

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



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

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

Présenté par

M^{elle} OULMOU Hadda Manel & M^{elle} BOUSSOUIRA Hanane

Thème

*Evaluation de la qualité de la margarine enrichie d'épice
« Curcuma longa L. »*

Soutenue le 08/07/2024

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Qualité
M ^{me} ZAIDI Lynda	MCB	Université de Bejaia	Présidente
M ^{me} BEY Zakia	MAA	Université de Bejaia	Examinatrice
M ^{me} ARKOUB Lynda	MCA	Université de Bejaia	Encadrante
M ^r AZOUZ Lounes	Responsable	Entreprise Cevital	Co-Promoteur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé le succès et de nous avoir donné la santé, la patience, le courage et la force pour accomplir ce modeste travail.

*C'est avec grand plaisir que nous exprimons nos sincères remerciements, notre plus grand respect à notre promotrice M^{me} **ARKOUB Lynda**, d'abord pour avoir accepté de diriger et de superviser nos travaux, ainsi que pour sa patience, pour son encouragement, pour ses précieux conseils et remarques, pour sa simplicité et sa confiance qu'elle nous a accordée.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury, la présidente M^{me} **ZAIDI L.**, et l'examinatrice M^{me} **BEY Z.** pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Nous tenons également à remercier chaleureusement les enseignants de notre faculté qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire.*

*Nous remercions Monsieur **AZOUZ L.** et les membres du groupe **CEVITAL** de nous avoir accueillis au sein de l'industrie. Leur confiance dès le début nous a permis de progresser de manière constante. Nous devrions aussi les remercier pour le temps qu'ils nous ont consacré et la patience avec laquelle ils ont accompagnés notre travail tout le long de ce mémoire.*

Enfin nous tenons à remercier toutes personnes ayant contribué soit de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Dédicaces

Je souhaite commencer par exprimer ma gratitude envers Dieu qui m'a donné la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce modeste travail

Je dédie ce travail à l'homme, ma précieuse offre de Dieu, son soutien inébranlable et son dévouement envers ma réussite ont été essentiels. Mon succès et tout mon respect mon cher père DJAMEL.

À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui a toujours été présente à mes côtés. Elle m'a écouté, soutenu, veillé sur moi et m'a encouragé. Je ne pourrai jamais la remercier suffisamment, car elle est ma principale source de force mon adorable mère AICHA.

À mes chères sœurs Radia et Sara, à mon cher frère Islam, ainsi qu'à mon oncle Nadir je suis reconnaissant pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants.

À mon soutien moral et source de joie et de bonheur Redha, Je souhaite exprimer toute ma gratitude pour ton encouragement constant, ta patience remarquable, tes précieux conseils qui ont jalonné mon parcours universitaire et ta présence à mes côtés ont été une source constante d'inspiration et de soutien tout au long de notre chemin ensemble.

À mes chers beaux-parents et à ma belle-sœur Fatima Zahra, je souhaite exprimer toute ma gratitude pour leur soutien inébranlable et leurs encouragements constants, qui ont été une source précieuse de motivation pour moi.

À la famille de ma chère camarade et amie Hanane à toutes les personnes qui m'ont soutenu. À toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce modeste travail.

MANEL

Dédicaces

Au nom de DIEU le clément et le Miséricordieux

Aux deux prunelles de mes yeux, ma source de bonheur et de courage, A mon très cher papa MOURADE A celui qui a fait de moi une femme et ma très chère maman MALIKA l'être le plus cher dans ma vie, aucun hommage ni dédicace ne pourra être à la hauteur de l'amour, l'estime et le respect que je porte pour vous, vous êtes mon exemple de dévouement éternel, qui n'ont pas cessé de m'encourager, prier et se sacrifier pour ma réussite.

A mes adorables sœurs, Melissa, Ikram, Nour El Houda et mon cher frère Walid pour Leurs soutiens et encouragement.

A mon fiancé Adel, Je souhaite exprimer toute ma gratitude pour ton encouragement constant, ta patience remarquable et ton soutien moral infaillible tout au long de mon parcours universitaire, particulièrement lors de l'élaboration de mon mémoire. Tu as été une source précieuse de motivation pour moi.

A ma chère tante Nouara et à son mari Zahir, qui m'ont toujours encouragé et motivé dans mes études,

A ma camarade et amie Manel ainsi que sa famille

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

HANANE

Liste des abréviations

AGS : Acide Gras Saturé

AGI : Acide Gras Insaturé

DPPH: Radical 2,2-diphényl-1-picryldrazyl

TBHQ: Tert-Butylhydroquinone

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire

SFC : Solide Fat Content

TIR : Temps d'Induction du test Rancimat

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

ISO : International Standard Organisation

NE : Norme Européenne

Liste des figures

Figure 1 : <i>Curcuma longa</i> L. (rhizome et poudre).....	4
Figure 2 : Plante du <i>Curcuma longa</i> L.....	5
Figure 3 : Structure chimique de la curcumine.	6
Figure 4 : Structure chimique de l'acide ascorbique (A), acide gallique (B) et le xanthone (C).	9
Figure 5 : Différentes huiles et graisses utilisées pour la formulation des margarines.....	12
Figure 6 : Schéma de fabrication de la margarine.....	13
Figure 7 : Mécanisme d'oxydation des trois types d'oxydation.....	18
Figure 8 : Photographie des étapes de préparation de la poudre de <i>Curcuma longa</i> L.	20
Figure 9 : Etapes de formulation des margarines.	27
Figure 10 : Photographie d'un post d'évaluation sensorielle.	33
Figure 11 : Pourcentage de préférence globale des margarines élaborés.	47
Figure 12 : Caractérisation des margarines élaborés.	47
Figure 13 : Pourcentage des paramètres motivant la préférence.....	48

Liste des tableaux

Tableau I : Dénominations du <i>Curcuma</i>	4
Tableau II : Classification systématique du <i>Curcuma longa</i> L.....	5
Tableau III : Valeur nutritionnelle de <i>Curcuma Longa</i> L.	7
Tableau IV : Composition chimique du <i>Curcuma longa</i> L.	7
Tableau V : Composition globale de la margarine.....	11
Tableau VI : Huiles et graisses végétales utilisées dans la formulation des margarines	12
Tableau VII : Mécanisme d'oxydation des lipides	18
Tableau VIII : Composition de la phase aqueuse et la phase grasse des margarines élaborées.....	28
Tableau IX : Micro-organismes recherchés dans les margarines élaborés.....	32
Tableau X : Taux d'humidité et de matière sèche de la poudre du <i>curcuma</i>	34
Tableau XI : Propriétés fonctionnelles de la poudre du <i>Curcuma Longa</i> L.....	35
Tableau XII : Teneurs en antioxydants du <i>Curcuma longa</i> L.....	37
Tableau XIII : Activité antioxydante du <i>Curcuma longa</i> L.....	39
Tableau XIV : Résultats des analyses physico-chimiques des margarines élaborées.....	41
Tableau XV: Taux de solides par RMN des margarines élaborées (SFC).	44
Tableau XVI : Résultats du test de Rancimat des margarines élaborées	45
Tableau XVII : Résultats des analyses microbiologiques des margarines élaborées	46

Tables des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction 1

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur l'épice (*Curcuma Longa L.*)

I.1. Origine et historique	3
I.2. Terminologie	3
I.3. Taxonomie et systématique	4
I.4. Description botanique	5
I.5. Valeur nutritionnelle et composition chimique	6
I.5.1 Propriétés physico-chimiques de la curcumine	8
I.5.2 Propriétés antioxydante de la curcumine	8
I.6. Antioxydants prédominants du curcuma	8
I.7. Domaines d'utilisation	9
I.7.1. Utilisations médicales	9
I.7.2. Utilisation culinaire.....	10
I.7.3. Utilisations en cosmétique	10
I.7.4. Utilisation agroalimentaire	10

II. Généralités sur la margarine

II.1. Historique.....	11
II.2. Définition	11
II.3. Composition1 1	
II.4. Huiles utilisées dans la fabrication de la margarine	12
II.5. Procédé de fabrication de la margarine	13
II.5.1. Préparation de la phase grasse.....	13
II.5.2. Préparation de la phase aqueuse	14

II.5.3. Préparation de l'émulsion	15
II.5.4. Refroidissement et cristallisation	15
II.5.5. Texturation.....	16
II.5.6. Emballage, conditionnement et stockage.....	16
II.6. Différents types de margarine	16
II.6.1. Margarine à destination des professionnels	16
II.6.2. Margarine de table traditionnelle	16
II.6.3. Margarine de table allégée	16
II.6.4. Margarine de table riche en acide gras saturés.....	17
II.6.5. Margarine de table enrichie en stérols végétaux	17
II.7. Facteurs de détérioration de la margarine	17
II.8. Oxydation de la margarine.....	17
II.8.1. Mécanisme de l'oxydation des lipides.....	18
II.8.2. Types d'oxydation.....	18
II.8.2.1. Auto-oxydation.....	18
II.8.2.2. Oxydation enzymatique.....	19
II.8.2.3. Photo-oxydation.....	19

Partie expérimentale

III. Matériel et méthodes

III.1. Préparation des échantillons	20
III.2. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche de la poudre.	21
III.3. Détermination des propriétés fonctionnelles de la Poudre	21
III.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)	21
III.3.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)	22
III.3.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)	22
III.3.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)	23
III.4. Extraction et dosage des antioxydants	23
III.4.1. Préparation de l'extrait	23
III.4.2. Dosage des antioxydants	24
III.4.2.1. Dosage des composés phénoliques	24
III.4.2.2. Dosage des flavonoïdes.....	24
III.4.2.3. Dosage des flavonols	24

III.4.3. Extraction et dosage des caroténoïdes	25
III.4.3.1. Extraction	25
III.4.3.2. Dosage des caroténoïdes totaux.....	25
III.5. Evaluation de l'activité antioxydante	25
III.5.1. Inhibition du radical DPPH°	25
III.5.2. Activité antioxydante totale	26
III.6. Elaboration de la margarine	26
III.6.1. Macération de l'huile avec de la poudre (<i>Curcuma longa</i> L.)	27
III.6.2. Formulation de la margarine à l'échelle laboratoire	27
III.6.3. Qualité physico-chimique des margarines élaborées	28
III.6.3.1. Détermination du pH	28
III.6.3.2. Détermination du taux d'humidité.....	28
III.6.3.3. Détermination de la teneur en sel	29
III.6.3.4. Détermination de l'indice de peroxyde.....	29
III.6.3.5. Détermination du point de fusion	30
III.6.3.6. Détermination d'acidité	30
III.6.3.7. Détermination du taux de solide par RMN	30
III.6.3.8. Résistance à l'oxydation accélérée (Test Rancimat)	31
III.6.4. Qualité microbiologique des margarines élaborées	31
III.6.5. Qualité sensorielle des margarines élaborées	32
III.6.5.1. Préparation des échantillons et codage	32
III.6.5.2. Recueil des résultats.....	33
III.6.6. Expression des résultats	33

IV. Résultats et discussion

IV.1. Paramètres physico-chimiques de la poudre De curcuma longa L.....	34
IV.1.1. Teneur en eau.....	34
IV.1.2. Taux de matière sèche	34
IV.2. Propriétés fonctionnelles de poudre de (<i>curcuma longa</i> L.).....	35
IV.2.1. Capacité d'absorption en eau (CAE)	35
IV.2.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)	36
IV.2.3. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)	36
IV.2.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité de l'émulsion (SE).....	36

IV.2.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM).....	36
IV.3. Antioxydants.....	37
IV.3.1. Polyphénols	37
IV.3.2. Flavonoïdes.....	38
IV.3.3. Flavonols	38
IV.3.4. Caroténoïdes totaux.....	39
IV.4. Activité antioxydante	39
IV.4.1. Activité antiradicalaire DPPH	39
IV.4.1. Activité antioxydante totale.....	40
IV.5. qualité DES MargarinesS ELABOrees.....	40
IV.5.1. Analyses physico-chimiques	40
IV.5.1.1. pH	40
IV.5.1.2. Humidité	41
IV.5.1.3. Acidité.....	42
IV.5.1.4.Taux de sel	42
IV.5.1.5. Point de fusion (°C)	42
IV.5.1.6. Indice de peroxyde.....	43
IV.5.1.7. Taux de solide « SFC ».....	43
IV.5.1.8. Résistance à l'oxydation accélérée (test Rancimat)	44
IV.5.2. Qualité microbiologique.....	45
IV.5.3. Qualité sensorielle.....	46
IV.5.3.1. Préférence globale	46
IV.5.3.2. Caractéristiques du produit	46
IV.5.3.3. Paramètres motivant la préférence	48
Conclusion.....	49

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Les épices font partie des plantes médicinales, considérées comme des plantes aromatiques à la saveur forte, elles sont utilisées en petite quantité en cuisine comme conservateurs, assaisonnements ou colorants, Elles proviennent de différentes parties de la plante telles que l'écorce, les grains, les feuilles, les fruits et les rhizomes (Manandhar, 1996). Récemment, l'attention s'est portée sur les épices comme source d'antioxydants, qui peuvent être employés pour se protéger contre les effets du stress oxydant (Mata et al., 2007). Les épices en générale, sont très riches en métabolites antioxydants, une revue scientifique reconnue a classé le *curcuma* au quatrième rang parmi les 50 aliments renfermant le plus d'antioxydants (Halvorsen et al., 2006).

Le *curcuma* (*Curcuma longa* L.) est une plante vivace appartenant à la même famille que le gingembre (*Zingiberaceae*). il est utilisé à plusieurs fins dans les industries médicales, cosmétiques, alimentaires et textiles, il est largement étudié par la communauté scientifique en raison de ses propriétés diverses, principalement associées aux substances bioactives présentes dans ses rhizomes (Gonçalves et al., 2019).

La curcumine, est la substance responsable de sa couleur jaune, possède une large gamme d'actions biologiques, incluant des propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, anticancéreuses et antibactériennes. Ses propriétés antioxydantes sont particulièrement importantes pour atténuer les effets du stress oxydatif (Chattopadhyay et al., 2004).

L'oxydation est un phénomène répandu tant dans le domaine alimentaire (l'oxydation des lipides) que physiologique (le stress oxydatif). La margarine est un exemple caractéristique, dont 82% de la composition est constituée de matière grasse, la rendant ainsi particulièrement sensible à l'oxydation (Karleskind, 1992). En effet, l'oxydation des lipides est une cause principale de la détérioration de la margarine lors de sa fabrication et de sa conservation. La conséquence la plus évidente de ce phénomène est la présence d'odeurs désagréables, qui entraînent souvent la non acceptabilité du produit par le consommateur (Graille, 2003).

L'objectif principal de notre travail est d'élaborer une margarine incorporée de la poudre du *curcuma* comme antioxydant naturel et d'étudier son impact sur sa stabilité oxydative ainsi que sur ses propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles.

Ce travail comprend une partie de synthèse bibliographique dans laquelle est donnée quelques généralités sur le *Curcuma longa* L. et sur la margarine. Ensuite, une partie expérimentale e qui consiste à l'évaluation des propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et antioxydantes de la poudre du *curcuma*. En outre, les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des margarines élaborées ont été évaluées. Enfin, une évaluation

sensorielle a été réalisée afin de déterminer les caractéristiques sensorielles et les préférences des dégustateurs pour les margarines élaborées, suivie d'une conclusion générale qui résume les résultats les plus importants ainsi que les perspectives d'avenir pour ce travail.

