 88%. En outre le fromage D disparate entre salé, sucré et amère (tableau 15).

D'après la figure 24, nous constatons que le pourcentage du goût varié entre salé et sucré selon l'augmentation de la dose, qui est due à la richesse de *Curcuma aromatica* en sucre (composition en glucide entre 55% et 70% par 100g) et le goût salé est due à la présence de 0,95g de sel dans le fromage fondu (Hombourger, 2010 ; OFF, 2020).

IV-2-4-4--La texture

Les résultats d'appréciation de la texture des quatre échantillons se présenté sous formes de pourcentage dans le tableau 16 et illustrés dans la figure 25.

Tableau 16 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur la texture.

Paramètres sensoriels	Le code d'échantillon	Liquide	Crémeux	Onctueuse	Dure
La texture	Fromage A	0%	80%	20%	0%
	Fromage B	0%	52%	48%	0%
	Fromage C	0%	36%	64%	0%
	Fromage D	0%	28%	62%	10%

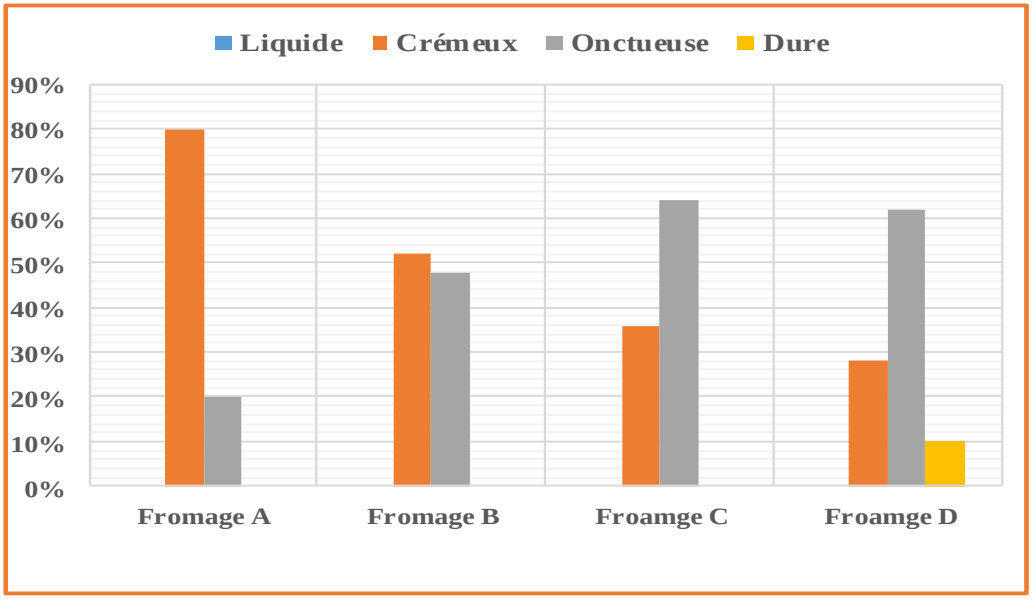


Figure 25 : Résultats de la texture de nos échantillons.

D'après la figure 25 on remarquant que la texture crémeuse diminue vers une texture onctueuse selon les doses ajoutées.

Le tableau 16 montre que les dégustateurs ont qualifié majoritairement le fromage A crémeux et les trois fromages fondus enrichis B, C, et D de plus en plus onctueux. A une grande quantité, le curcuma rond la pâte plus granuleuse, onctueuse, ferme et astringente ce qui explique que le fromage D est le plus onctueux par rapport aux fromages B et C avec la présence des granules non dissoutes.

IV-2-4-5-Arrière-goût

Les résultats d'appréciation de l'arrière-goût des quatre échantillons sont présentés sous formes de pourcentage dans le tableau 17 et illustrés dans la figure 26.

Tableau 17 : Les résultats de test hédonique de fromage fondu sur l'arrière-goût.

Paramètres sensoriels	Le code d'échantillon	Absente	Faible	Moyen	Fort	Très fort
L'arrière-goût	Fromage A	100%	0%	0%	0%	0%
	Fromage B	56%	32%	12%	0%	0%
	Fromage C	30%	28%	32%	10%	0%
	Fromage D	39%	38%	16%	18%	22%

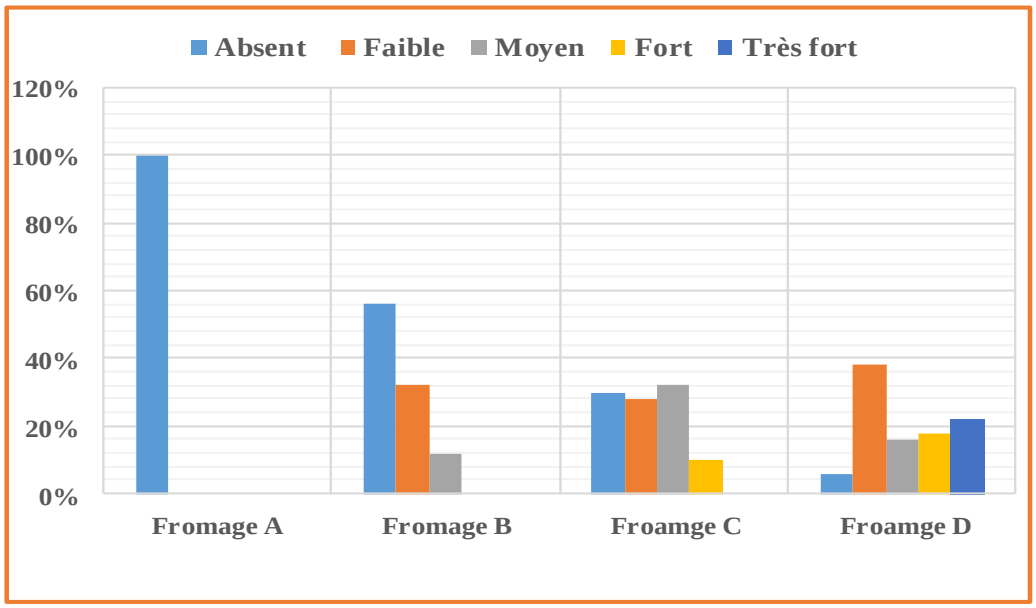


Figure 26 : Résultats de l'arrière-goût de nos échantillons.

Selon la figure 26, nous constatons que les petites concentrations en curcuma n'ont pas vraiment influencé sur le goût de fromage. Par contre la plus grande quantité a montré une légère augmentation de l'arrière-gout.

Le fromage A est à 100% sans arrière-goût suivi par le fromage B avec un pourcentage de 56%. En outre le fromage C est dans des proportions différentes entre un arrière-goût absent, faible et moyen. Nos résultats indiquent que le fromage D est en contradiction sur l'arrière-goût.

IV-2-4-6-Les choix préférentiels des fromages

Les résultats des choix d'appréciation de nos quatre échantillons sont présentés dans le tableau 18 et illustrés dans la figure 27.

Tableau 18 : Les résultats des choix d'appréciation de test hédonique des échantillons.

Le code d'échantillon	Note selon la préférence								
	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	9/9
Fromage A	0%	0%	0%	0%	4%	12%	16%	44%	24%
Fromage B	0%	0%	0%	0%	2%	8%	22%	20%	48%
Fromage C	0%	0%	0%	0%	6%	4%	20%	36%	34%
Fromage D	0%	0%	0%	12%	8%	12%	32%	28%	8%

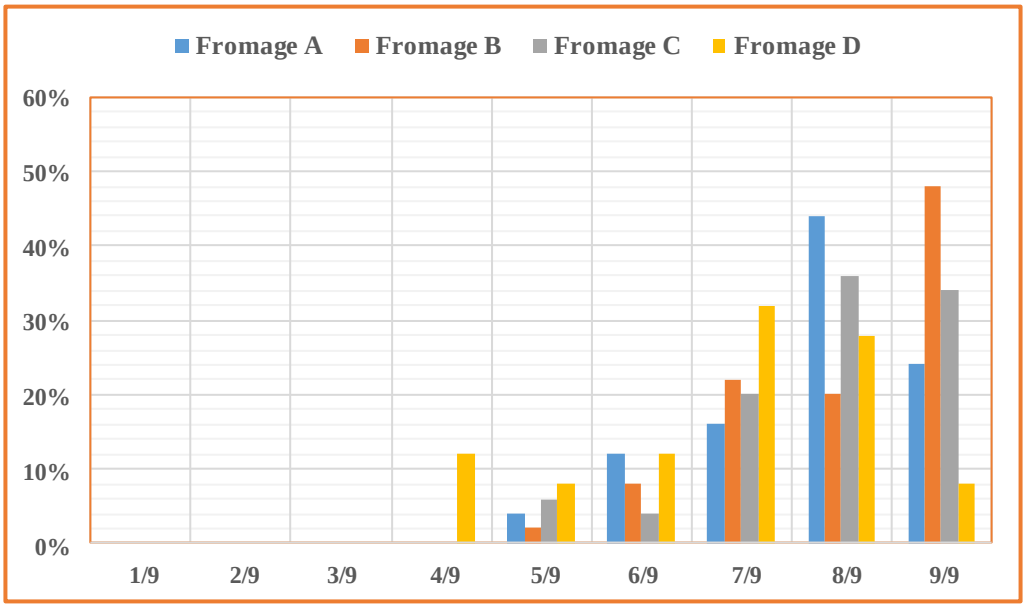


Figure 27 : Résultats des choix d'appréciation des quatre échantillons.

Les résultats de tableau 18 et la figure 27 indiquent que les dégustateurs ont notés les quatre préparations de fromage par ordre de préférence selon l'intensité du goût en attribuant le premier rang au fromage B, suivi par le témoin A en deuxième rang, et le fromage C en troisième rang. Enfin le fromage fondu le plus aromatisée D à 1g se voyait en quatrième rang.

Ces résultats permettent de conclure que les petites concentrations incorporés en *Curcuma aromatica* choisis dans le fromage fondu modifient la couleur, le goût ainsi que la texture sans toucher les caractéristiques de l'odeur et de l'arrière-goût de cet aliment.

Par contre, les grandes quantités de *Curcuma aromatica* incorporés dans le fromage fondu modifient la couleur, le goût, la texture et l'arrière-goût avec un changement d'odeur qui n'est par remarquable.

Le curcuma est une épice très caractéristique, à cause de sa belle couleur jaune soutenue avec un goût très particulier mais également peu prononcé, au point de vue nutritionnelle, le curcuma possède des propriétés médicamenteuses qui ont souvent une réelle efficacité contre plusieurs maladies, son association avec les aliments rond le produit plus riche en nutriments et molécules bioactives.

Conclusion

En Algérie le fromage le plus consommé est le fromage fondu, cette préférence s'explique par la longue durée de conservation qui n'a pas besoin d'une chaine de froid et par le fait qu'il est également le plus abordable. Cette tendance du marché alimentaire algérien a suscité notre curiosité, c'est pour cela que nous avons focalisé notre travail sur l'enrichissement de ce fromage par le curcuma, qui est une plante médicinale utilisée pour ses propriétés particulières bénéfiques, et l'évaluation de sa qualité nutritive et marchande par des analyses physicochimiques et microbiologiques.

De ce fait, notre travail s'est articulé autour de déférents axes de recherche :

Le premier concerne la technologie du fromage et plus particulièrement le fromage fondu qu'est un produit alimentaire de seconde transformation, obtenu après mélange et cuisson des fromages, additionnés éventuellement d'autres ingrédients laitiers.

En la seconde phase, nous nous sommes intéressés de contrôler la qualité microbiologique de la matrice végétale utilisé (recherche de certains germes tels que : Entérobactéries, *staphylococcus aureus*, *Clostridium* Sulfito-Réducteur ainsi que les levures et moisissures).

En troisième phase, nous avons formulé différentes échantillons de fromage fondu enrichis en *Curcuma aromatica*, et faire un suivi sur le contrôle de leur qualité en faisant des analyses physicochimiques (pH, détermination de l'extrait sec, l'humidité, taux de la matière grasse et rapport de matière grasse /matière sèche) et microbiologiques (recherche de certains germes tels que : Les coliformes totaux et fécaux ; *Staphylococcus aureus*, levures et moisissures).

En quatrième phase, un test sensoriel a été réalisé pour apprécier une éventuelle valorisation de cette épice.

Au cours de cette étude, nous avons pu dégager les conclusions suivantes :

- ✓ Le résultat d'analyse microbiologique a montré que la poudre de *Curcuma aromatica* pouvait être contaminée par différents microorganismes notamment des germes pathogènes comme *Staphylococcus aureus*, responsables de toxi-infections alimentaires.
- ✓ Nous n'avons pas pu appliquer des doses élevées de curcuma dans le fromage fondu (> 1g), puisqu'elles affectent les propriétés organoleptiques en donnant un goût amère au produit.