*Synthèse
bibliographique*

*I. Généralités sur l'épice
« Curcuma longa L »*



I. Généralités sur l'épice « *Curcuma longa* L. »

I.1. Origine et historique

Le *Curcuma longa* L., également connu sous le nom de « *Curcuma* » dans le monde entier, a été utilisé depuis plus de 6000 ans tant comme épice dans la cuisine quotidienne ainsi que dans la médecine traditionnelle. Originaire d'Asie du sud et du sud-est de l'Asie et au Pakistan, en Chine, en Indonésie, en Inde, au Népal, en Jamaïque, au Bangladesh, en Malaisie, au Salvador, à Taiwan et en Haïti. C'est une plante à rhizome, appartenant au genre *Curcuma* de la famille des *Zingiberaceae*, cette plante comprend environ 70 espèces, connues pour leurs propriétés médicinales. Elles sont fréquemment utilisées comme conservateurs alimentaires, colorants et épices depuis des siècles (Sultana et al., 2021). Au début de la colonisation de l'Inde par les anglais XV^{ème} siècle, le *curcuma* fut mélangé, entre autres, avec du cumin et de la coriandre pour former ce que l'on appelle le « *curry* » (Jourdan, 2015). Ces plantes portent de larges feuilles lancéolées ressemblant aux cannas, pouvant former de grosses touffes d'environ 1 m de hauteur. Pendant la saison sèche tropicale, ils ont tendance à flétrir, Cependant, ils offrent de courts épis dressés de petites fleurs aux couleurs souvent éclatantes, ou jaune pâle (Loap, 2008).

En 1450, il apparaît dans une liste de drogues à Franc fort, à côté du gingembre et du zédoaire. Les premières descriptions de la plante et de l'origine de l'épice parviennent en Europe au XVI^{ème} siècle et on le retrouve également en Afrique tropicale. Les importations proviennent principalement de l'Inde, mais également de Chine et d'Indonésie (Loap, 2008).

Le *Curcuma longa* L. a été cultivé en Inde et en Asie du Sud-Est. Son introduction en Chine et en Afrique a eu lieu entre le VII^{ème} et le VIII^{ème} siècle, et il a également été transporté en Afrique de l'Ouest vers 1200 après J.C. Sa popularité a rapidement augmenté dans le monde entier, les commerçants l'ayant acheminé en Europe dès le XIII^{ème} siècle (Krup et al., 2013; Mittal et al., 2010).

I.2. Terminologie

D'après Loap (2008), la terminologie générale du « *Curcuma* » fait référence à un ensemble de pigments polyphénoliques issus de la plante. Ces pigments présentent une couleur jaune canari caractéristique, qui sont à l'origine de ses propriétés multiples bénéfiques pour la santé.

Le terme « *Longa* » se réfère à la forme allongée de son rhizome. D'après le botaniste Valetton, cette plante domestique est nommée *Curcuma domestica*, par contre le nom anglais du *Curcuma* est tiré du sanskrit qui signifie jaune. Il occupe une place centrale dans les

rituels religieux hindous et est largement utilisé dans la vie quotidienne ainsi que dans l'agriculture.

La ressemblance de sa poudre avec l'ocre minéral précieux a donné le terme turmérique (*Turmeric* en anglais), souvent utilisé en Inde et par les Anglais et qui dérive du latin *Terra-mérита* et du français *Médiéval terre-mérite* (Hombourger, 2010; Lecerf, 2012).

De nos jours, cette plante (Figure 1) porte diverses appellations suivant les langues (Tableau I).



Figure 1 : *Curcuma longa* L. (rhizome et poudre) (Yadav & Tarun, 2017a).

Tableau I : Dénominations du *Curcuma* (Loap, 2008; Tefiani, 2015).

Langue	Dénomination
Français	<i>Curcuma longa</i> , safran des Indes, souchet de Babylone, terre-mérite
Arabe	Kurkum
Allemand	Kurkumawurzel
Anglais	Turmeric, Indian saffron
Chinois	Wong geung, Yu chin
Hindi	Haldi
Indonésien	Kunyit, Daun kunyit (feuilles)
Japonais	Ukon
Javanais, malais	Temoe lawak
Sanskrit	Haridraa
Thaïlandais	Kha min
Vietnamien	Cu nghe (frais), Bot nghe (sec et moulu)
Berbère	Zarounbad

I.3. Taxonomie et systématique

La Taxonomie de cette plante (*Curcuma longa* L.) est donnée dans le Tableau II.

Tableau II : Classification systématique du *Curcuma longa* L. (Yadav & Tarun, 2017a).

Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe	<i>Commelinids</i>
Ordre	<i>Zingiberales</i>
Famille	<i>Zingiberaceae</i>
Genre	<i>Curcuma</i>
Espèce	<i>Curcuma longa</i> L.

I.4. Description botanique

Le *Curcuma longa* L. est une plante herbacée de grande taille, vivace robuste et érigée, se développe dans tous les climats tropicaux et peut mesurer jusqu'à 1,50 mètre de hauteur (Figure 2) (Loap, 2008).



Figure 2 : Plante du *Curcuma longa* L. (de Cos & Pérez-Urria, 2014; Hombourger, 2010)

A : Feuilles ; B : Fleurs ; C : Rhizome.

- **Rhizomes** : il est épais, charnus, ramifiés, représentent la partie consommée comme épice. Une odeur aromatique émerge après la section du rhizome (Cheikh Ali, 2012).

- **Feuilles** : elles sont vertes larges, émergent du rhizome. Elles se disposent de manière alternée et en rangées, avec un pétiole enveloppant et un limbe allongé et oblong-lancéolé d'environ cinquante centimètres de long, lisse sur les deux surfaces (Cheikh Ali, 2012; Loap, 2008).

- **Fleurs** : l'inflorescence émerge du rhizome et surgit du sol près des tiges foliaires. Les fleurs se regroupent en inflorescences coniques en forme d'épis, protégées par de grandes bractées dressées au sommet des tiges florales, entre les feuilles. Les fleurs se situent en paires (une seule s'ouvrant à la fois) à l'aisselle de bractées poilues. Elles peuvent être verdâtres ou blanches avec un sommet rose. Mesurant entre 5 et 6 Cm de long, les fleurs sont tubulaires, zygomorphes et bisexuées. Elles se composent de trois sépales pétaloïdes, d'un pétale postérieur développé et de staminodes formant un labelle pétaloïde. L'androcée est réduit à une étamine fertile et aux staminodes, tandis que le gynécée est tri-carpelle (Cheikh Ali, 2012).

- **Fruit** : est Rarement produit, c'est une capsule à trois loges, contenant de nombreuses graines arillées (Cheikh Ali, 2012).

I.5. Valeur nutritionnelle et composition chimique

Le *Curcuma* est réputé pour sa valeur nutritionnelle élevée. Le Tableau III et IV présente les nutriments contenus dans la poudre du *curcuma* ainsi que leur quantité (Yadav & Tarun, 2017b). C'est une source d'énergie, de glucides et de fibres alimentaires. En outre, elle est également une source de minéraux en particulier le phosphore, le calcium et le magnésium et elle contient des quantités considérables de vitamine en particulier la vitamine C et de la niacine.

Le Tableau IV montre que la *curcumine* est la molécule la plus importante rencontrées dans le *curcuma*, elle appartient à la famille des diarylheptanoïdes, est le principe actif le plus intéressant de plusieurs *curcumas*, d'autres *Zingiberaceae*. Elle possède un grand nombre de propriétés pharmacologiques remarquables et est généralement très bien tolérée (Cheikh Ali, 2012).

La curcumine 1,7-bis (4-hydroxy-3-méthoxy-phényl) hepta-1,6-diène-3,5-dione est un pigment naturel qui donne une couleur jaune à la poudre extraite des racines de la plante *Curcuma longa* L. (Figure 3) (Hombourger, 2010; Pescosolido et al., 2013).

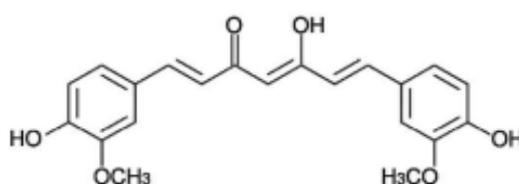


Figure 3 : Structure chimique de la curcumine (Hombourger, 2010).

Tableau III : Valeur nutritionnelle du *Curcuma Longa L.* (Hombourger, 2010).

Nutriments	Valeur pour 100 g de poudre de curcuma (partie comestible)
Energie	1481 kJ (354 kcal)
Eau	11,4 g
Lipides	9,9 g
Protéines	7,8 g
Fibres alimentaires	21,1 g
Glucides	64,9 g
Amidon	45 à 55% de la composition totale
Minéraux	
Calcium (Ca)	183 mg
Magnésium (Mg)	193 mg
Phosphore (P)	268 mg
Fer (Fe)	41,4 mg
Zinc (Zn)	4,4 mg
Vitamines	
Vitamine A	Traces
Thiamine	0,15 mg
Folate	39 µg
Riboflavine	0,23 mg
Niacine	5,14 mg
Acide ascorbique (vitamine C)	25,9 mg

Tableau IV : Composition chimique du *Curcuma longa L.* (Chattopadhyay et al., 2004).

Composants	Pourcentage
Protéines	6.3%
Graisses	5.1%
Minéraux	3.5%
Glucides	69.4%
Humidités	13.1%
Phellandrene	1%
Sabinene	0.6%
Cineol	1%
Borneol	0.5%
Zingiberene	25%
Sesquiterpenes	53%
Curcumine	94%

I.5.1 Propriétés physico-chimiques de la curcumine

La curcumine pure se présente sous la forme d'une poudre cristalline jaune orangé, elle possède les propriétés physico-chimiques suivantes :

- Un point de fusion de 176 - 177°C (Araujo & Leon, 2001).
- Une formule moléculaire $C_{21}H_{20}O_6$, et un poids moléculaire de 368,37 g/mol (Hombourger, 2010).
- Insoluble dans l'eau et l'éther (Hombourger, 2010).
- Soluble dans l'acétone, le chloroforme, l'alcool et l'acide acétique (Araujo & Leon, 2001).
- Couleur de la curcumine est jaune a pH acide et rouge a pH alcalin (Hombourger, 2010).
- Maximum d'absorption de la curcumine au spectrophotomètre est à 430 nm dans le méthanol et entre 415 et 420 nm dans l'acétone (Hombourger, 2010).
- Curcumine existe sous forme énolique et β -dicétonique (Le fait que la forme énolique prédomine en solution a une relation importante avec la capacité de la curcumine à piéger les radicaux libres (Hombourger, 2010).

I.5.2 Propriétés antioxydante de la curcumine

La curcumine est un bon antioxydant, avec une capacité comparable aux antioxydants de référence qui sont la vitamine C et la vitamine E (la curcumine a pouvoir antioxydant dix fois plus élevé que la vitamine E), et inhibe la peroxydation lipidique qui joue un rôle important dans l'inflammation, les maladies cardiovasculaires et le cancer (Hombourger, 2010; Loap, 2008). En plus, cette substance est l'un des protecteurs essentiels contre les effets nocifs des toxines et des radicaux libres car la curcumine agit comme un piègeur des radicaux libres ; ce qui permet d'inhiber de manière significative la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), telle que les anions superoxyde et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (Cheikh Ali, 2012; de Cos & Pérez-Urria, 2014).

I.6. Antioxydants prédominants du curcuma

Benmeziane–Derradji & Aoun, (2022) et Ikpeama et al. (2014) ont rapporté que le *Curcuma longa L.* contient une variété de composés comme les composés phénoliques, les flavonoïdes, les caroténoïdes et les tanins, tous reconnus pour leurs propriétés antioxydantes. Les acides phénoliques tels que l'acide gallique (Figure 4), que l'on trouve couramment dans les fruits et les plantes à fleurs, agissent comme des antioxydants en protégeant contre les radicaux libres.

De même, les flavonoïdes comme les flavonols sont renommés pour leurs puissantes propriétés antioxydantes. Les caroténoïdes et les tanins présents dans le *curcuma* contribuent également à ses capacités antioxydantes (Ikpeama et al., 2014).

Par ailleurs, Hombourger, (2010) a démontré que le *curcuma* est une source significative de vitamine C (acide ascorbique) avec une concentration de 25,9 mg/100 g (Figure 4). C'est un antioxydant reconnu pour sa capacité à neutraliser les radicaux libres et pour ses divers rôles biologiques, y compris dans la prévention du cancer et des maladies chroniques.

Enfin, le *curcuma* contient du xanthone (Figure 4), un composé antioxydant étudié pour ses effets bénéfiques sur la santé, notamment ses propriétés anticancéreuses, anti-inflammatoires, antibactériennes et cardioprotectrices (Naksuriya & Okonogi, 2015).

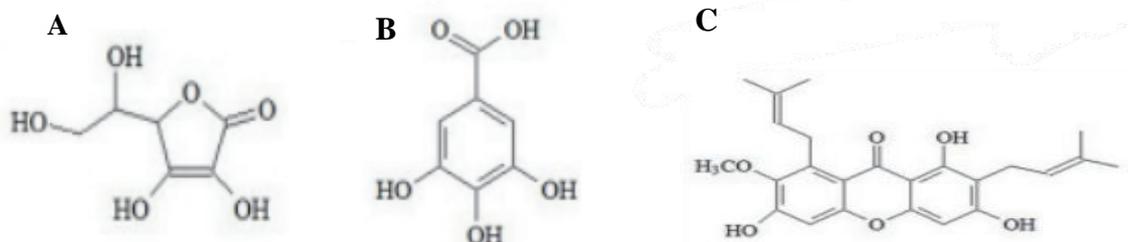


Figure 4 : Structure chimique de l'acide ascorbique (A), acide gallique (B) et xanthone (C) (Naksuriya & Okonogi, 2015).

I.7. Domaines d'utilisation

I.7.1. Utilisations médicales

Le rhizome du *curcuma* a été adopté comme médicament par le Comité des Médicaments à base de plantes (Committee on Herbal Medicinal Products-HMPC) le 12 Novembre 2009. Cette usine a été utilisée dans de nombreux systèmes médecine traditionnelle (Chine, Hindou et Ayurvédique) pour soulager les problèmes digestifs, comme un anti-inflammatoire et en usage topique pour sa capacité de cicatrisation. Les substances responsables de cette bio-activité du *curcuma* sont les curcuminoïdes, en particulier la curcumine.

La curcumine a plusieurs effets médicaux scientifiquement prouvés, comme la réduction de l'inflammation en cas d'arthrite, la prévention de l'artériosclérose,

effets hépato protecteurs, troubles respiratoires et gastro-intestinaux, affections de la peau comme le psoriasis ou l'eczéma, la prévention du cancer due à sa capacité antioxydante. Traditionnellement, il a été utilisé pour aider la fonction hépatique et pour traiter la jaunisse, tant en médecine ayurvédique qu'en médecine chinoise.

En outre, la curcumine est capable de soulager les problèmes inflammatoires. Cette capacité anti-inflammatoire est en partie en raison de sa capacité à inhiber la synthèse des prostaglandines inflammatoires. Elle a également des effets anticancéreux car elle est capable de réduire la croissance des tumeurs et moduler les problèmes secondaires associés au cancer comme la fatigue, dépression ou insomnie. La curcumine a une action antimicrobienne puissante, inhibant croissance de bactéries pathogènes, de virus et des champignons (de Cos & Pérez-Urria, 2014).

I.7.2. Utilisation culinaire

Le *curcuma* est utilisé en tant qu'épice, mais aussi comme agent de coloration de plusieurs aliments tels que cari, moutarde, beurre, fromages, bouillons, confitures, gelées, sucreries, pastillages, bonbons, glaces, pâtes de fruits, caviar et crevettes (Hombourger, 2010).

I.7.3. Utilisations en cosmétique

Le *curcuma* est utilisé pour traiter les pellicules, comme colorant capillaire et stimulant de la croissance des cheveux. Il se retrouve également dans les crèmes pour ses propriétés astringentes, ou comme huile essentielle aromatisant. Les femmes indiennes utilisent la pâte du *curcuma* pour éliminer les poils du corps et comme remède maison contre les coups de soleil et pour aider au remodelage de la peau endommagée et vieillie (de Cos & Pérez-Urria, 2014).

I.7.4. Utilisation agroalimentaire

Le *curcuma* est largement utilisé, pour sa couleur jaune foncé, en tant que colorant alimentaire. Cette couleur très caractéristique du *curcuma* est due à un groupe de pigments naturels que l'on appelle « curcuminoïdes », dont la curcumine constitue principalement 77 %. En Europe, la curcumine est répertoriée dans l'industrie alimentaire sous le code colorant E 100. Ainsi, elle est autorisée dans diverses catégories d'aliments, notamment les fromages, les préparations à base de poisson, les condiments et les assaisonnements (Jourdan, 2015).

II. Généralités sur la margarine



II. Généralités sur la margarine

II.1. Historique

En 1869, le chimiste français Hippolyte Mege-Mouries a développé les premières margarines, la découverte est venue d'un concours organisé par Napoléon III (1808-1873) à une époque où la France était confrontée à une crise économique et à une pénurie de certains aliments et perdait la guerre, lors de la guerre franco-prussienne de 1870. A cette époque, il y avait une grande demande de beurre, produit préparé avec de la matière grasse laitière; cependant, sa production ne répondait pas à la demande du marché. La première margarine était fabriquée à partir de suif de bœuf baratté avec du lait (Puprasit et al., 2022; Silva et al., 2021). Ce sont des commerçants hollandais qui ont développé cette nouvelle matière grasse alimentaire permettant ainsi le développement d'une grande industrie. Cette industrie propose aujourd'hui une gamme très diversifiée de produits grâce aux développements de la recherche, aux évolutions technologiques, à la prise en compte des recommandations nutritionnelles et de la réglementation, tout en intégrant les attentes des consommateurs et la réalité de consommation (Béatrice, 2009).

II.2. Définition

La margarine est un aliment qui se présente sous la forme d'une émulsion solide ou liquide et malléable, principalement du type eau dans l'huile, elle est principalement fabriquée à partir de graisses et d'huiles comestibles, qui ne sont pas exclusivement d'origine laitière (Codex Alimentarius, 1993).

Selon Cossut et al. (2002), la dénomination « margarine » est réservée aux produits fabriqués en mélangeant de la matière grasse avec de l'eau ou du lait ou de dérivés du lait, se présentant sous la forme d'une émulsion contenant au moins 82% de matière grasse.

II.3. Composition

Toutes les margarines ont en général une composition globale identique, la composition globale de la margarine est donnée dans le Tableau V.

Tableau V : Composition globale de la margarine (Graille, 2003;Karleskind, 1992).

Composé	Pourcentage (%)
Phase continue : Phase grasse	80 à 82 % de lipides
Phase dispersée : Phase aqueuse	16 à 18 % d'eau et/ou lait
Additifs	2%

II.4. Huiles utilisées dans la fabrication de la margarine

D'après Laventurier (2013), les huiles et les graisses raffinées utilisées dans la fabrication de la margarine sont :

- Des graisses animales comme le beurre, le suif (origine bovine), le saindoux (origine porcine) (Figure 5) ;
- Des huiles et des graisses végétales (Figure 5 et Tableau VI).

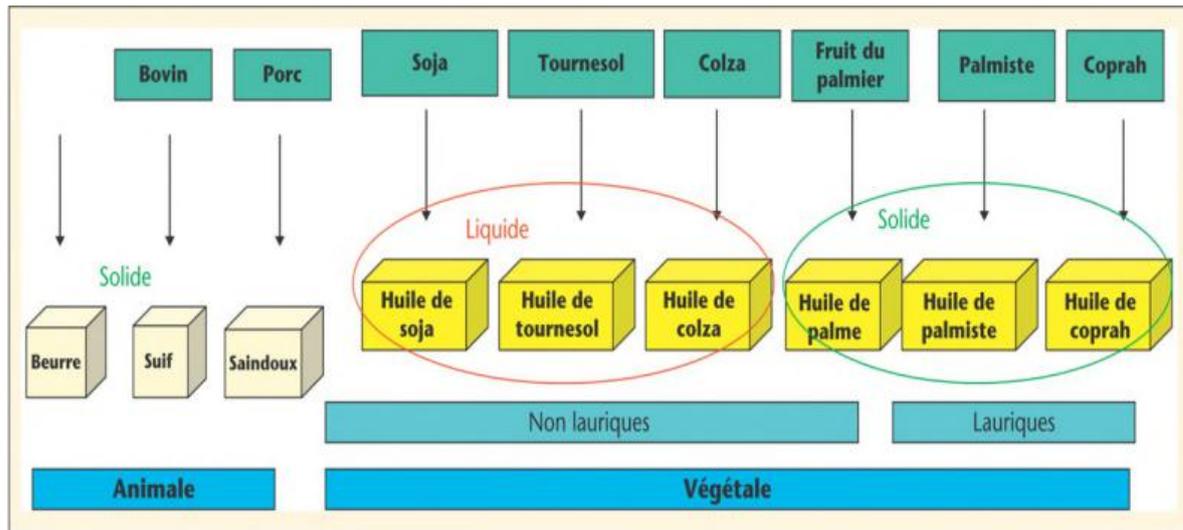


Figure 5: Différentes huiles et graisses utilisées pour la formulation des margarines (Laventurier, 2013).

Tableau VI : Huiles et graisses végétales utilisées dans la formulation des margarines (Lecerf, 2011; Morin & Pagès-Xatart-Parès, 2012).

Huile/Pourcentage	Acides gras saturés	Acides gras insaturés	Point de fusion
Palme	45,8 - 65,5% (41,1- 59,3% d'acide palmitique)	32 - 64,9% (27,6 - 53,3% d'acide oléique)	35 - 42°C
Coprah (coco)	76.1 - 98% (44,1 - 51,5% d'acide laurique)	6 - 11.2% (5 - 8,2% d'acide oléique)	23 - 25°C
Arachide	9.4 - 19.2% (8,2 - 11,7% d'acide palmitique)	75.8 - 90.8% (57 - 70,8% d'acide oléique)	2 - 13°C
Palmiste	74.6 - 97.2 % (45 - 52% d'acide laurique)	13.1-22.5% (11,1 - 17,1% d'acide oléique)	23 - 30°C
Colza	6-8% (4 - 5% d'acide palmitique)	83-97% (55 - 62% d'acide oléique)	< 2°C
Tournesol	10-16% (5 - 8% d'acide palmitique)	77-96% (62 - 70% d'acide linoléique)	-15°C
Soja	11-21% (8 - 13% d'acide palmitique)	71-99% (54 - 72% d'acide linoléique)	-15°C

II.5. Procédé de fabrication de la margarine

Le procédé de fabrication des margarines repose sur plusieurs étapes. La Figure 6 résume les différentes étapes de la fabrication d'une margarine au niveau de l'industrie agro-alimentaire.

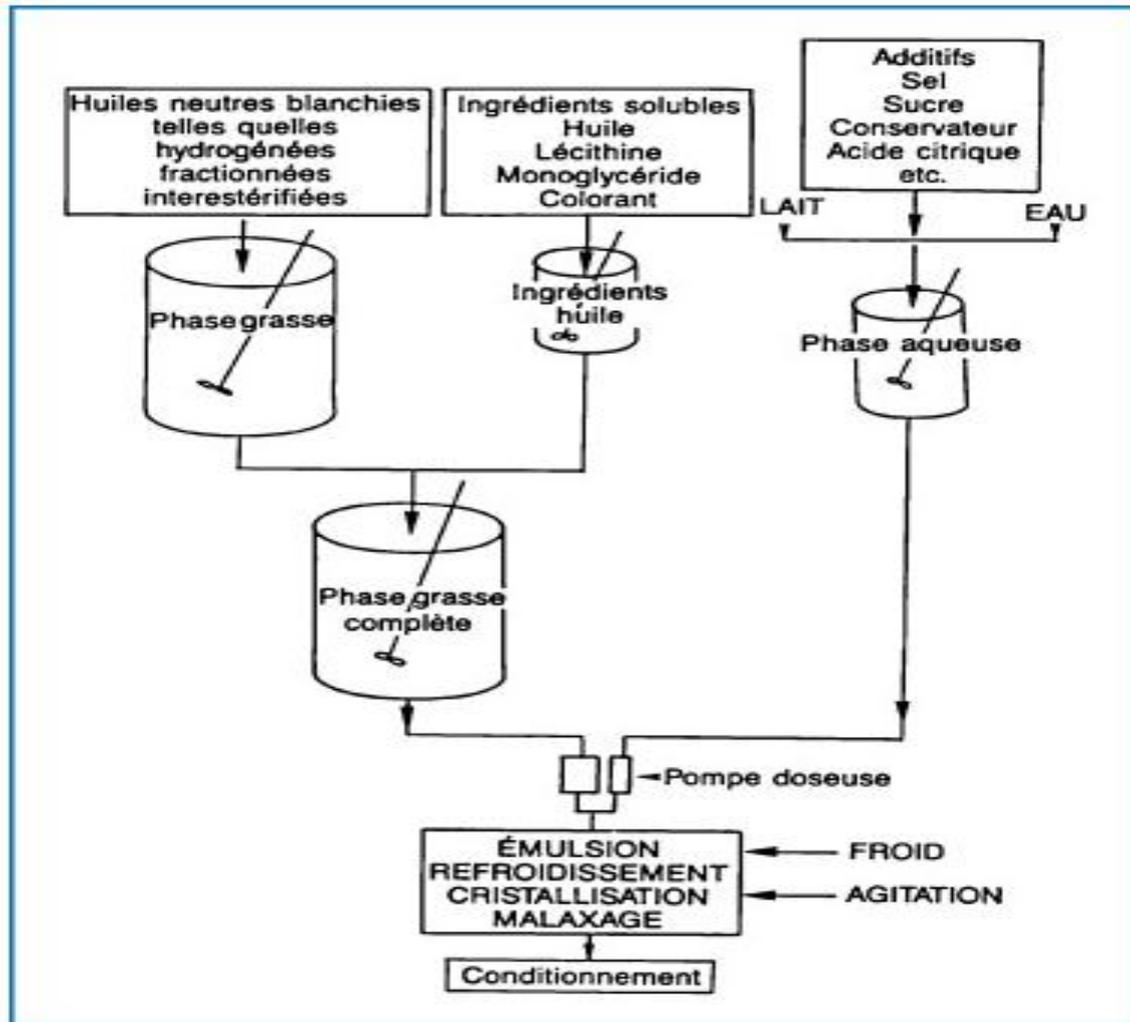


Figure 6: Schéma de fabrication de la margarine (Cossut et al. 2002; Karleskind, 1992).

II.5.1. Préparation de la phase grasse

La phase grasse est la partie la plus importante de l'émulsion, elle est de 82 à 84 % dans les margarines traditionnelles. Elle est constituée par un mélange d'huiles raffinées et d'huiles d'origine végétales, animales et/ou marines selon les performances souhaitées pour la production, c'est-à-dire que le choix des huiles de cette phase détermine en grande partie, la qualité des produits fini, notamment : la texture, la consistance, point de fusion et la stabilité vis-à-vis de l'oxygène. Dans cette phase sont ajoutés les additifs liposolubles : les émulsifiants, colorants, vitamines, arômes et antioxygènes (Acem, 2016; Karleskind, 1992).

a) Emulsifiants : ce sont des composés qui possèdent des propriétés tensioactives, grâce à leur caractère amphiphatique : leurs structures chimiques étant composés à la fois de groupes hydrophiles et lipophiles et de ce fait pouvant se dissoudre dans les deux phases, permettant leur union sous forme d'émulsion homogène. Ces corps sont caractérisés par leur équilibre hydrophile-lipophile. Dans la fabrication de la margarine, les émulsifiants sont incorporés selon les normes, habituellement à une proportion maximale de 2 % :

- Les émulsifiants naturels comprennent la lécithine de soja ou le jaune d'œuf ;
- Les émulsifiants synthétiques (couramment utilisés) : les mono et diglycérides ainsi que la lécithine (Acem, 2016; Karleskind, 1992).

b) Agents colorants : la couleur de la margarine doit être assez voisine de celle du beurre, elle est obtenue soit par addition de l'huile de palme rouge riche en caroténoïdes, soit par l'ajout du β -carotène (Karleskind, 1992; Luterotti et al., 2006).

c) Arômes : les margarines sont souvent aromatisées par le diacétyle arôme naturel du beurre ou le butane Dione 2-3 avec un taux de 4 %. Au-delà d'une certaine limite le goût n'est pas agréable et jugé comme artificiel (Faur, 1992; Karleskind, 1992).

d) Vitamines liposolubles : les vitamines solubles dans les matières grasses sont les vitamines A, D et E (Acem, 2016; Faur, 1992).

e) Antioxygènes : les plus utilisés sont tocophérols (extrait naturels) via la phase grasse, qui ont pour rôle d'éviter l'oxydation des huiles en retardant l'apparition du rancissement (Acem, 2016; Karleskind, 1992).

II.5.2. Préparation de la phase aqueuse

La phase aqueuse représente environ 16 à 18 % de la composition globale de la margarine. Elle est constituée soit d'eau soit du lait, soit d'un mélange eau /lait. Elle est la phase la plus sensible à des contaminants microbiens parmi les constituants de la margarine, donc elle nécessite une pasteurisation préalable (Karleskind, 1992). Elle comprend les constituants suivant :

a) Eau : est le constituant le plus important de la phase aqueuse des margarines sans lait; elle doit être pure, bactériologiquement saine et de bon goût (Karleskind, 1992).

b) Lait : principalement, il est modifié pour être utilisé comme agent aromatisant dans la margarine (Dans le cas où l'addition d'arômes est interdite) (Karleskind, 1992).

c) Additifs hydrosolubles sont ajoutés à la phase aqueuse tels que : les révélateurs, le sucre et le sel, les correcteurs de pH, et les conservateurs :

✓ **Sel et sucre** : ils sont additionnés afin de donner à la margarine son propre goût. Le sucre donne à la margarine une couleur brune au chauffage, généralement à une proportion de 0,2 à 2 %. Le sel est en premier lieu ajouté pour améliorer le goût et la sapidité, mais il peut jouer un rôle protecteur "bactériostatique". Les teneurs peuvent varier de 0,1 à 1 et même 2 %, en solution dans l'eau il doit donner une solution saumure limpide et claire (Acem, 2016; Karleskind, 1992).

✓ **Conservateurs** : en plus du sel chlorure de sodium (NaCl) de qualité alimentaire utilisé pour rehausser la saveur, possède des propriétés bactériostatiques lorsque sa concentration dépasse 2%. L'addition de l'acide sorbique (E200) ainsi que celle de ses sels de sodium (E201), de potassium (E202) et de calcium (E203) isolément ou ensemble dans une proportion pondérale de 2 g par Kilogramme de produit fini. Leurs emploi est autorisé si le pH de la phase aqueuse est inférieure à 5,5 (Faur, 1992; Karleskind, 1992).

✓ **Correcteurs de pH** : l'acide citrique ainsi que l'acide lactique et leurs sels de sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et calcium (Ca²⁺) sont autorisés. L'acide citrique est autorisé à la dose maximale de 1g par Kg de produit fini. En règle générale, le pH doit être compris entre 4 et 5,5 (Karleskind, 1992).