✓ Les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont montrés que les quatre fromages fondus élaborées, sont propres à la consommation et possèdes une qualité satisfaisante et conformes aux normes exigées par RAMDY ce qui révèle la bonne pratique des règles d'hygiène et de fabrication.

✓ Les analyses sensorielles réalisées montrent que l'incorporation de curcuma dans le fromage fondu, pour des petites concentrations, n'entraine aucune différence significative de point de vue aromatisation, et donnent des produits classés indifféremment avec le témoin. Seul le taux d'incorporation de 1g a déclassé significativement le produit par rapport au témoin en quatrième rang, les dégustateurs préfèrent le fromage qui contient une concentration de 0,1g.

Au cours de ce travail, les approches expérimentales ont touchés à différents axes. Cette thématique de recherche abordée dans ce travail est encore très limitée et pourraient être le point de départ de certains objectifs à envisager tels que :

- Etudier les activités biologiques de curcuma afin de mettre en évidence d'éventuelles activités : antioxydante, anti-inflammatoire et antimicrobienne.
- Déterminer la nature chimique des molécules bioactifs d'intérêts et identifier les composés phénoliques.
- L'effet antimicrobien de curcuma une fois vérifier dans la matrice fromagère pourrait être proposé comme bioconservateur et bioadditif pour éviter ainsi l'utilisation des additifs / conservateurs chimiques.

Références bibliographiques

-A-

Abakar, M. (2012). Essai de fabrication d'un fromage frais traditionnel sénégalais à partir du lait de vache coagulé par la papaïne naturelle. Mémoire Master. Qualité des aliments de l'homme. Dakar : Université Cheiken Anta. 31p.

Acco, M., Ferreira, F. S., Henriques, J. A. P. et Tondo, E. C. (2003). Identification of multiple strains of *Staphylococcus aureus* colonizing nasal mucosa of food handlers. Food Microbiology, 20(5), 489-493.

Adjelane, S. (2018). Analyses physico-chimiques et microbiologiques de deux fromages fondu pasteurisés produits par la SARL Ramdy. Mémoire Master. Ecologie microbienne. Béjaia : Université Abd Rahman Mira. 30p.

Aggarwal, B. B., Surh, Y. J. et Shishodia, S. (2007). The molecular targets and therapeutic uses of curcumin in health and disease. Ed 01, New York : Springer Science & Business Media. 492p.

Akoachere, J. T., Ndip, R. N., Chenwi, E. B., Ndip, L. M., Njock, T. E. et Anong, D. N. (2002). Antibacterial effects of *Zingiber officinale* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. East African medical journal, 79(11), 588-592.

Al-Reza, S. M., Rahman, A., Parvin, T., Rahman, M. M. et Rahman, M. S. (2011). Chemical composition and antibacterial activities of essential oil and organic extracts of *Curcuma aromatica* Salisb. Journal of food safety, 31(4), 433-438.

Al-Reza, S. M, Rahman, A., Sattar, M. A, Rahman, M.O. et Fida, H. M. (2010). Composition d'huile essentielle et activités antioxydantes de *Curcuma aromatica Salisb*. Toxicologie alimentaire et chimique, 48 (6), 1757-1760.

Araujo, C. A. C. et Leon, L. L. (2001). Biological activities of *Curcuma longa* L. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 96(5), 723-728.

AFNOR, (1986). Lait et produits laitiers, méthodes d'analyse. NFV 04 346, 16p.

Azzoune, N., Mokrane, S., Riba, A., Bouras, N., Verheecke, C., Sabaou, N. et Mathieu, F. (2015). Contamination of common spices by aflatoxigenic fungi and aflatoxin B1 in Algeria. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 8(1), 137-144.

-B-

Badmaev, V. et Majeed, M. (2000). Tétrahydrocurcuminoïdes (THC) en tant que bioprotecteur cutané. Agro-alimentaire Hi-Tech , 11 (1), 26-27.

Benaissa, O. (2011). Etude des métabolismes terpénique et flavonique d'espèces de la famille des composées, genres *Chrysanthemum* et *Rhantherium* (Doctoral dissertation). Chimie organique. Constantine : Mentouri Constantine. 271p.

Benamara, R. N. (2017). Identification et caractérisation de spores de *Bacillus cereus* isolées de fromages fondus fabriqués en Algérie. Doctoral dissertation. Microbiologie. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid. 64 p.

Banerjee, M. et Sarkar, P. K. (2003). Qualité microbiologique de certaines épices vendues au détail en Inde. Food Research International, 36 (5), 469-474.

Bennett, R. J. et Johnston, K. A. (2004). General aspects of cheese technology. Cheese: chemistry, physics and microbiology. Academic Press, 2 (13), 23-50.

Benyahia M. et hamdadou O. (2008). Etude comparative de la qualité et de la stabilité du fromage fondu pasteurisé avec ou sans conservateurs fabriqué au niveau de L.F.B. Mémoire Master. Biologie. Boumerdes: Université Bougarra. 51p.

Berger, T., Butkofer, U., Rech, C-H., Eckhart, J., Dubach, A., Stalder, M., Luczinski, K., Schmidr1. et Stalder, U. (2004). Manuel Suisse des denrées alimentaires. Le lait. Office fédéral de la santé publique, 1 (11), p118.

Berger, W., Klostermeyer, H., Merkenich, K. et Uhlmann, G. (1993). Raw materials and added ingredients. Processed Cheese Manufacture, H. Klostermeyer. Ed 01, BK Ladenburg: Joha Guide. 94-97.

Billaudelle, D. (1977). Moisissures et mycotoxines dans les denrées alimentaires animales et d'origine animale. Doctoral dissertation. Vétérinaire. Toulouse : École nationale de vétérinaire. 31p.

Bouix, M. et Leveau J. Y. (1984). Contrôle Microbiologique, biotechnologie. Ed 01. Paris : Lavoisier. Tec et Doc. 469p.

Boularak, A. (2005). Guide des déterminations analytiques des laits et produits laitiers. Ministère du commerce. 22p.

Bourachot, M. (2017). Traitement des mammites chez la vache laitière. Doctoral dissertation. Vétérinaire. Lyon : Université Claude Bernard. 116p.

Boutonnier, J. L. (2000). Fabrication du fromage fondu. Ed 01. Poligny : Techniques Ingénieur. p11.