✓ **Révéléteur** : l'amidon est additionné à la margarine à une dose de 0,2 % au en tant que révélateur positif qui permet de différencier la margarine du beurre (Acem, 2016).

II.5.3. Préparation de l'émulsion

L'émulsion est préparée par mélange des deux phases (aqueuse et grasse). La phase aqueuse sera incluse dans la phase lipidique. La durée d'agitation détermine la finesse des bulles. Cette émulsion est stabilisée par les émulsifiants qui se placent à l'interface eau/huile, et maintiennent la structure grâce à leur caractère amphiphile (Acem, 2016; Karleskind, 1992).

II.5.4. Refroidissement et cristallisation

Le refroidissement s'effectue par un système qui provoque un échange thermique considérable, l'émulsion ainsi préparée est envoyée dans le cylindre refroidisseur où sous l'effet du froid intense qui provient des parois elle se fige et cristallise, la cristallisation est un phénomène qui permet d'avoir une structure et une stabilité du produit, elle se fait dans une température de 15 et 20°C (Aboiron & Ameury, 2004).

II.5.5. Texturation

Le produit cristallisé ou solide est ensuite mis dans un malaxeur où il va subir un traitement mécanique, afin d'obtenir la consistance voulue et une meilleure homogénéité de la texture (Aboiron & Ameury, 2004).

II.5.6. Emballage, conditionnement et stockage

La margarine est acheminée vers l'empaqueteuse ou elle subit un moulage. Elle est conditionnée soit dans des pots ou barquettes en plastique, soit enveloppée dans un emballage adéquat et conservée dans des chambres de stockage. La durée de stockage varie entre un minimum nécessaire pour la stabilité des produits et à un maximum compatible avec la conservation des qualités organoleptiques (Aboiron & Ameury, 2004).

II.6. Différents types de margarine

II.6.1. Margarine à destination des professionnels

Dans sa phase grasse, la margarine contient une proportion plus élevée d'huiles concrètes, ce qui permet de répondre à la fois aux besoins de fonctionnalité imposés par les contraintes de travail des différentes applications (laminage, incorporation, etc.) et aussi aux qualités organoleptiques attendues (texture croustillant, croquant, fondant, etc.). Elles sont incorporées dans les produits alimentaires élaborés telles que les produits de boulangerie-pâtisserie, les viennoiseries, les gâteaux, les biscuits, ... etc (Saillard, 2010).

II.6.2. Margarine de table traditionnelle

La margarine de table traditionnelle contient dans sa phase grasse une proportion importante d'huiles concrètes. Leur taux d'AGS est plus élevé, il joue un rôle dans la texture et permet de faciliter le moulage en plaquettes ou en barquettes. En moyenne, le taux de matière grasse varie entre 55 et 80 % de la masse totale. Elle peut être utilisée en cuisson ou intégrée comme ingrédient dans une recette (Saillard, 2010).

II.6.3. Margarine de table allégée

Les margarines allégées ont une teneur en matières grasses totale variant entre 60 %, 41 % ou 27 % réalisées à partir d'huiles riches en acide gras polyinsaturés (AGPI) et d'une fraction d'huile de palme. Souvent, elles sont enrichies en vitamine A, parfois complétées par de la vitamine E (Desalme et al., 2004).

II.6.4. Margarine de table riche en acide gras saturés

La majorité des margarines sont naturellement riches en AGI grâce aux huiles végétales entrant dans leur composition. Le choix de la nature des huiles utilisées permet de faire varier les teneurs en acides gras (huile de colza riche en oméga 3, huile de tournesol en oméga 6) et d'obtenir une richesse en vitamine E liposoluble. Elles peuvent être utilisées pour un usage « tartine » et/ou « cuisson » (Saillard, 2010).

II.6.5. Margarine de table enrichie en stérols végétaux

Les margarines enrichies en stérols végétaux (phytostérols ou phytostanols) agissent de manière spécifique pour réduire du taux de cholestérol à une baisse plus ; ces margarines sont destinées aux personnes ayant un taux de cholestérol trop élevé, elles peuvent employée en tartine ou en cuisson (Saillard, 2010)

II.7. Facteurs de détérioration de la margarine

Les facteurs d'altération de la margarine peuvent être d'ordres physique (température élevé), chimique (enzyme) et surtout bactériologique (Wolff, 1968).

La margarine, étant formée d'un pourcentage élevé de matières grasses, est sensiblement exposée à l'oxydation. Cette dernière est à l'origine de l'odeur de rance, le goût désagréable, le changement de couleur et des pertes d'activité vitaminique et de la valeur nutritive, elle est liée à :

- La lumière : en particulier les rayons UV qui exercent une action catalytique ;
- La température élevée et la durée de stockage ;
- La présence des enzymes et des microorganismes présents dans la phase aqueuse ;
- L'exposition de la margarine à l'oxygène atmosphérique ;
- Taux d'insaturation dans la phase grasse ;

Pour l'altération physique qui est due à la modification de la consistance de la margarine, la phase liquide se réduit par rapport à la phase solide conduisant ainsi à la perte de la texture, la flaveur et l'apparence recherchée (Genot et al., 2003; McClements & Decker, 2000).

II.8. Oxydation de la margarine

L'oxydation des lipides est une cause majeure de dégradation des aliments, elle affecte les acides gras insaturés des huiles, graisses et lipides. Cette réaction diminue également la valeur nutritionnelle et sensorielle ainsi leurs propriétés chimiques. Ce phénomène peut se produire lors des procédés technologiques, culinaires ou pendant la conservation (Villière & Genot, 2006).

II.8.1. Mécanisme d'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides est une réaction dont les principaux mécanismes sont globalement connus (Tableau VII).

Tableau VII : Mécanisme d'oxydation des lipides (Graille, 2003).

Type d'oxydation	Lipides oxydés	Catalyseurs	Agent oxydant	Prévention
Auto-oxydation	Tous les lipides insaturés	Métaux lourds, radicaux libres	Oxygène triplet	Antioxydants
Oxydation enzymatique	Lipides polyinsaturés	Lipoxygénases	Oxygène triplet	Inactivation des enzymes
Oxydation due à l'oxygène singulet	Tous les lipides insaturés	Molécules photosensibles	Oxygène singulet	Piégeurs d'oxygène singulet

II.8.2. Types d'oxydation

L'oxydation se subdivise en trois types principaux qui sont résumés dans la Figure 7.

II.8.2.1. Auto-oxydation

L'auto-oxydation est un phénomène spontané où les molécules d'oxygène réagissent avec les lipides, entraînant une détérioration oxydative. Ce processus peut être accéléré par la chaleur, la présence d'ions métalliques et de radicaux libres. Les acides gras insaturés sont particulièrement sensibles à ce type d'oxydation, bien que d'autres composants tels que les tocophérols et les pigments liposolubles puissent également être affectés. Cette réaction implique l'addition d'oxygène aux liaisons insaturées des molécules (Eymard, 2003; Graille, 2003; Laguerre et al., 2007).

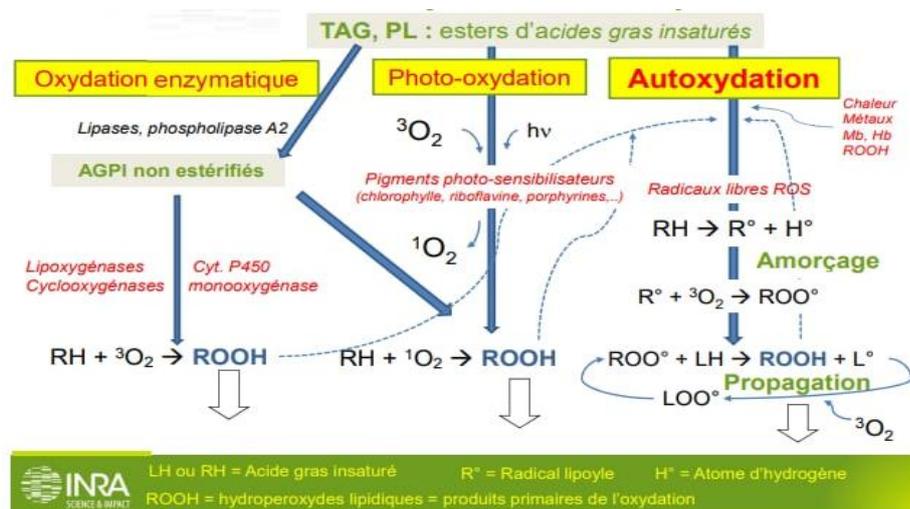


Figure 7 : Mécanismes d'oxydation des trois types d'oxydation (Genot, 2019).

II.8.2.2. Oxydation enzymatique

L'oxydation enzymatique est généralement catalysée par les lipoxygénases et les cyclooxygénases (Figure 7). La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé qui aboutit à la formation d'hydroperoxydes. Son activité est toujours couplée avec celles des lipases et des phospholipases (Eymard, 2003; Graille, 2003).

II.8.2.3. Photo-oxydation

L'oxydation causée par l'oxygène singulet est particulièrement intense dans les aliments exposés à la lumière visible et ultraviolette. En présence d'un photosensibilisateur, l'énergie lumineuse convertit l'oxygène de son état normal (triplet) en oxygène singulet, qui est mille fois plus réactif. Ce dernier réagit rapidement avec les doubles liaisons des composants alimentaires, formant des intermédiaires instables qui se transforment ensuite en hydroperoxydes plus stables. Les photosensibilisateurs les plus courants incluent les chlorophylles, les phéophytines, les métalloporphyrines et les riboflavines. Ainsi, les huiles alimentaires conservées dans des bouteilles incolores, où elles ne sont pas protégées de la lumière, sont un exemple de produits exposés à ce type de réaction (Min & Lee, 1998).

Partie
expérimentale

Matériel
et
méthodes

III. Matériel et méthodes

Le présent travail est réalisé au niveau du laboratoire de marganerie de l'unité agro-industrie « Cevital » (Annexes I) et au niveau du laboratoire de Génie Alimentaire de la Faculté de Technologie. Les objectifs principaux de la présente étude sont :

- Evaluation des propriétés fonctionnelles et antioxydantes de la poudre de *Curcuma longa* L.;
- Elaboration des margarines additionnées de poudre de *Curcuma longa* L. comme antioxydant naturel avec différentes concentrations : M_1 (50 ppm), M_2 (100 ppm) et M_3 (150 ppm) contre une margarine témoin (**MT**) ;
- Evaluation des qualités des margarines élaborées (physico-chimique, microbiologique et sensorielle).

III.1. Préparation des échantillons

Les rhizomes du *Curcuma longa* L. séchés ont été achetés le 20 avril 2024 chez un épicier "Epice d'Or" à Bejaïa. Les rhizomes ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique suivi d'un tamisage afin de récupérer une poudre fine. Cette dernière est conservée dans des flacons en verre préalablement stérilisés dans de l'eau bouillante pendant 20 minutes et séchés. Enfin, les flacons ont été fermés et stockés à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation (Figure 8).



1) Rhizome
(*Curcuma longa* L.)



2) Broyage



3) Tamisage



4) Poudre de *Curcuma longa* L.



5) Conservation dans des boucaux en verres à l'abri de l'humidité

Figure 8 : Photographie des étapes de préparation de la poudre de *Curcuma longa* L.

III.2. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche de la poudre

La teneur en eau et la matière sèche permettent de quantifier la quantité d'eau et des matières solides présentes dans un échantillon. Ces mesures sont essentielles pour évaluer la composition et la qualité des produits dans divers secteurs. Afin de déterminer la teneur en eau de la poudre du *Curcuma longa* L. étudiée, 2 g de poudre sont soumis à une dessiccation dans une étuve chauffée à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 4 heures (Al Askari et al., 2012). La teneur en eau est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{H (\%) = [(M1-M2) /P] *100}$$

Avec :

H (%) : Humidité en pourcentage ;

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

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

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

Le taux de matière sèche (MS) est exprimé comme suite :

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

III.3. Détermination des propriétés fonctionnelles de la Poudre

III.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

La CAE a été évaluée selon la méthode de Diomande et al. (2017), Une quantité de poudre du *Curcuma Longa* L. a été pesée et placée dans un tube de centrifugation. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses ont été notées (m_e). Ensuite, un volume d'eau a été ajouté à chaque tube et le mélange a été agité pendant 30 minutes suivie d'une centrifugation de 25 minutes à 5000 trs/min. Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (m_e'). La CAE est déterminée selon la formule suivante :

$$\mathbf{CAE = (m_e' - m_e) * 100/P}$$

Avec :

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

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

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

III.3.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)

Le même protocole que celui utilisé pour mesurer la CAE a été adopté, sauf que l'eau a été remplacée par l'huile, pour évaluer la capacité CAH. La capacité d'absorption est ensuite calculée selon la formule :

$$CAH = (me' - me) * 100/P$$

Avec :

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

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

P : Poids de la prise d'essai.

III.3.3. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)

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

$$RHL = CAE/CAH$$

Où :

RHL : Rapport hydrophile-lipophile ;

CAE : Capacité d'absorption d'eau ;

CAH : Capacité d'absorption d'huile.

III.3.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)

L'AE et la SE ont été déterminées en suivant le protocole décrit par Diomande et al. (2017). Une quantité de poudre du *Curcuma longa* L. a été pesée et ajoutée à un tube de centrifugation. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses ont été notées, ensuite chaque tube est additionné d'un même volume d'huile et d'eau. Après une agitation de 30 minutes, les tubes ont été centrifugés à 5000 trs/min pendant 25 minutes. Les tubes ont été retirés et les hauteurs (hauteur totale et hauteur d'eau) ont été mesurées et notées. L'activité émulsifiante est calculée selon la formule suivante :

$$AE = (He/Ht) * 100$$

Avec :

He : Hauteur d'eau ;

Ht : Hauteur totale.

Afin d'évaluer la stabilité des émulsions, les tubes ont été placés dans un bain-marie bouillant. Après cette période, les tubes ont été retirés et les nouvelles hauteurs d'eau ont été notées (He'). La stabilité est calculée selon la formule suivante :

$$SE = (He'/He) * 100$$

Avec :

He : Hauteur d'eau ;

He' : Nouvelle hauteur d'eau.

III.3.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)

L'AM et la SM ont été évaluées en suivant le protocole décrit par Li et al., (2018). Une solution aqueuse de la poudre du *Curcuma longa* L. a été préparée et agitée à l'aide d'un mélangeur à haute vitesse à température ambiante. Le mélange résultant a été transféré dans une éprouvette graduée et le volume du mélange a été enregistré après fouettage. L'échantillon a été placé pendant 30 minutes (repos) et son volume a été enregistré à nouveau. L'AM et la SM ont été calculés en utilisant les formules suivantes :

$$AM (\%) = (V_2 - V_1 / V_1) * 100$$

$$SM (\%) = (V_3 / V_2) * 100$$

Avec :

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

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

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

III.4. Extraction et dosage des antioxydants

III.4.1. Préparation de l'extrait

Les composés phénoliques du *Curcuma longa* L. ont été extraits selon le protocole décrit par Paulucci et al., (2013). 16,66 g d'échantillons ont été mélangés avec 100 mL d'éthanol 70%. Ce mélange a été placé dans un bain-marie à une température de 80°C sous agitation pendant 2 heures. Ensuite, une centrifugation à 3000 rpm pendant 30 minutes a été effectuée, suivie d'une filtration afin de récupérer l'extrait éthanolique utilisé pour le dosage des antioxydants et l'évaluation de l'activité antioxydante de la poudre du *Curcuma longa* L.

III.4.2. Dosage des antioxydants

III.4.2.1. Dosage des composés phénoliques

Le dosage des polyphénols est généralement réalisé à l'aide d'une méthode colorimétrique utilisant un spectrophotomètre UV-VIS, qui utilise l'essai de Folin-Ciocalteu, également appelé essai de Folin-Denis. Cette méthode repose principalement sur la réduction du réactif de Folin dans une solution alcaline. La réaction repose sur la transformation du mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) du réactif de Folin-Ciocalteu en présence de carbonate de sodium, créant un milieu légèrement alcalin (Vermerris, 2008), lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) mélange prend une coloration bleu violacée.

Le dosage des composés phénoliques a été effectué par une méthode adaptée de Nickavar et al. (2008), 200 μ L d'extrait sont combinés avec 1 mL du réactif Folin Ciocalteu (dilué au 1/10). Après 10 minutes, 800 μ L de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) (75 g/L) sont introduits. La solution résultante est soigneusement mélangée et conservée à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante. L'absorbance est mesurée à 765 nm et la quantité de composés phénoliques est exprimée en milligrammes Equivalent d'Acide Gallique pour 100 grammes de Matière Sèche (mg EAG/100 g MS), en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec de l'acide gallique (Annexe II).

III.4.2.2. Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes ont été quantifiés en utilisant une méthode qui repose sur la formation d'un complexe très stable entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène situés sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Lagnika, 2005).

Les teneurs en flavonoïdes ont été déterminés selon le protocole de Djeridane et al (2006). 1 mL d'extrait a été additionné de 1 mL de chlorure d'aluminium (2 %). Après une incubation de 15 minutes, l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 420 nm, et les résultats ont été exprimés en milligramme Equivalent Quercétine par 100 g de Matière Sèche (mg EQ/100g MS), en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec la Quercétine comme standard (Annexe II).

III.4.2.3. Dosage des flavonols

La teneur en flavonols de l'extrait éthanolique du *Curcuma longa* L. a été déterminée selon la méthode de Djeridane et al (2006). A 500 μ L d'extrait éthanolique sont ajoutés

500 µL d'eau distillée, 500 µL de chlorure d'aluminium (2%) et 500 µL d'acétate de sodium (50g/L). Après 30 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 440 nm. Les concentrations en flavonols ont été exprimées en milligramme Equivalent Quercétine par 100g de Matière Sèche (mg EQ/100g MS) et déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage préparé avec la Quercétine (Annexes II).

III.4.3. Extraction et dosage des caroténoïdes

III.4.3.1. Extraction

Les caroténoïdes sont extraits selon la méthode décrite par Sass-Kiss et al (2005). 20 mL d'un mélange hexane: acétone: éthanol (2:1:1, v/v) sont ajoutés à 0,1 g de poudre de *Curcuma longa* L. Après une agitation pendant 30 minutes, la phase supérieure est récupérée. Une deuxième extraction est réalisée en ajoutant 10 mL d'hexane à la phase inférieure. Le mélange des deux extractions est utilisé pour doser les caroténoïdes totaux.

III.4.3.2. Dosage des caroténoïdes totaux

La quantification des caroténoïdes totaux a été effectuée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 450 nm. La concentration est déterminée en utilisant la courbe d'étalonnage établie avec le β-carotène (Annexe I), et les résultats sont exprimés en milligrammes Equivalent β-carotène pour 100 grammes de Matière Sèche (mg EBC/100 g MS).

III.5. Evaluation de l'activité antioxydante

III.5.1. Inhibition du radical DPPH°

L'activité antiradicalaire de l'extrait éthanolique est évaluée par la méthode de Molyneux (2004), qui repose sur la réduction du radical diphényl picrylhy-drazyle (DPPH°) par don d'atomes d'hydrogène ou d'électrons.

Le protocole utilisé dans cette méthode, basé sur celui décrit par Fadili et al. (2015), avec quelques modifications, comprend le mélange de 1 mL de la solution DPPH° avec 200 µL d'extrait. La réduction de la solution de DPPH° a été évaluée à une longueur d'onde de 515 nm après 30 minutes d'incubation. Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH° sont déterminés en utilisant la formule suivante :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(Abs_C - Abs_{Ech}/Abs_C)] * 100$$

Avec :

Abs_C : Absorbance du contrôle à 515 nm ;

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

Les résultats sont exprimés en milligramme Equivalent Trolox par 100 grammes de Matière Sèche (mg ET/100 g MS) on se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec le Trolox (Annexe II).

III.5.2. Activité antioxydante totale

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium repose sur la capacité des substances organiques antioxydantes à réduire le molybdate de sodium de la forme Mo^{6+} à la forme Mo^{5+} . Dans un milieu acide, il y a formation d'un complexe phosphate- Mo^{5+} qui se traduit par une coloration verte dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants (Bougatef et al., 2009). L'évaluation de l'activité antioxydante totale repose sur la mesure de la coloration du complexe molybdène en présence d'antioxydants. Contrairement à d'autres tests, celui-ci permet non seulement de quantifier l'activité antioxydante des polyphénols, mais également d'autres composés antioxydants comme les vitamines (C, E, ...etc.).

L'estimation de l'activité antioxydante avec le réactif de phosphomolybdate a été effectuée en suivant la méthode Prieto et al. (1999), La méthode consiste à mélanger 1 mL du réactif de phosphomolybdate (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mm de phosphate de sodium et 4 mm de molybdate d'ammonium) avec 100 μL d'extrait. Après 90 minutes d'incubation dans un bain-marie à une température de 95°C , l'absorbance est mesurée à 595 nm. L'activité oxydante totale est exprimée en mg Equivalent Acide Ascorbique par 100 g de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS) en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec l'acide ascorbique (Annexe II).

III.6. Elaboration de la margarine

III.6.1. Macération de l'huile avec de la poudre (*Curcuma longa* L.)

Selon Reboredo Rodríguez et al. (2017), la macération connue également sous le nom d'infusion ou d'extraction solide-liquide (SLE), est une technique employée pour aromatiser divers aliments. Ce processus traditionnel d'aromatisation requiert un laps de temps significatif pour extraire les composés souhaités, principalement dans la phase huileuse. Il est généralement effectué sous agitation à température ambiante ou à des températures allant jusqu'à $40-60^{\circ}\text{C}$, pendant une période allant de plusieurs heures à quelques jours ou même plus d'un mois, le mélange final doit être filtré afin d'éliminer les traces de feuilles ou d'herbes dans l'huile. Avec cette méthode, la stabilité des composés fonctionnels sont préservés et les propriétés saines des huiles comestibles fonctionnelles sont améliorées.

Dans le présent travail une macération de l'huile avec différentes quantités de poudre de *Curcuma longa* L. a été effectuée. Dans trois béchers séparés contenant 100 g d'huile de colza chacun sont additionnées de différentes masses de poudre (50 ppm, 100 ppm, 150 ppm) (Figure 9). Après 5 heures d'agitation à température ambiante, les trois mélanges sont filtrés à l'aide d'un papier filtre afin de se débarrasser du culôt.

III.6.2. Formulation de la margarine à l'échelle laboratoire

Trois concentrations de poudre du *Curcuma longa* L. (50, 100 et 150 ppm) ont été testées afin de déterminer la quantité idéale de poudre qu'on peut incorporer et à l'utiliser comme un antioxydant naturel dans la margarine.

Les phases grasses sont préparées séparément dans des béchers distincts et elles sont composées d'un mélange d'huiles (palme et soja hydrogéné) ainsi que de l'huile de colza macérée avec la poudre du *Curcuma longa* L. à différentes concentrations. A ces phases grasses sont ajoutés des phases aqueuses contenant : l'eau, le sel, le sorbate de potassium et l'acide lactique (Figure 9 et Tableau VIII). Après mélange et agitation des deux phases à l'aide d'une sorbetière suivi d'un refroidissement, l'émulsion est ensuite divisée en portions dans des barquettes de 250 g, pour un poids total de 2 kg.

Une margarine de référence ou témoin (MT) a été élaborée dans les mêmes conditions avec l'antioxydant standard « Tert-butylhydroquinone » (TBHQ). Cependant, avant le refroidissement dans la sorbetière, quelques gouttes de colorant (β -carotène) sont ajoutées. Cette margarine est ensuite répartie dans deux barquettes de 250 g chacune. Les barquettes ainsi obtenues sont stockées à 4°C afin de les analyser.

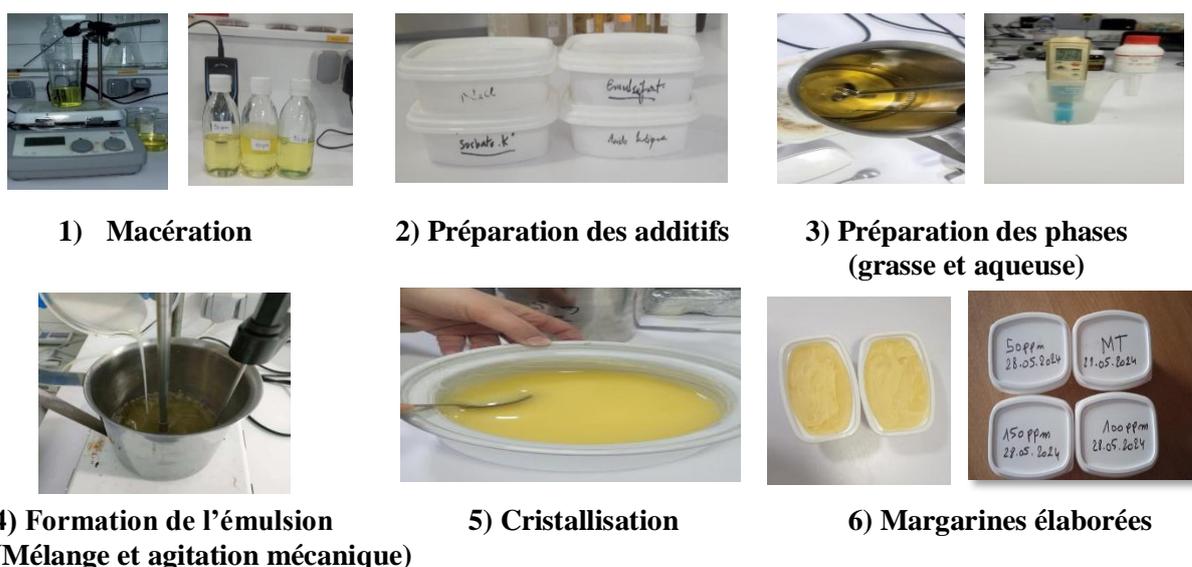


Figure 9 : Etapes de formulation des margarines.

Tableau VIII : Composition de la phase aqueuse et la phase grasse des margarines élaborées.

Margarine/Composition	Margarine de référence	Margarine enrichie
Phase grasse	<ul style="list-style-type: none"> • 100 g Huile de palme ; • 100 g Huile de colza ; • 100 g Huile de soja hydrogéné. 	<ul style="list-style-type: none"> • 100 g Huile de palme ; • 100 g Huile de colza macérée avec la poudre du <i>Curcuma longa</i>; • 100 g Huile de soja Hydrogéné.
	<ul style="list-style-type: none"> • 100 ppm d'antioxydant (TBHQ) ; • 2 g Emulsifiant. 	<ul style="list-style-type: none"> • M1 : 50 ppm de <i>Curcuma longa</i> L. ; • M2 : 100 ppm de <i>Curcuma longa</i> L. ; • M3 : 150 ppm de <i>Curcuma longa</i> L.
Phase aqueuse	<ul style="list-style-type: none"> • 94g Eau ; • 2g Sel ; • 0,5g Sorbate de potassium ; • 0,1g Acide lactique. 	

Les types de margarines préparées sont les suivants :

- **MT** : Margarine Témoin ou margarine de référence contenant 100 ppm d'antioxydant standard (TBHQ) et elle est commercialisée.
- **M₁** : Margarine 1 additionnée de 50 ppm de poudre du *Curcuma longa* L.
- **M₂** : Margarine 2 additionnée de 100 ppm de poudre du *Curcuma longa* L.
- **M₃** : Margarine 3 additionnée de 150 ppm de poudre du *Curcuma longa* L.

Les margarines élaborées sont ensuite soumises à une série d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles afin de déterminer leurs qualités.

III.6.3. Qualité physico-chimique des margarines élaborées

III.6.3.1. Détermination du pH (NE1.2.430/89)

Le pH est déterminé directement sur la phase aqueuse à l'aide d'un pH-mètre, après séparation des deux phases (grasse et aqueuse) (Wolff, 1968).

III.6.3.2. Détermination du taux d'humidité (ISO 662 deuxième édition 15-09- 1998)

Ce test permet de déterminer la teneur en eau dans la margarine. Elle consiste d'abord à chauffer l'échantillon (2 g) sur une plaque chauffante, en agitant soigneusement jusqu'à évaporation totale de l'eau, puis à laisser refroidir dans un dessiccateur. Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) * 100$$

Avec :

M₁ : Poids du bécher en g.

M₂ : Poids de la prise d'essai.

M₀ : Poids du bécher contenant l'échantillon après chauffage.

III.6.3.3. Détermination de la teneur en sel (Méthode de MOHR)

La détermination de la teneur en sel dans la margarine, consiste à dissoudre 5 g d'échantillon dans 100 mL d'eau distillée bouillante. Le mélange obtenu est ensuite titré par une solution de nitrate d'argent AgNO_3 (0,1N) en présence de quelques gouttes de chromate de potassium, utilisé comme un indicateur coloré. Le virage de la couleur en rouge brique indique la formation d'un précipité de chlorure d'argent (AgCl). La teneur en chlorure de sodium est donnée par la formule suivante :

$$\text{TS (\%)} = [(V_{\text{AgNO}_3} * N * 58,5) / (1000 * P_e * (100))]$$

Avec :

TS : Taux de sel en pourcentage ;

V_{AgNO_3} : Volume de la solution de nitrate d'argent utilisée pour la prise d'essai (mL).

N : Normalité de la solution de nitrate d'argent (0,171N).

58,5 : Masse molaire du chlorure de sodium (g/mol).

P_e : Prise d'essai en gramme (g).

III.6.3.4. Détermination de l'indice de peroxyde (ISO, 2007)

Le principe repose sur le traitement d'une prise d'essai en solution dans un mélange d'acide acétique et de chloroforme, par une solution d'iodure de potassium (KI). L'iode libéré est titré par une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) en présence d'amidon comme indicateur de couleur. Selon le protocole de Wolff, (1968), dans un ballon 2 g de la phase grasse sont mélangés avec 10 mL de chloroforme, 15 mL d'acide acétique et 1 mL d'iodure de potassium ($3 \cdot 10^{-3}\text{M}$); l'ensemble est incubé à l'obscurité pendant 5 mn avant d'y ajouter 75 mL d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon. La titration est réalisée avec une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) à 0,01N jusqu'à l'apparition de la couleur mère (transparent). L'indice de peroxyde est exprimé par la formule suivante :

$$\text{IP (meq d'O}_2\text{/ Kg d'ech)} = N (V - V_0) * 1000/P$$

Avec :

IP : Indice de peroxyde exprimé en milliéquivalent d'oxygène par kilogramme d'échantillon ;

V_0 : Volume de la solution de thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc (mL) ;

V : Volume de thiosulfate de sodium pour l'échantillon (mL) ;

N : Normalité de la solution de thiosulfate de sodium (0,002N) ;

P : Prise d'essai (g).