Boutonnier, J. L. (2012).). Fabrication du fromage fondu. Ed 01. Paris : Techniques Ingénieur. p14.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Ed 05. Paris : Lavoisier. Tec et doc. 1504p.

-C-

Cardinal, P., Barthe, C., Daigle, P., Desroches, F.P. et Veillette, L. (2003). Lignes directrices pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire. Comité provincial sur l'uniformisation et l'interprétation des critères microbiologiques des aliments. 61p.

Cavalcante, A. B. D. (1995). Influence des facteurs de composition sur les propriétés texturales d'un fromage fondu de type requeijão. Doctoral dissertation. Biotechnologies et Industries Alimentaires. Lorraine : Institut National Polytechnique. 163p.

Chambre, M. et Daurelles, J. (1997). Le fromage fondu : Le Fromage. Ed 03. Paris : Lavoisier. Tec et doc. 24p.

Chen, D. Y., Shien, J. H., Tiley, L., Chiou, S. S., Wang, S. Y., Chang, T. J. et Hsu, W. L. (2010). La curcumine inhibe l'infection par le virus de la grippe et l'activité d'hémaglutination. Food Chemistry, 119 (4), 1346-1351.

Chikh, I. et Rachem, L. (2017). Analyse microbiologique de quelques épices. Doctoral dissertation. Alimentation Humaine et Qualité des Produits. Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri. 76p.

Choi, Y. M., Noh, D. O., Cho, S. Y., Suh, H. J., Kim, K. M. et Kim, J. M. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of propolis from several regions of Korea. LWT-Food Science and Technology, 39 (7), 756-761.

Christensen, J., Povlsen, V. T. et Sørensen, J. (2003). Application of fluorescence spectroscopy and chemometrics in the evaluation of processed cheese during storage. Journal of Dairy Science, 86(4), 1101-1107.

Claude, J. M., Michel, P. et Jacques, R. (2002). Lait de consommation. Science et technologie du lait. Ed 01. Québec : Presses Internationales Polytechnique. 277-321.

Codex Alimentaire. (1978). Norme codex pour le fromage fondu et le fromage fondu pour tartine portant un nom de variété. Norme codex pour les préparations à base de fromage fondu, 5p.

Cretenet, M., Rivière, J., Rault, L., Nouaille, S., Loubière, P., Le Loir, Y. et Even, S. (2010). Atténuation de la virulence de staphylococcus aureus en matrice fromagère. Journées des microbiologistes de l'Inra, 66(1), 194p.

-D-

Dadémanao, P. (1966). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des laits et produits laitiers commercialisés au Togo. Doctoral dissertation. Médecine vétérinaire. Dakar : Université Cheikh Anta. 143p.

Delaveau, P. (1987). Les épices: Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments. Revue d'histoire de la pharmacie, 75(272), 67-69.

Département Fédéral de l'Intérieur (DFI). (2016). Les résidus de substances pharmacologiquement actives et d'additifs pour l'alimentation animale dans les denrées alimentaires d'origine animale. Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires. 234p.

Dikshit, M., Rastogi, L., Shukla, R. et Srimal, R. C. (1995). Prevention of ischaemia-induced biochemical changes by curcumin & quinidine in the cat heart. The Indian journal of medical research, 101, 31-35.

Dimitreli, G., Thomareis, A. S. et Smith, P. G. (2005). Effect of emulsifying salts on casein peptization and apparent viscosity of processed cheese. International Journal of Food Engineering, 1(4), 17p.

Djali, F. et Hamadi, H. (2017). Formulation du fromage frais aromatisé à base d'*Artemisia herba-alba*. Mémoire Master. Science des aliments. Béjaia: Université Abd Rahman Mira. 75p.

Dulor, J P. (2002). La France aux 400 fromages. 30 Octobre, Montpellier : Ecole National Agronomique.

-E-

Eck, A. (1987). Le fromage. Ed 02. Paris : Lavoisier. Tec et doc. 390p.

Eck, A. et Gillis J. C. (1997). Le fromage. Ed 03. Paris : Lavoisier. Tec et doc. 874 p.

Eck, A. et Gillis J. C. (2006). Le fromage. Ed 03. Paris : Lavoisier. Tec et doc 891 p.

Evette, J. L. (1975). La fromagerie. Techniques vivantes. Paris : Presses universitaires de France. 140p

Ercolini, D., Russo, F., Nasi, A., Ferranti, P. et Villani, F. (2009). Mesophilic and psychrotrophic bacteria from meat and their spoilage potential in vitro and in beef. Applied and environmental microbiology, 75(7), 1990-2001.

-F-

Food and Agriculture Organization (F. A. O). (1996). Code de principes concernant le lait et les produits laitiers. Codex Alimentarius N°A-6-1978, 258p.

Fox, P. F. et McSweeny P. L. H. (1998). Dairy Chemistry and Biochemistry. Ed 02. Germany : Springer, Cham. 569-584.

Fredot, E. (2009). Connaissance des aliments. Ed 02. Paris : Lavoisier. Tec et doc. 25-70.

-G-

Gaucheron, F. (2004). Minéraux et produits laitiers. Ed 1. Lyon : Lavoisier. Tec et Doc. 922p.

Gelais, S. t. D., Tirard, C. P, Belonger, G., Couture, R. et Drapeau, R. (2002). Fromage. Sciences et technologies du lait, transformation de lait. Ed 01. Montréal : Ecole polytechnique de Montréal. 599p.

Google Maps. (2021). CNES/Airbus, Sarl Ramdy, sarl Ramdy ZAC Taharacht, Akbou Béjaia 06200. [Document cartographique].100m, Maxar technologie.

Goudédranche H., Camier, C. B., Gassi J. Y. et Schuck, P. (2008). Procédés de transformation fromagère. Techniques de l'Ingénieur, Traité Agroalimentaire. 2-15.

Groupe D'étude Des Marches De Restauration Collective Et De Nutrition (GEMRCN). (2009) : Spécification technique de l'achat public [en ligne]. Disponible sur: https://www.economie.gouv.fr/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/gem/produits_laitiers/produits_laitiers.pdf [Consulté le 24 avril 2021].

Guillouty, A. (2016). Plantes médicinales et antioxydants (Doctoral dissertation). Pharmacie. Toulouse : Université Toulouse lll-Paul Sabatier. 102p.

Guiraud, J. P. et Rosec, J. P. (2004). Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Ed 01. Afnor. 310p.