III.6.3.5. Détermination du point de fusion (NE, 1988)

Le point de fusion consiste à mesurer la température à laquelle une matière grasse solidifiée dans un tube capillaire se ramollit jusqu'au point où elle remonte dans le tube. La méthode de Wolff (1968) est adoptée, environ 1 Cm de phase grasse fondue est versé dans deux tubes capillaires qui sont ensuite placés au congélateur. Après 20 min, ils sont suspendus dans un bécher rempli d'eau dans lequel est plongée la sonde d'un thermomètre. Le bécher est chauffé de façon que la température s'élève d'environ 0,5°C par minute, la température est notée au moment où la matière grasse monte dans les tubes capillaires. La température notée correspond au point de fusion de la margarine, elle est exprimée en degré Celsius (°C).

III.6.3.6. Détermination d'acidité (ISO, 2007)

La détermination de l'acidité repose sur le traitement d'une prise d'essai de la margarine par un mélange d'éthanol et d'oxyde diéthylique, puis un titrage d'acides gras libres présents à l'aide d'une solution éthanoïque d'hydroxyde de sodium. Un poids de 10 g de margarine est additionné à 50 mL d'éthanol neutralisé et quelques gouttes d'indicateur coloré (phénolphthaléine). Le mélange est titré avec de soude (0,1 N) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle. L'acidité du corps gras (margarine) est déterminée comme suit :

$$Ac (\%) = (V_{NaOH} * N * 282) / (10 * P)$$

Avec :

Ac : Acidité exprimée en Pourcentage ;

N : Normalité du NaOH (0,1 N) ;

V : Volume du NaOH (mL).

M : Poids moléculaire de l'acide oléique (282 g/mole).

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

III.6.3.7. Détermination du taux de solide par RMN (ISO, 1995)

Afin de déterminer le taux de solide dans les échantillons de margarines, une quantité de chaque échantillon est fondue ; la phase grasse récupérée est versée dans des tubes à raison de 3 Cm. Les tubes sont incubés à 0°C pendant une heure ; un tube est gardé à 0°C, les autres sont placés à différentes températures. Chaque tube est introduit dans l'RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) et leur SFC (Solide Fact Content) est lu sur l'écran.

III.6.3.8. Résistance à l'oxydation accélérée (Test Rancimat)

Le test Rancimat est largement employé pour évaluer la stabilité oxydative des matières grasses en mesurant leur consommation d'oxygène. Le temps d'induction au test Rancimat (TIR), exprimé en heures, indique la durée pendant laquelle la matière grasse a résisté à un stress oxydatif avant de commencer à se détériorer (Rahmani, 2007).

La norme internationale ISO 6886 (2006) définit la période d'induction et la stabilité à l'oxydation comme suit :

- **Période d'induction** : est le temps écoulé entre le début de mesure et le moment où la formation de produits d'oxydation commence à augmenter rapidement.
- **Stabilité à l'oxydation** : est une période d'induction, exprimée en heures et déterminée suivant la méthode ci-après.

Le principe du test consiste à vieillir prématurément les matières grasses par décomposition thermique à une température spécifiée. Elle se fait généralement à une température comprise entre 100 et 120°C, sous un bullage intensif d'air (à 98°C dans les conditions opératoires). Les acides organiques, produits de dégradation de cette oxydation poussée, sont entraînés par un courant d'air et recueillis dans une fiole contenant de l'eau déminéralisée ou distillée, dans laquelle est immergée une électrode de mesure de la conductivité. Le temps est déterminé par conductimétrie et correspond au TIR ou période d'induction. La fin de celle-ci est indiquée lorsque la conductivité augmente rapidement. Cette augmentation accélérée est provoquée par l'accumulation d'acides gras volatils produits au cours de l'oxydation.

Cette analyse consiste à mettre la margarine préparée dans des conditions d'oxydation accélérées : température fixée à 98°C, débit de l'air à 10 L/h et addition d'eau distillée jusqu'à 60 mL. Les flacons contenant les mélanges ont été introduits dans un appareil connecté à un micro-ordinateur pour le contrôle de l'analyse et l'enregistrement automatique des résultats. La période d'induction et la stabilité à l'oxydation des échantillons sont exprimées en heure.

III.6.4. Qualité microbiologique des margarines élaborées

Les risques de contamination microbiologique de la margarine sont principalement liés à sa phase aqueuse, étant donné que les huiles ne sont pas propices au développement des bactéries. Cette phase est particulièrement vulnérable aux contaminations microbiennes et peut devenir un milieu de culture pour des microorganismes introduits accidentellement (Karleskind, 1992).

Les bactéries, levures et moisissures provenant de la phase aqueuse détériorent la qualité de la margarine en libérant des acides gras libres, des aldéhydes et des cétones, qui sont responsables des mauvaises odeurs. Bien que la margarine soit un produit généralement sain, les bactéries agissent de manière insidieuse en compromettant sa qualité (Karleskind, 1992).

Les analyses microbiologiques sont effectuées sur les produits finis afin d'évaluer leurs niveaux d'hygiène et leurs qualités. Les germes recherchés sont : coliformes totaux et fécaux, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* et levures et moisissures (Tableau IX).

Tableau IX : Micro-organismes recherchés dans les margarines élaborés (JORA, 2017).

Germes recherchés	Milieux utilisés	Température d'incubation	Durée d'incubation
Germes aérobies à 30°C	Gélose PCA	37°C	24 à 48 h
Coliformes Fécaux	Gélose VRBL	44°C	24 h
<i>Salmonella</i>	Gélose Hectoen	37°C	24 h
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gélose Chapman	37°C	48 h
Levures et moisissures	Gélose Sabouraud	25°C	3 jours

III.6.5. Qualité sensorielle des margarines élaborées

L'analyse sensorielle a pour but de décrire les caractéristiques organoleptiques des produits élaborés, de façons objective et qualifiable selon des critères bien définis d'aspect, de texture, de saveur et de goût. Une évaluation sensorielle, peut être un test de préférence ou un test d'acceptabilité, le test de préférence consiste à comparer deux ou plusieurs produits pour choisir le préféré ou pour les ordonner selon la préférence du sujet, alors que le test d'acceptabilité consiste à accorder une note sur une échelle à chacun des produits de l'étude (Schlich et al., 2010).

III.6.5.1. Préparation des échantillons et codage

Afin d'évaluer la qualité organoleptique des margarines élaborées une séance de dégustation a été organisée le 3 juin 2024, au sein d'un laboratoire des analyses sensorielles qui se situe dans le bloc 12, quatre échantillons de margarines sont formulés et préparés dans les mêmes conditions: margarines enrichies de poudre du *curcuma* de différentes concentrations « M₁, M₂ et M₃ » et la margarine témoin « MT ».

Les échantillons sont codés : A (MT) et B (M₁), C (M₂) et D (M₃) présentés avec un gobelet d'eau et une pomme pour un jury composé de 15 dégustateurs experts (Figure 10).

III.6.5.2. Recueil des résultats

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

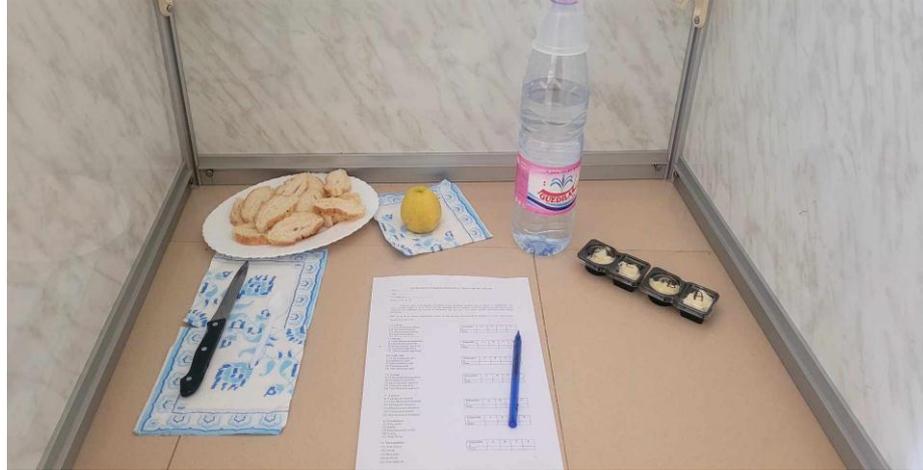


Figure 10 : Photographie d'un post d'évaluation sensorielle.

III.6.6. Expression des résultats

Tous les résultats ont été exprimés en moyennes \pm écart type à l'aide de Microsoft Excel 2016. L'analyse de la variance, ANOVA avec le logiciel STATISTICA 5.5 est utilisée afin de mettre en évidence la plus petite différence significative (LSD) entre les margarines élaborées à la probabilité $p < 0,05$.

Résultats
et
discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1. Paramètres physico-chimiques de la poudre (*Curcuma longa* L.)

IV.1.1. Teneur en eau

L'eau constituant principal de nombreux produits alimentaires, joue un rôle crucial en technologie alimentaire. La connaissance de la teneur en humidité est essentielle pour évaluer la valeur nutritionnelle des aliments et déterminer leurs capacités à la conservation (Nielsen, 2017).

Le Tableau X montre que la teneur en eau du poudre étudiée est de l'ordre de $12,67 \pm 1,15$ % qui est proche à celle rapportée par Ikpeama et al. (2014) avec un taux de $12,19 \pm 1,22$ %. Inversement, Chattopadhyay et al. (2004) et Kavatsurwa et al. (2008) ont enregistré des valeurs d'humidité supérieures avec des taux $13,1 \pm 0,00$ % et $21,18 \pm 0,00$ %, respectivement. Plusieurs facteurs peuvent influencer la teneur en eau, comme l'âge de la plante, sa phase de croissance végétative, ainsi que des facteurs génétiques (Athamena, 2009). De plus, les variations de la teneur en eau peuvent aussi être dues à diverses conditions environnementales, comme l'exposition à différentes conditions pédoclimatiques et la répartition géographique (Ruiz-Rodríguez et al., 2011).

Tableau X : Taux d'humidité et de matière sèche de la poudre du *curcuma*

Paramètre	Moyenne \pm écarttype (%)
Humidité	$12,67 \pm 1,15$
Matière sèche	$87,33 \pm 1,15$

IV.1.2. Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche enregistré pour la poudre de curcuma étudiée est de $87,33 \pm 1,15$ % (Tableau X). Cette valeur est proche de celle rapportée par Tobou et al. (2020) et Ikpeama et al. (2014) qui ont observé un taux de 89,6 % et $91,00 \pm 0,01$ %, respectivement. En revanche, Christine et al. (2021) ont noté un taux de matière sèche beaucoup plus bas qui est de 19 %, ce qui est nettement inférieur à nos résultats. Les variations observées dans le taux de matière sèche de la poudre de curcuma peuvent être attribuées à des différences dans les conditions environnementales, la localisation géographique et/ou la période de récolte.

IV.2. Propriétés fonctionnelles de poudre (*Curcuma longa* L.)

L'objectif de ces tests est de simuler l'incorporation potentielle de la poudre du *Curcuma longa* L. dans divers produits alimentaires à haute teneur en eau ou en huile, tels que les jus, les margarines, les yaourts, ...etc. Les résultats obtenus concernant les propriétés fonctionnelles de la poudre de *curcuma* sont présentés dans le Tableau XI.

Tableau XI : Propriétés fonctionnelles de la poudre du *Curcuma Longa* L.

Propriété	Moyenne ± écarttype (%)
CAE (%)	344,67 ± 55,72
CAH (%)	140,67 ± 9,24
RHL	2,45 ± 0,33
AE (%)	82,31 ± 6,84
SE (%)	53,33 ± 5,77
AM (%)	19,09 ± 1,29
SM (%)	83,97 ± 0,91

CAE: Capacité d'Absorption d'Eau; *CAH:* Capacité d'Absorption d'Huile; *RHL:* Rapport Hydrophile/Lipophile; *AM :* Activité Moussante; *SM:* Stabilité Moussante; *AE:* Activité Emulsifiante; *SE:* stabilité de l'Emulsion.

IV.2.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

L'activité de l'eau (CAE) peut influencer les caractéristiques sensorielles des aliments préparés. Une poudre ayant une forte capacité d'absorption d'eau peut contribuer à une texture plus moelleuse, juteuse ou crémeuse, améliorant ainsi la perception sensorielle globale du produit. Par exemple, dans les produits de boulangerie comme le pain, les gâteaux ou les biscuits, une bonne capacité d'absorption d'eau peut favoriser l'obtention d'une texture tendre et d'une sensation en bouche agréable (Okpala et al., 2013). Dans notre étude, la poudre du *curcuma* présente une CAE de 344,67 ± 55,72% (Tableau XI), ce qui est supérieur à la valeur rapportée par Benmeziane-Derradji & Aoun (2022) pour la poudre de curcuma 296,5 ± 0,71 %, ainsi que pour la poudre de gingembre 126,5 ± 0,71 %.

Les différences enregistrées dans la CAE pour la poudre de curcuma peuvent être expliquées par l'utilisation de différentes techniques de séchage. Comparant à la poudre de gingembre, le curcuma présente un CAE significativement plus élevé, ce qui en fait un ingrédient fonctionnel précieux pour les produits alimentaires nécessitant une viscosité optimale comme les soupes, les sauces et les produits laitiers, ainsi que pour ceux nécessitant

une hydratation afin de prévenir la synergie, d'améliorer le rendement et de stabiliser les émulsions telle que les margarines et les mayonnaises (Benmeziane-Derradji & Aoun, 2022).

IV.2.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)

L'absorption d'huile est un aspect crucial dans la formulation des aliments car elle influence leurs propriétés organoleptiques. Elle agit comme un piège de saveurs, améliore la douceur des aliments et leur sensation en bouche (Benmeziane-Derradji & Aoun, 2022).

La poudre du *curcuma* présente une CAH de $140,67 \pm 9,24$ % (Tableau XI), ce qui est inférieure à celle rapportée par Benmeziane-Derradji & Aoun (2022) avec un taux de $173,33 \pm 8,33$ %. Les variations des propriétés de rétention d'huile peuvent être attribuées aux différentes méthodes de transformation des aliments, qui peuvent influencer la structure et l'hydrophobicité des protéines (Sangnark & Nookhorm, 2004). Cette haute valeur de la CAH rend le *curcuma* particulièrement utile pour améliorer le rendement, stabiliser les émulsions, et modifier la texture et la viscosité des produits alimentaires à haute teneur en matières grasses (Benmeziane-Derradji & Aoun, 2022).

IV.2.3. Rapport hydrophile-lipophile (RHL)

Selon Benmeziane-Derradji & Aoun, (2022), Le rapport hydrophile-lipophile (RHL) est utilisé pour évaluer l'affinité relative de ces poudres pour l'eau et l'huile. Un RHL supérieur à 1 indique une plus grande affinité de la poudre pour l'eau que pour l'huile. Dans notre étude, la poudre de curcuma a obtenu un RHL de $2,45 \pm 0,33$ % ce qui indique une nette affinité pour l'eau par rapport à l'huile (Tableau XI). De même, la valeur du RHL rapportée par Benmeziane-Derradji & Aoun, (2022) était $1,64 \pm 0,004$ % confirme également cette tendance du *curcuma* pour l'eau.

IV.2.4. Activité émulsifiante (AE) et stabilité de l'émulsion (SE)

Les propriétés émulsifiantes sont évaluées à travers deux mesures principales : l'activité émulsifiante (AE) et la stabilité des émulsions (SE). Pour la poudre de *curcuma*, l'AE est de l'ordre de $82,31 \pm 6,84$ % et la SE enregistrée est de $53,33 \pm 5,77$ % (Tableau XI). Ces résultats sont proches à ceux notées par Benmeziane-Derradji & Aoun, (2022), qui ont montré des valeurs respectives de $79,69 \pm 2,38$ % et $47,82 \pm 3,34$ %.