Guldner, S. (1986). Les Zingiberacées, une famille à épices. Doctoral dissertation. Pharmacie. Nancy : Université Nancy I. 86-102.

-H-

Hermier, J., Lenoir, J. et Weber, F. (1992). Les groupes microbiens d'intérêt laitier. Ed 01. Paris. : Cepil. 568p.

Holley, R. A. et Patel, D. (2005). Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. Food microbiology, 22(4), 273-292.

Hombourger, C. (2010). Le Curcuma, de l'épice au médicament. Doctoral dissertation. Sciences pharmaceutiques. Nancy I : UHP-Université Henri Poincaré. 223p.

-J-

Jansen, P., Grubben, G. et Cardon, D. (2005). Ressources végétales de l'Afrique tropicale. Ed 03. Wageningen : Colorants et tanins, 238p.

Jean.Y, C. (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Doctoral dissertation. Pharmacie. Nancy 1 : Université Henri Poincare. 184p.

Jeong, G. S., O. h, G. S., Pae, H. O., Jeong, S. O., Kim, Y. C., Shin, M. K.,et Chung, H. T. (2006). Comparative effects of curcuminoids on endothelial heme oxygenase-1

expression: ortho-methoxy groups are essential to enhance heme oxygenase activity and protection. Experimental & molecular medicine, 38(4). 393-400.

JOA: Journal officiel de la république Algérienne N°20, (1998). Arrêté interministériel du 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires, 23p.

JOA: Journal officiel de la république Algérienne N°25, (2014). La méthode de détermination de la teneur totale en matière sèche des fromages et des fromages fondus, p23.

JOA: Journal officiel de la république Algérienne N°39, (2017). Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires, Légumes, fruits, végétaux et produits à base de végétaux, p26.

JOA: Journal officiel de la république Algérienne N°67, (2014). Méthode de détermination de la teneur en matière grasse dans le fromage, p22.

JOA: Journal officiel de la république Algérienne N°73, (2016). La méthode de détermination du pH des denrées alimentaires en conserve, p18.

-K-

Kapoor, L. D. (1990). Manuel CRC des plantes médicinales ayurvédiques: CRC handbook of Ayurvedic medicinal plants. Ed 01. Boca Raton: CRC press. 424p.

Katz, S.H. et Weaver, H.H. (2003). Encyclopedia of food and culture. Ed 01. New York: Charles Scribner's Sons. 614p.

Kim, J. E., Kim, A. R., Chung, H. Y., Han, S. Y., Kim, B. S. et Choi, J. S. (2003). Activité de piégeage du peroxynitrite in vitro des diarylheptanoïdes de *Curcuma longa*. Recherche en phytothérapie, 17(5), 481-484.

Kojima, H., Yanai, T. et Toyota, A. (1998). Essential oil constituents from Japanese and Indian Curcuma aromatica rhizomes. Planta medica, 64(4), 380-38.

Kumar, A., Dora, J. et Singh, A. (2011). A review on spice of life *Curcuma longa* (turmeric). Jornal of applied biologie and pharmaceutical technology, 2(4), 371-379.

Kuptniratsaikul, V., Dajpratham, P., Taechaarpornkul, W., Buntragulpoontawee, M., Lukkanapichonchut, P., Chootip, C. et Laongpech, S. (2014). Efficacy and safety of *Curcuma domestica* extracts compared with ibuprofen in patients with knee osteoarthritis: a multicenter study. Clinical Interventions in Aging, 9(9), 451-458.

-L-

Lapointe, V. C. (2002). Science et technologie du lait: transformation du lait. Ed 01. Québec : Presses internationales polytechnique. 574p.

Larpent, J. P. (1996). Lait et produits laitiers non fermentés. Microbiologie alimentaire: aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Ed 01. Paris : Lavoisier. Tec et Doc. 294-272.

Lee, W. J. et Lucey, J. A. (2004). Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature. Journal of dairy science, 87(10), 3153-3164.

Le Jaouen, J. C. (1993). Guide national des bonnes pratiques en production fromagère fermière: recueil réglementaire: guide des bonnes pratiques fromagères. Institut de l'Elevage. 51p.

Leksir, C. (2018). Caractérisation, fabrication et consommation du dérivé laitier traditionnel 'Klila'dans l'Est Algérien. Doctoral dissertation. Biologie. Guelma : Université 8 mai 1945. 146p

Lévesque, P. (2007). La traite des vaches laitières. Etape par étape vers la qualité. Guide Pratique. Educagri Editions. Ed 01. Quèbec. 80p

Ligeon, B. (2017). Petit guide d'usage du curcuma pour votre santé. L'ile des épices.[en ligne]. Disponible sur le site : https://ileauxepices.com/blog/2017/05/03/pourquoi-et-comment-utiliser-le-curcuma-pour-la-sante/wpid13084/ [Consulté le 26 avril 2021].

Lonchampt, E. (2002). *Curcuma domestica* V. Zingibéracées. Doctoral dissertation. Sciences pharmaceutiques. Grenoble : Université Grenoble Alpes. 109p.

-M-

Maameri, Ch. et Baghdali, Z. (2019). Essai de mise au point d'un fromage frais enrichis avec les graines du pin d'Alep (*Pinus halpensis Mill*). Mémoire Master. Microbiologie appliqué. Bouira : Université Akli Mouhend Oulhadj. 77p.

Mahaut, M., Jeantet, R. et Brulé, G. (2000). Initiation à la technologie fromagère. Ed 01. France : Lavoisier Tec et doc. 178p.

Mahon, D. J., Fife R. L. et Oberg, C. J. (1999). Water partitioning in Mozzarella cheese and its relationship to cheese meltability. Journal of Dairy Science, 82(7), 1361-1369.

Mahony, R., Abbott, Y., Leonard, F. C, Markey, B. K, Quinn, P. J, Pollock, P. J. et Rossney, A. S. (2005). *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) isolé d'animaux et de personnel vétérinaire en Irlande. Journal of Dairy Science, 109(3-4), 285-296.

Mazumder, A., Neamati, N., Sunder, S., Schulz, J., Pertz, H., Eich, E. et Pommier, Y. (1997). Curcumin analogs with altered potencies against HIV-1 integrase as probes for biochemical mechanisms of drug action. Journal of medicinal chemistry, 40(19), 3057-3063.

Medjoudj, H. (2018). Contribution à l'étude pour la caractérisation du fromage traditionnel «Bouhezza» au lait de chèvre. Doctoral dissertation. Sciences Alimentaires. Constantine : Université Constantine 1. 142p.

Messaour, H. (2018). L'étude de l'effet de l'incorporation de l'huile essentielle d'orange dans le fromage fondu de la laiterie et fromagerie Boudouaou. Mémoir Master. Agroalimentaire et Contrôle de Qualité. Bouira : Universite Akli Mouhand Oulhadj. 69p.

Meyer, A. (1973). Processed cheese manufacture. Ed 01. London: P.F.Fox. 329p.

Mietton, B. (1995). La typologie des fromages. Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agricultures et Agroalimentaire Canada. 245 p.

Molin, N. E., Wåhlin, A. O. et Jansson, E. V. (1991). Transient wave response of the violin body revisited. Journal of the Acoustical Society of America, 90(4), 2192-2195.

Mossel, D. A. A., Mengerink, W. H. J. et Scholts, H. H. (1962). Use of a modified MacConkey agar medium for the selective growth and enumeration of *Enterobacteriaceae*. Journal of Bacteriology, 84(2), 381p.

-O-

OFF: Open Food Facts. (2020) [en ligne]. Disponible sur: https://world-fr.openfoodfacts.org/produit/6130348161553/fromage-fondu-ramdy [Consulté le 25 Mai 2021].

Ouari, A. (2017). Contribution à l'étude physico-chimique et microbiologique d'un type de fromage fondu. Mémoire Master. Sciences des aliments. Tlemcen : Université Aboubeker Belkaid. 29p.

Oxoid. (2001). Thermo Fisher scientific [en ligne]. Disponible sur : http://www.oxoid.com/FR/blue/prod_detail/prod_detail.asp?pr=CM0275&c=FR&lang=FR%20 [Consulté le 19 Mai 2021].

-P-

Paris, R. R. et Moyse, H. (1981). Précis de matière médicale. Ed 02. Paris: Masson. Tec et Med. 511p.

Peng, Y. H., Ueng, S. H., Tseng, C. T., Hung, M. S., Song, J. S., Wu, J. S., et Wu, S. Y. (2016). Important hydrogen bond networks in indoleamine 2, 3-dioxygenase 1 (IDO1) inhibitor design revealed by crystal structures of imidazoleisoindole derivatives with IDO1. Journal of medicinal chemistry, 59(1), 282-293.

Penso, G. (1986). Les plantes médicinales dans l'art et l'histoire. Ed 01. Paris : R. Dacosta. Dans l'art et l'histoire. 306p.

Perry, M. C. (2008). Évaluation de la curcumine comme agent anti-cancéreux dans le traitement des tumeurs cérébrales. Doctoral dissertation. Chimie. Montréal : université du Québec.97p.

Portes, E. (2008). Synthèse et études de tétrahydrocurcuminoïdes: propriétés photochimiques et antioxydantes : applications à la préservation de matériaux d'origine naturelle. Doctoral dissertation. Chimie organique. Bordeaux 1 : Ecole doctorale des sciences chimiques. 244p.

-*R*-

Ramdayal, S., Surender, S. J., Sabina,Y., Sandeep, B., Habibullah, K. et Mohamed, J. A. (2015). Simple, efficient, and improved synthesis of Biginelli-type compounds of curcumin as anticancer agents. Medicinal Chemistry Research, 24(2), 636-644.

Ramet, J. P. (1985). La fromagerie et les variétés de fromages du bassin Méditerranéen. Ed 01. Rome : FAO production et santé animales. 222p.

Randazzo, C. L., Caggia, C. et Neviani, E. (2009). Application of molecular approaches to study lactic acid bacteria in artisanal cheeses. Journal of Microbiological Methods, 78(1), 1-9.

Rakotonirina, M. F. S. (2012). Conception, formulation et fabrication d'une pommade contre l'arthrose et les maladies articulaires. Doctoral dissertation. Chimie Appliquée à l'Industrie et à l'Environnement. Madagascar : Antananarivo. 114p.

Richonnet, C. (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. Cahiers de nutrition et de diététique, 51(1), 48-56.

Roger, V. (1979). Technologie du lait : constitution, récolte, traitement et transformation du lait. Ed 03. Paris : La maison rustique. 428p.

Rougereau, A. (1984). Influence de la cuisson sur des produits frais, appertisés et congelés: asperges et cerises. Médecine et nutrition, 20(6), 401-405.

Roustel, S. (2014). Fromage fondu: physico-chimie du processus de fonte. Techniques de l'ingénieur, 2, 201-204.

-*S*-

Sabouraud, R. (1892). Contribution à l'étude de la trichophytie humaine. Etude clinique, microscopique et bactériologique sur la pluralité des trichophytons de l'homme. Ann. Dermatol. Syphil, 3, 1061-1087.

Salh, B., Assi, K., Templeman, V., Parhar, K., Owen, D., Gomez-Munoz, A., et Jacobson, K. (2003). Curcumin attenuates DNB-induced murine colitis. American journal of physiology-gastrointestinal and liver physiology, 285(1), 235-243.

Scott, R., Richard, K. R. et Wilbey, A. (1998). Cheese making practice. Ed 03. United Kingdom : Springer. Kluwer Academic. 466p.

Schorderet, M. (1998). Pharmacologie: des concepts fondamentaux aux applications thérapeutiques. Ed 03. France. Slatkine. Frison-Rocher. 1032p.

Shah, R. C., Wadher, B. J. et Bhoosreddy, G. L. (1996). Incidence and characteristics of *Bacillus cereus* isolated from Indian foods. Journal of food science and technology, 33(3), 249-250.

Shahide, N. (2016). Valeurs thérapeutique de curcuma. Laboratoire phytomisan 98, 3p.

Shoba, G., Joy, D., Joseph, T., Majeed, M., Rajendran, R. et Srinivas, P. S. S. R. (1998). Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers. Planta medica, 64(04), 353-356.

Sikha, A. et Harini, A. (2015). Pharmacological activities of wild turmeric (*Curcuma aromatica Salisb*): a review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 3(5), 4p.

Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A. et Singleton, R. C. (2004). Sensory evaluation by descriptive sensory analysis. Food Technol, 28, 11-24.

-T-

Taleb ben diab, F. (2017). Contrôle physico-chimique et microbiologique du camembert. Mémoire Master. Nutrition et santé. Tlemcen : Université Aboubeker Belkaid. 93p.

-U-

Umar, N. M., Parumasivam, T., Aminu, N. et Toh, S. M. (2020). Phytochemical and pharmacological properties of *Curcuma aromatica Salisb* (wild turmeric). Journal of Applied Pharmaceutical Science, 10(10), 180-194.