IV.2.5. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)

Une mousse est une structure où des bulles de gaz sont uniformément dispersées dans une phase continue composée à la fois d'eau et de matières grasses. Les protéines jouent un

rôle stabilisateur similaire dans les mousses comme dans les émulsions. Lors de la formation de la mousse, les protéines se déplacent vers la surface où l'air et l'eau se rencontrent, se réorganisent et s'agglomèrent pour former une couche interfaciale autour des bulles d'air, capturant ainsi les bulles de gaz. Ce processus de stabilisation permet à la mousse de maintenir sa structure, empêchant son effondrement immédiat après sa formation et parfois même pendant son stockage (Farooq & Boye, 2011; Khazaei et al., 2019).

D'après les résultats du Tableau XI, l'activité moussante de la poudre de *curcuma* est de $19,09 \pm 1,29$ % qui est inférieure à la valeur noté par Monnet (2018) qui est de 29 %. En revanche, la stabilité moussante est de l'ordre de 83,97 %, qui est supérieur au taux rapporté par Yapi et al. (2021) (73,07 %). Ces différences peuvent être attribuées aux techniques d'analyses utilisées et/ou aux différentes méthodes de séchage appliquées lors de la préparation des échantillons (Benmeziiane-Derradji & Aoun, 2022).

IV.3. Antioxydants

IV.3.1. Polyphénols

Selon Viuda-Martos et al. (2011), les composés phénoliques sont des métabolites secondaires cruciaux dont la teneur peut servir d'indicateur important de la capacité antioxydante..

La teneur en polyphénols de l'extrait éthanolique de la poudre de *curcuma* est de $3384,67 \pm 247,85$ mg GAE/100 g de matière sèche (MS), comme indiqué dans le Tableau XII. Cette valeur est similaire à celle obtenu par Christine et al. (2021) avec une teneur de $35,25 \pm 0,52$ mg GAE/g. Cependant, Mohd Nor et al. (2009), ont observé des niveaux plus élevés de polyphénols dans la poudre du *curcuma* avec un taux de $116,3 \pm 0,2$ mg GAE/g.

Tableau XII : Teneurs en antioxydants du *Curcuma longa* L.

Antioxydant	Teneur
Polyphénols (mg EAG/100 g MS)	$3384,67 \pm 247,85$
Flavonoïdes (mg EQ/100 g MS)	$2012,32 \pm 24,59$
Flavonols (mg EQ/100 g MS)	$1979,66 \pm 113,86$
Caroténoïdes (mg EβC/100 g MS)	$82,83 \pm 3,33$

En outre, plusieurs autres auteurs ont rapporté des taux inférieurs de polyphénols dans la poudre du *Curcuma longa* L. Mansouri et al. (2021); Devi et al., (2015); Trinidad et al. (2012) et Yahiaoui, (2023) avec des taux de $67,9 \pm 1,0$ mg GAE/100 g, 68,64 mg GAE /100 g, $174,0 \pm 0,5$ mg/100 g et 4,363 mg GAE/g, respectivement.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences enregistrées dans la teneur en polyphénols, notamment la méthode d'extraction utilisée et des variables extrinsèques telles que les conditions géographiques et climatiques. Ces éléments influencent la composition chimique des plantes, notamment leur teneur en polyphénols. Les conditions environnementales telles que l'exposition au soleil, la température, ainsi que les caractéristiques du sol, jouent un rôle significatif dans cette variation. De plus, des facteurs comme le degré de maturation des plantes et la durée de stockage ont également une forte influence sur le contenu en polyphénols (Doukani & Tabak, 2015; Pavlović et al., 2011).

IV.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des antioxydants naturellement présents dans de nombreux aliments d'origine végétale. Ils jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes contre les dommages provoqués par les radicaux libres, tout en offrant également des avantages potentiels pour la santé humaine. Les flavonoïdes sont associés à divers effets bénéfiques tels que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et cardio-protectrices (Maleš et al., 2006)

L'extrait de la poudre du *curcuma* étudié présente une teneur en flavonoïdes de $2012,32 \pm 24,59$ mg EQ/100 g MS (Tableau XII), ce qui dépasse largement les valeurs rapportés par Trinidad et al. (2012) et Yahiaoui (2023) qui ont mesuré respectivement des taux de 1,25 mg EQ/g et 1,003 mg EQ/g MS. En outre, Christine et al. (2021) ont trouvé une concentration de flavonoïdes significativement plus élevée comparativement au résultat noté dans la présente étude avec un taux atteignant $92,52 \pm 0,54$ mg GAE/g.

IV.3.3. Flavonols

Les flavonols sont des composés bénéfiques présents naturellement dans de nombreux aliments végétaux, ils sont connus pour leurs propriétés antioxydantes et divers avantages pour la santé (Benmeziiane-Derradji & Aoun, 2022).

Le Tableau XII indique que la poudre du *curcuma* (*Curcuma longa* L.) présente une concentration notable de flavonols, mesurée à $1979,66 \pm 113,86$ mg EQ/100 g de matière sèche. En revanche, un taux significativement inférieure de l'ordre de $285,30 \pm 33,90$ mg

EQ/100 g est noté par Benmeziane-Derradji & Aoun, (2022). Cette différence peut être expliquée par divers facteurs tels que les méthodes analytiques utilisées, méthode d'extraction utilisée, les conditions de culture, le degré de maturation, ainsi que les procédés de traitement et de stockage de la poudre du *curcuma*.

IV.3.4. Caroténoïdes totaux

Les caroténoïdes sont parmi les pigments naturels les plus importants en raison de leur présence généralisée. Une augmentation de leur consommation a été associée à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires et de cancers (Plaza et al., 2011).

La teneur en caroténoïdes dans la poudre du *curcuma* étudiée est de $82,83 \pm 3,33$ mg E β C/100 g MS (Tableau XII), ce qui représente une différence significativement plus élevée par rapport à la valeur enregistrée par Benmeziane-Derradji & Aoun, (2022) ($29,77 \pm 2,30$ mg E β C/100 g MS). Ces variations observées dans la teneur en caroténoïdes peuvent être influencées par plusieurs facteurs, notamment la méthode d'extraction utilisée, l'origine géographique de l'échantillon du *curcuma*, ainsi que le stade de maturité du produit et les conditions spécifiques de conservation.

IV.4. Activité antioxydante

IV.4.1. Activité antiradicalaire DPPH

Selon Sharififar et al. (2009) et Dib et al. (2013), le radical DPPH^o est largement utilisé dans l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits végétaux en raison de sa stabilité et de sa facilité d'utilisation pour l'analyse. De nombreuses études confirment que la capacité de neutralisation du radical DPPH est un indicateur fiable du potentiel antioxydant des extraits. Les variations observées dans l'activité antioxydante des extraits de plantes peuvent être expliquées par la diversité de leur composition en substances bioactives.

L'extrait de poudre du *curcuma* a montré une capacité d'inhibition moyenne du radical libre DPPH à une concentration de $7,71 \pm 0,38$ mg ET/g MS (Tableau XIII). Cette dernière est similaire aux résultats obtenus par Ali et al. (2021) qui a noté une valeur de $7,46 \pm 0,09$ mg ET/g. Par contre, Fahmy et al. (2023) et Fernández-Marín et al. (2021) ont obtenu des valeurs plus élevées de $23,53$ mg ET/g et $49,00 \pm 0,33$ mg ET/g, respectivement.

Tableau XIII : Activité antioxydante du *Curcuma longa* L.

Activité antioxydante	Résultat
DPPH (mg ET/g MS)	$7,71 \pm 0,38$
AAT (mg EAA/g MS)	$92,41 \pm 0,77$

Ces variations dans l'activité antiradicalaire peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. D'abord, les différences entre les variétés du *curcuma* utilisées, les méthodes d'extraction des composés bioactifs et la méthode spécifique de mesure de l'activité antiradicalaire jouent un rôle clé. De plus, des éléments tels que l'année de récolte et les variations génétiques entre les plantes peuvent également influencer de manière significative ces différences. En outre, des études soulignent l'importance du stade de maturité des fruits pour déterminer leur efficacité antioxydante: une concentration plus élevée d'antioxydants correspond à une meilleure capacité à réduire les radicaux DPPH (Fonseca et al., 2015; Hayder et al., 2004).

IV.4.1. Activité antioxydante totale

L'activité antioxydante totale est influencée par la concentration d'antioxydants tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes et les vitamines (Velioglu et al., 1998). L'activité antioxydante totale de l'extrait de poudre du *curcuma* est mesurée à $92,41 \pm 0,77$ mg EAA/g MS (Tableau XIII). Cette dernière est supérieure au résultat obtenu par Moulick et al., (2023) avec un taux de $105,85 \pm 1,09$ mg AAE/g.

L'activité antioxydante totale de l'extrait du *curcuma* peut être expliquée par la présence de composés phytochimiques qui jouent un rôle crucial dans cette capacité. De plus, le *curcuma* est bien connu comme l'une des sources naturelles d'antioxydants telle que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, contribuant ainsi à une activité antioxydante globalement élevée (Ikpeama et al., 2014).

IV.5. Qualité des margarines élaborées

Les margarines formulés (MT, M₁, M₂ et M₃) ont subi alors une série d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles.

IV.5.1. Qualité physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques des margarines élaborées au sein de l'unité Cevital, sont récapitulés dans le Tableau XIV.

IV.5.1.1. pH

Le suivi du pH de la phase aqueuse est essentiel dans la production de margarine, car il constitue un indicateur de qualité crucial. Ce paramètre est vérifié à plusieurs étapes de la préparation (Faur, 1992; Karleskind, 1992).

Tableau XIV : Résultats des analyses physico-chimiques des margarines élaborées.

MT: Margarine Témoin; M₁: Margarine additionnée de 50 ppm du curcuma; M₂: Margarine additionnée de 100 ppm du curcuma; M₃: Margarine additionnée de 150 ppm du curcuma. Des

Paramètre/Margarine	MT	M ₁	M ₂	M ₃	Norme
pH	4,72 ± 0,02 ^c	4,86 ± 0,06 ^b	4,82 ± 0,06 ^b	4,94 ± 0,05 ^a	3,5 -5,5
Humidité (%)	17,77 ± 0,18 ^a	17,94 ± 0,00 ^a	17,93 ± 0,04 ^a	18,00 ± 0,24 ^a	Max 18
Acidité (%)	0,063 ± 0,002 ^a	0,060 ± 0,002 ^a	0,061 ± 0,004 ^a	0,064 ± 0,001 ^a	0.064
Taux de sel (%)	0,38 ± 0,01 ^a	0,39 ± 0,01 ^a	0,38 ± 0,02 ^a	0,39 ± 0,02 ^a	0,2 -0,4
Point de fusion (°C)	35,37 ± 0,06 ^b	36,90 ± 0,00 ^a	36,83 ± 0,12 ^a	36,83 ± 0,06 ^a	35 à 37
Indice de peroxyde (mg eq d'O ₂ /Kg)	0,20 ± 0,00 ^c	0,73 ± 0,12 ^a	0,47 ± 0,12 ^b	0,40 ± 0,00 ^b	Max 10

lettres différentes sur la même ligne indique des différences significatives à $p < 0,05$.

Les résultats obtenus indiquent que le pH le plus élevé est noté dans la margarine M₃ avec une valeur de $4,94 \pm 0,05$, suivi par la margarine M₂ ($4,82 \pm 0,06$) et la margarine M₁ ($4,86 \pm 0,06$). Cependant, la valeur du pH la plus faible est enregistrée dans la MT avec une valeur de $4,72 \pm 0,02$. La différence de pH entre les margarines incorporées du *curcuma* et la margarine témoin peut être attribuée à l'ajout de poudre du *curcuma*.

Le pH des margarines formulées sont conformes aux valeurs préconisées par la norme NE1.2.430/89. En outre, nos résultats sont proches à ceux obtenus par Himed & Barkat, (2014) dans leur étude sur l'élaboration d'une nouvelle margarine additionnée des huiles essentielles du citron, avec un pH compris entre 4,7 et 5,00. De plus, Brahmi et al. (2023) ont noté des pH pour les margarines enrichies en huile de graines d'abricot, de melon et de pastèque qui varient entre 4,7 et 4,8.

IV.5.1.2. Humidité

Selon Karleskind (1992), pour minimiser l'hydrolyse enzymatique et l'oxydation de la margarine, il est recommandé de maintenir un taux d'humidité maximal de 18 % pour la margarine. Les margarines élaborées présentent des taux d'humidité très similaires, variant de $17,77 \pm 0,18$ % (MT) à $18,00 \pm 0,24$ % (M₃) (Tableau XIV). Aucune différence significative n'a été observée entre les margarines élaborées à $p < 0,05$.

En outre, ces valeurs respectent les critères établis pour leur fabrication, conformes à la norme ISO 662, deuxième édition du 15 septembre 1998, qui fixe un taux d'humidité maximal de 18 %. De plus, ces résultats sont en accords aux résultats obtenus par Biassala et al. (2024) et Chougui et al. (2015) qui ont rapporté des taux d'humidité variant de 16,43 % à 18 % et de $17,11 \pm 0,41$ % à $20,95 \pm 0,49$ %, respectivement.

IV.5.1.3. Acidité

L'acidité est utilisée pour évaluer la qualité de la margarine notamment en ce qui concerne sa dégradation avec le temps durant le stockage. Selon Karleskind, (1992), un corps gras est considéré comme préservé de l'altération par hydrolyse si son indice d'acidité est inférieur à 0,2 %. Normalement, ce test n'est pas effectué pour la margarine « Fleurial » commercialisée, sauf avant le pompage de la matière première (l'huile) dans les cuves. Cependant, une analyse supplémentaire a été réalisée sur quatre échantillons de margarine élaborés au laboratoire d'analyse physico-chimique « SPA Cevital ».

Les résultats enregistrés dans le Tableau XIV montrent qu'aucune différence significative n'a été observée entre les margarines analysées ($p < 0,05$). Les taux d'acidité des margarines élaborées varient entre $0,060 \pm 0,002$ % (M_1) et $0,064 \pm 0,001$ % (M_3), ce qui est très proche de la limite industrielle établie à 0,064 % selon la norme ISO 660:2009 et inférieure à la valeur noté par Karleskind, (1992) qui est de 0,2 %.

IV.5.1.4. Taux de sel

Selon Karleskind, (1992) , la quantité de sel dans la margarine varie en fonction de son usage et de sa texture. Le sel est incorporé à la margarine pour améliorer le goût, intensifier la saveur, renforcer la sapidité et la stabilité de l'émulsion, ainsi que pour prolonger sa durée de conservation en inhibant la croissance bactérienne.

Le Tableau XIV montre que les taux de sel mesurés dans les margarines formulées sont similaires, variant entre $0,38 \pm 0,01$ % (MT) et $0,39 \pm 0,02$ % (M_3). Aucune différence significative n'a été observé entre ces quatre margarines à $p < 0,05$. Le taux de sel des margarines analysées rentre dans l'intervalle des normes exigées (0,2-0,4%) (NE.1.2.429/89). En outre, ces valeurs se rapprochent des valeurs obtenues par Brahmi et al., (2023), qui ont mesuré des taux sel des margarines additionnés d'huiles essentielles avec des taux variant entre $0,33 \pm 0,01$ % et $0,37 \pm 0,04$ %.

IV.5.1.5. Point de fusion (°C)

Le point de fusion est basé sur le passage de la matière grasse de l'état solide à l'état liquide sous l'effet de la chaleur (Wolff, 1968).