-V-

Vassal, L., Monnet, V., Le Bars, D., Colette, R. O. U. X. et Gripon, J. C. (1986). Relation entre le pH, la composition chimique et la texture des fromages de type Camembert. Le lait, 66(4), 341-351.

Veisseyre, R. (1975). Technologie du lait. Constitution récolte traitement et transformation. Ed 03. Paris : La Maison Rustique.714 p.

Vétier, N., Banon, S., Ramet, J. P. et Hardy, J. (2000). Hydratation des micelles de caséine et structure fractale des agrégats et des gels de lait. Le lait, 80(2), 237-246.

Volàk, J. Stodola, J. et Severa, F. (1986). Plantes médicinales. Ed 06. Paris: GRUND GF. 319p.

-Z-

Zandi, K., Ramedani, E., Mohammadi, K., Tajbakhsh, S., Deilami, I., Rastian, Z. et Farshadpour, F. (2010). Évaluation des activités antivirales des dérivés de la curcumine contre le HSV-1 dans la lignée cellulaire Vero. Communications de produits naturels, 5 (12), 4p.

Zantar, S., Zerrouk, H. M., Zahar, M., Saidi, B., Notfia, Z., Laglaoui, A. et Chentouf, M. (2013). Effet de l'utilisation des huiles essentielles (du thym, du romarin, de l'origan et du myrte) sur les propriétés physicochimiques, microbiologiques et sensorielles du fromage de chèvre frais et semi-affiné. Options Méditerranéennes, 108, 183-190.

Zegrir, (2019). ZEGRIR.com [en ligne]. Disponible sur: https://zegrir.com/entreprise/ramdy?page=2 [Consulté le : 26 Juin 2021].

Zhang, D. et Mahoney, A. W. (1991). Iron fortification of process Cheddar cheese. Journal of dairy science, 74(2), 353-358.

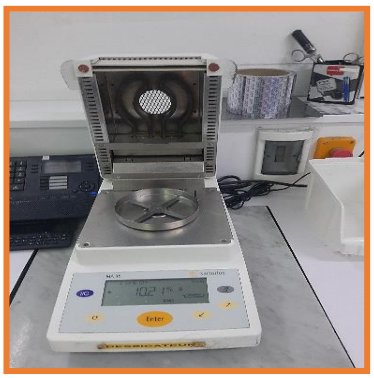
Annexes

Annexe N°1 : Matériels et équipements utilisés.

- **Bain-marie**

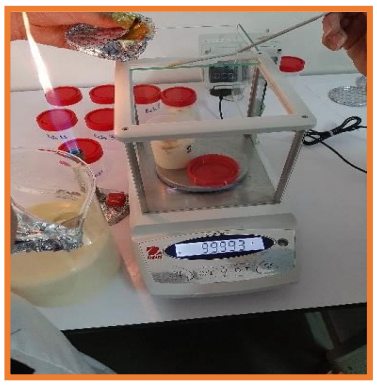
- **Etuve**

- **Centrifugeuse**



- **Dessiccateur**

- **pH mètre**



- **Balance de précision**

- **Jarre d'anaérobiose**

- **Butyromètre à fromage**

- **Tamiseur**

- **Réfrigérateur**
- **Broyeur électrique**
- **Broyeur à main**
- **Bec benzène**
- **Bêcher**
- **Flacons stérile de 100g**
- **Pipette graduée**
- **Boites de pétris**
- **Coupelles aluminiums**
- **Râteau**
- **Spatule**

Annexe N°2 : Composition des milieux de culture utilisés.

- **Solution de Ringer (g/3l)**

Chlorure de sodium.....6,75
Chlorure de calcium.....…...0,18
Chlorure de potassium.....0,33
Bicarbonate de sodium.....0,15

- **Gélose VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar) (g/l)**

Peptone..... 07
Extrait de levure..... 03
Lactose 10
Chlorure de sodium.....05
Sels biliaires 1,5
Rouge neutre.....0,03
Crystal violet.....0,002
Agar.....15
pH = 7,4 ± 0,2 à 25°C

- **Gélose Baird-Parker (g/l)**

Tryptone.....10
Extrait de viande de bœuf.....05
Extrait de levure 01
Pyruvate de sodium 10
Glycine 12
Chlorure de lithium.....05
Tellurite de potassium 02
Agar.....17
Emulsion de jaune d'œuf .....10 ml
pH =7,2 ± 0,2 à 25°C

- **Gélose Sabouraud dextrose chloramphénicol (g/l)**

Peptone de caséine et de viande.....10
Glucose monohydraté (Dextrose).....40
Chloramphénicol.....0,05
Agar.....15
pH = 5,6 ± 0,2 à 25°C

- **Gélose VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar) (g/l)**

Peptone.....07
Extrait de levure.....03
Glucose 10
Chlorure de sodium.....05
Sels biliaires 1,5
Rouge neutre.....0,03
Crystal violet.....0,002
Agar 15
pH =7,4 ± 0,2 à 25°C

- **Gélose Viande foie (VF) (g/l)**

Citrate d'ammonium ferrique.....0,5
Sulfite de sodium.....0,5
Base de foie de viande..... 30
Dextrose 01
Amidon.....01
Agar 08
pH =7,4 ± 0,2 à 25°C

Annexe N°3 : Questionnaire d'analyse sensorielle.

Questionnaire d'analyse sensorielle

Sexe : **Date & heure :**

Age :

Consommez-vous le fromage ? : ☐ Oui ☐ Non

Fréquence : ☐ Très souvent ☐ Souvent ☐ Rarement ☐ Jamais

Quatre échantillons de **fromage fondu** enrichi avec ***Curcuma aromatica***, codés A, B, C et D vous sont présentés. Il vous est demandé d'évaluer différentes caractéristiques et attribuer une appréciation selon des codes donnés.

NB : Veuillez rincer la bouche à chaque dégustation d'un échantillon.

1/ COULEUR :

1. Blanche
2. Jaune clair
3. Jaune vif
4. Jaune orangé

Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

2/ ODEUR :

1. Absente
2. Faible
3. Moyenne
4. Forte
5. Très forte

Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

3/ GOUT:

1. Acide
2. Salé
3. Sucré
4. Amère

Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

4/ TEXTURE

1. Liquide
2. Crémeux
3. Onctueuse
4. Dure

Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

5/ ARRIERE-GOUT :

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

Attribuer une note de **1** à **9** pour chaque échantillon selon votre préférence, sachant que **1** correspond le moins préféré et **9** au plus préféré comme présenté dans l'échelle ci-dessous :

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

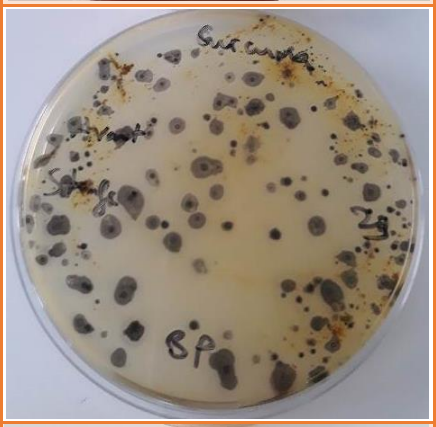
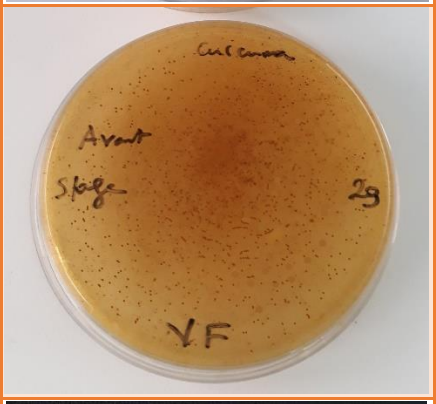
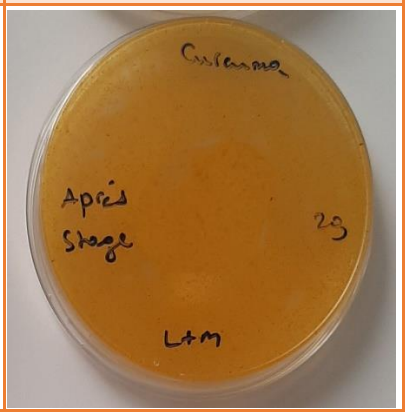
Fromage A	Fromage B	Fromage C	Fromage D

OBSERVATION :

.....
.....
.....

*** Merci pour votre coopération ***

Annexe N°4 : Résultats d'analyse microbiologique de *Curcuma aromatica* avant et après pasteurisation**.**

Germes	Avant pasteurisation	Après pasteurisation
Entérobactéries		
Staphylococcus aureus		
Clostridium sulfito-réducteurs		
Levures et moisissures		

Résumé : Le présent travail a été entrepris dans le but d'élaborer un fromage fondu enrichi en *Curcuma aromatica*, à des concentrations différentes (0,1g ; 0,5g et 1g), et également l'évaluation de sa qualité nutritive et marchande par des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles. D'après les analyses physicochimiques, le pH des fromages varie de 5,67 à 5,77, tandis que les teneurs en extrait sec, l'humidité, matières grasses et le rapport de la matière grasse /matière sèche restent stables tout au long de la durée de conservation. Les analyses microbiologiques ont montré que la matrice végétale pouvait être contaminée par différents microorganismes notamment des germes pathogènes. En outre, les fromages élaborés présentes une qualité hygiénique très satisfaisante. Sur le plan sensoriel, l'incorporation de *Curcuma aromatica* dans le fromage fondu par des petites concentrations, n'entraine aucune différence significative de point de vue aromatisation, et donnent des produits classés indifféremment avec le témoin. Seul le taux d'incorporation de 1g a déclassé significativement le produit par rapport au témoin en quatrième rang, les dégustateurs préfèrent le fromage qui contient une concentration de 0,1g.
Mots clés : Fromage fondu, *Curcuma aromatica*, plante médicinale, physicochimiques, microbiologiques, sensorielles, germes pathogènes.

Abstract: The present work was undertaken with the aim of developing a processed cheese enriched with *Curcuma aromatica*, at different concentrations (0,1g, 0,5g and 1g), and also the evaluation of its nutritional and marketable quality by analyzes physicochemical, microbiological and sensory. According to the physicochemical analyzes, the pH of the cheeses varies from 5,67 to 5,77, while the contents of dry extract, humidity, fat and the ratio of fat / dry matter remain stable throughout the conservation duration. Microbiological analyzes have shown that the plant matrix could be contaminated by various microorganisms, in particular pathogenic germs. In addition, the processed cheeses have a very satisfactory hygienic quality. From a sensory point of view, the incorporation of *Curcuma aromatica* into the processed cheese in small concentrations does not cause any significant difference from a flavor point of view, and results in products classified indiscriminately with the control. Only the incorporation rate of 1g significantly downgraded the product compared to the fourth-row control, tasters prefer cheese, which contains a concentration of 0,1g.

Keywords: Processed cheese, *Curcuma aromatica*, medicinal plant, physicochemical, microbiological, sensory, pathogenic germs.

ملخص : تم تنفيذ العمل الحالي بهدف تطوير الجبن المعالج إثراء بالكركم العطري، بتركيزات مختلفة (0.1 جم ، 0.5 جم و 1 جم) ، وكذلك تقييم جودته التغذوية والتسويقية من خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكرو بيولوجية والحسية. وفقًا للتحليلات الفيزيائية والكيميائية، يتراوح الأس الهيدروجيني للجبن من 5.67 إلى 5.77 ، بينما تظل محتويات المستخلص الجاف والرطوبة والدهون ونسبة الدهون / المادة الجافة ثابتة طوال فترة الصلاحية. أظهرت التحليلات الميكروبيولوجية أن مصفوفة النبات يمكن أن تكون ملوثة بالكائنات الحية الدقيقة المختلفة، ولا سيما الجراثيم المسببة للأمراض. بالإضافة إلى ذلك، تتمتع الأجبان المصنعة بجودة صحية مرضية للغاية. من وجهة نظر حسية، فإن دمج الكركم العطري في الجبن المعالج بتركيزات صغيرة لا يسبب أي اختلاف كبير من وجهة نظر النكهة، ويؤدي إلى تصنيف المنتجات دون تمييز مع التحكم. فقط معدل الدمج 1 جم قلل بشكل كبير من المنتج مقارنة بمجموعة التحكم في الصف الرابع، ويفضل المتذوقون الجبن الذي يحتوي على تركيز 0.1 جم.

الكلمات المفتاحية : الجبن المعالج ، الكركم العطري ، النباتات الطبية ، الكيمياء الفيزيائية ، الميكروبيولوجية ، الحسية ، الجراثيم المسببة للأمراض