Les résultats du point de fusion des margarines élaborées ont révélé que le point de fusion le plus faible est noté dans la MT avec une valeur de $35,37 \pm 0,06$ °C, tandis que les margarines incorporées du *curcuma* (M_1 , M_2 et M_3) présentent respectivement les points de fusion les plus élevés avec des températures de $36,90 \pm 0,00$ °C, $36,83 \pm 0,12$ °C et $36,83 \pm 0,06$ °C qui est probablement due à l'addition de la poudre du *curcuma* (Tableau XIV). De plus, ces valeurs sont conformes à la norme exigée (NE,1988), qui se situe entre 35 et 37°C.

En outre, ces valeurs enregistrées pour les margarines formulées se rapprochent également des résultats notés par Karabulut & Turan, (2006) pour 15 margarines élaborées en Turquie avec des points de fusion variant entre 33,0 et 36,9°C. Cela confère aux margarines élaborées un aspect fondant en bouche ainsi qu'une texture plastique à température ambiante qui leur permettent d'être faciles à étaler ou à tartiner tout en conservant une certaine résistance au travail mécanique lors de la tartinabilité.

IV.5.1.6. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde (IP) est un critère très utile avec une sensibilité adéquate pour évaluer les premières étapes de la détérioration par oxydation (Karleskind, 1992). L'oxydation est un processus progressif mais inévitable. En effet, les corps gras peuvent subir une oxydation en présence d'oxygène et sous l'influence de certains facteurs comme la température élevée, l'eau, les enzymes, et des traces de métaux tels que le cuivre et le fer (Tanouti et al., 2011).

Le Tableau XIV montre que la MT présente l'IP le plus faible (0,20 mg eq d'O₂/kg). En revanche, les margarines M₁, M₂ et M₃ montrent des IP plus élevés, avec des valeurs respectives de 0,73 mg eq d'O₂/kg, 0,47 mg eq d'O₂/kg et 0,40 mg eq d'O₂/kg, ce qui suggère une réduction de l'oxydation plus marquée à mesure que la concentration du *curcuma* dans la margarine augmente. De même, Nadeem et al. (2017), ont relevé un indice de peroxyde similaire à celui noté dans la MT avec un taux de $0,21 \pm 0,03$ mg eq d'O₂/kg pour une margarine enrichie d'huile de chia (15 %). Tous les résultats de l'IP enregistré pour les margarines formulées sont inférieurs à la norme de l'entreprise établie qui est de l'ordre de 10 mg eq d'O₂/kg (NE.1.2.98/88). Ces résultats sont également inférieurs à ceux enregistrés par Karleskind, (1992) avec une valeur de 5 mg eq d'O₂/kg, ceci indique que les margarines élaborées ne montrent pas des signes d'oxydation excessive.

IV.5.1.7. Taux de solide (SFC)

Le SFC (Solid Fat Content) est crucial car il influence diverses caractéristiques du produit, notamment son apparence générale (Noor Lida et al., 2002). Les résultats du SFC pour les margarines MT, M₁, M₂ et M₃ aux températures spécifiées (5°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C) sont présentés dans le Tableau XV, confirmant qu'ils respectent les normes exigées par l'ISO 8292-2.

Une diminution du SFC est notée lorsque la température augmente de 5°C à 40°C. Nos résultats sont proches à ceux obtenus par Ayouaz et al. (2022) pour la margarine

incorporée d'huile de sésame (*Sesamum indicum* L.), qui a présenté des valeurs de $15,3 \pm 0,25$ % à 20°C, de $7,3 \pm 0,06$ % à 30°C, et de $1,8 \pm 0,098$ % à 40°C.

Ces résultats confirment que les margarines élaborées sont facilement tartinables, plastiques et fondent facilement dans la bouche à 37°C, ce qui correspond aux caractéristiques typiques attendues pour les margarines à tartiner.

Tableau XV : Taux de solides par RMN des margarines élaborées (SFC).

Margarine/ Température	MT	M1	M2	M3	Normes
5°C	42,3	42,6	42,6	43,6	/
10°C	35,5	35,2	35,2	36,6	35% à 38%
20°C	18,3	18,5	18,5	19,7	17% à 24%
30°C	7,7	7,8	7,8	8,2	5% à 9%
35°C	4,4	4,7	4,7	4,8	/
40°C	2,8	2,7	2,7	2,6	<3%

MT: Margarine Témoin; *M₁*: Margarine additionnée de 50 ppm du curcuma; *M₂*: Margarine additionnée de 100 ppm du curcuma; *M₃*: Margarine additionnée de 150 ppm du curcuma.

IV.5.1.8. Résistance à l'oxydation accélérée (test Rancimat)

Selon Hidalgo et al. (2006), l'oxydation des lipides est largement reconnue comme un problème de la protection des produits dans l'industrie agroalimentaire aujourd'hui. Ce processus réduit la durée de conservation des produits, affecte leur goût, leur fonctionnalité et leur qualité nutritionnelle. Pour évaluer la résistance ou la sensibilité de la margarine à l'oxydation, les échantillons ont été soumis à un test d'oxydation accéléré selon des conditions standardisées.

La stabilité oxydative est un paramètre crucial pour évaluer la qualité des corps gras, car elle fournit une estimation précise de leur dégradation, principale responsable de leur altération (Aparicio & Luna, 2002).

Les temps d'induction mesurés par le test au Rancimat pour les margarines formulées sont présentés dans le Tableau XVI (Figure 1-Annexes IV). En général, une période d'induction plus longue indique une meilleure capacité de conservation, tandis qu'une valeur plus basse indique une plus grande sensibilité à l'oxydation.

Le test de Rancimat a été réalisé sur les différentes margarines incorporées de poudre de *Curcuma longa* L. (*M₁*, *M₂* et *M₃*) ainsi que sur la MT contenant l'antioxydant synthétique TBHQ. Les résultats indiquent que la margarine *M₂*, enrichie à 100 ppm du *curcuma*, montre une résistance accrue à l'oxydation avec un temps d'induction de 26,82 heures comparativement aux margarines *M₁* et *M₃* qui ont montré une résistance de 21 heures. De

plus, la margarine MT₁ avec TBHQ se distingue par une forte résistance à l'oxydation, atteignant un temps d'induction de 37,42 heures, grâce à l'efficacité de cet antioxydant synthétique.

Tableau XVI : Résultats du test de Rancimat des margarines élaborées.

Margarine	Test de Rancimat (Heure)
MT ₁	37,42
MT ₂	21,38
M ₁	21,54
M ₂	26,82
M ₃	21,20

MT₁: Margarine Témoin 1 avec le TBHQ; MT₂: Margarine Témoin 1 avec la Vitamine E ; M₁: Margarine additionnée de 50 ppm du curcuma; M₂: Margarine additionnée de 100 ppm du curcuma; M₃: Margarine additionnée de 150 ppm du curcuma.

Des tests similaires ont été effectués précédemment au niveau du laboratoire recherche et développement, le 5 juin 2014 sur une margarine contenant de la vitamine E (MT₂) ont montré un temps d'induction de 21,38 heures. En revanche, les margarines M₁ et M₂ ont démontré une meilleure résistance à l'oxydation comparativement à la MT₂ contenant de la vitamine E, ce qui prolonge considérablement leur durée de résistance à l'oxydation. Cette amélioration peut être attribuée à la présence de curcumine, un principe actif du *Curcuma longa* L., connue pour ses propriétés antioxydantes exceptionnelles, dix fois supérieures à celles de la vitamine E. De plus, la présence de substances bioactives telles que : les caroténoïdes, les polyphénols et les flavonoïdes dans la poudre de *curcuma* contribuent également à maintenir la stabilité oxydative des huiles, renforçant ainsi l'efficacité antioxydante de ces margarines. Ces résultats suggèrent que les antioxydants présents dans la poudre de *Curcuma longa* L. sont plus efficaces pour retarder l'oxydation que la vitamine E.

IV.5.2. Qualité microbiologique

Le contrôle microbiologique est essentiel pour évaluer la qualité microbiologique d'un produit alimentaire et garantir la sécurité des consommateurs. Le Tableau XVII montre que les résultats des analyses microbiologiques des échantillons de margarines préparées (MT, M₁, M₂ et M₃) ont révélé l'absence de germes de contamination et de germes pathogènes dans les différents échantillons analysés, ce qui indique la conformité des produits aux normes établies par le JORA (2017). Ces résultats permettent de conclure que

les margarines élaborées sont de bonnes qualités microbiologiques assurant ainsi la sécurité du consommateur ; ceci est due particulièrement aux respects des conditions d'hygiène durant la préparation, l'incubation et le stockage des margarines élaborées.

Tableau XVII : Résultats des analyses microbiologiques des margarines élaborées.

Germes	MT	M ₁	M ₂	M ₃	Normes (JORA, 2017)
Germes aerobies	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ³
<i>Escherichia coli</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	40
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ²
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs dans 25 g
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ²

IV.5.3. Qualité sensorielle

La valeur commerciale des margarines dépend largement de leur qualité organoleptique. Un panel de dégustation composé de 15 experts (hommes et femmes âgés de 26 à 55 ans), incluant des enseignants et des étudiants de l'Université de Bejaia, a été choisi en fonction de leur motivation, de leur intérêt et de leur disponibilité à participer au test de dégustation.

IV.5.3.1. Préférence globale

La Figure 11 montre que la margarine M₃ est la margarine la plus préférée avec un taux de 73,33 % avec la mention « Agréable », suivi de la MT (46,67 %) avec la mention « Assez agréable » et les margarines M₁ et M₂ avec un même taux de 13,33% avec une appréciation ni agréable, ni désagréable.

IV.5.3.2. Caractéristiques du produit

D'après la Figure 12, nous constatons que les margarines élaborées présentent des propriétés organoleptiques proches (odeur, goût salé, arôme et tartinabilité), cependant quelques différences ont été détecté au niveau de la texture en bouche, la consistance et la couleur). La MT et M₁ sont de couleur faiblement intense et moyennement intense, respectivement, d'une odeur moyennement appréciée avec un goût salé moyen et un arôme moyennement apprécié. Elles sont très facilement tartinables, de texture fortement fondante et d'une consistance molle.

Les margarines M₂ et M₃ sont de couleur faiblement intense, d'odeur moyennement appréciée avec un goût moyennement salé et d'un 'arôme moyennement apprécié. Elles sont faciles à tartiner, de texture en bouche moyennement fondante et d'une consistance molle (M₂) et moyennement molle (M₃).

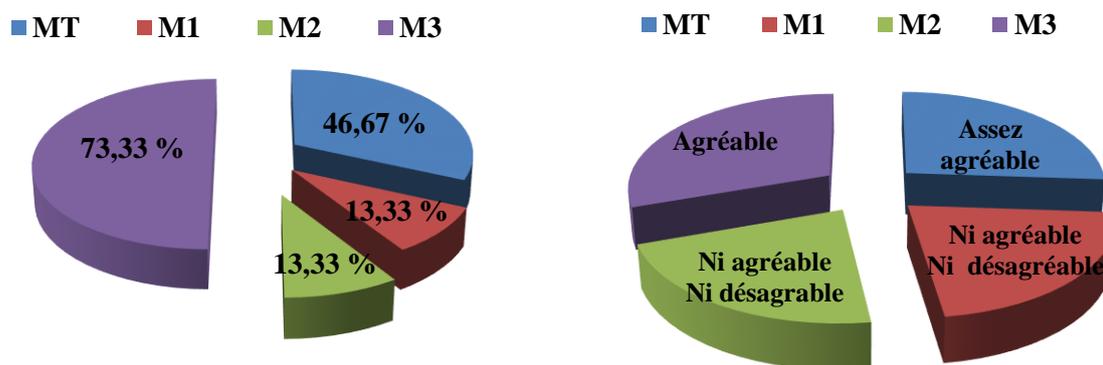


Figure 11 : Pourcentage de préférence globale des margarines élaborés.

MT: Margarine Témoin; M₁: Margarine additionnée de 50 ppm du curcuma; M₂: Margarine additionnée de 100 ppm du curcuma; M₃: Margarine additionnée de 150 ppm du curcuma.

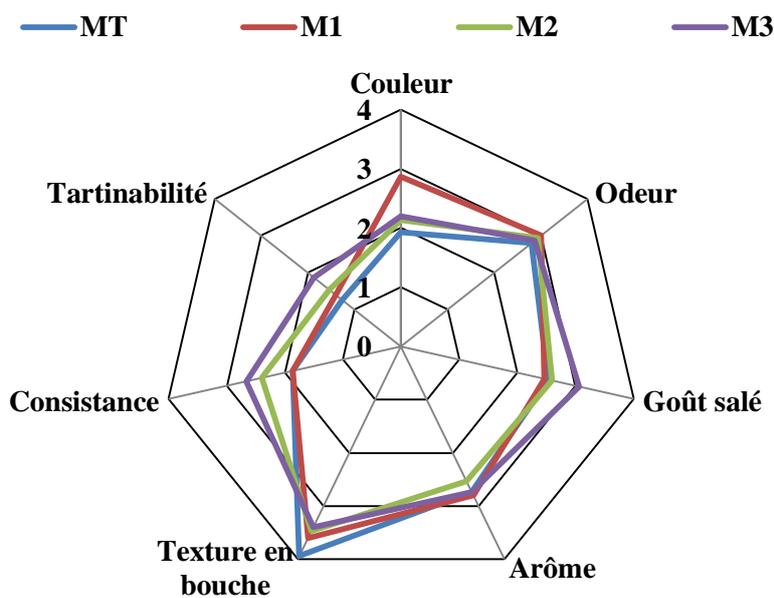


Figure 12 : Caractérisation des margarines élaborés.

MT: Margarine Témoin; M₁: Margarine additionnée de 50 ppm du curcuma; M₂: Margarine additionnée de 100 ppm du curcuma; M₃: Margarine additionnée de 150 ppm du curcuma.

IV.5.3.3. Paramètres motivant la préférence

La Figure 13 montre que les paramètres ayant motivé la préférence des dégustateurs des margarines élaborées sont la consistance et la texture avec le taux le plus élevé de 73,33 %, le goût (66,67%), la couleur (53,33%), suivie de l'odeur avec le pourcentage le plus faible de 46,67%.

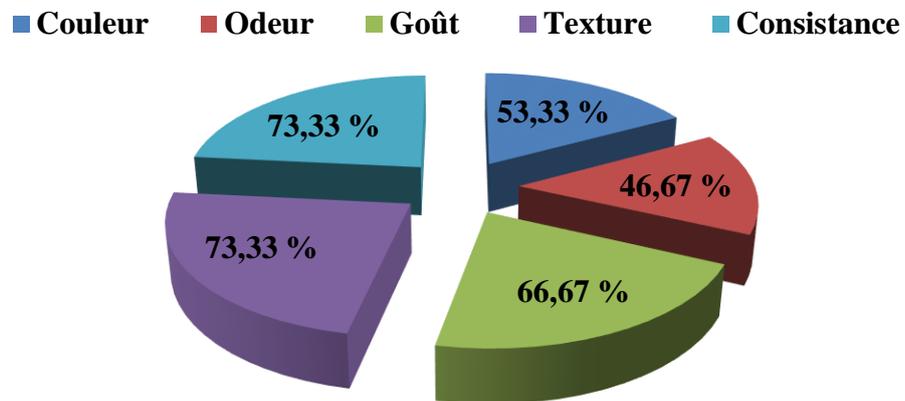


Figure 13 : Pourcentage des paramètres motivant la préférence.

Conclusion

Ce travail est basé sur l'effet de l'incorporation de poudre de *curcuma* comme un antioxydant naturel dans la margarine sur sa qualité (physico-chimique, microbiologique et sensorielle). En premier lieu, une évaluation des teneurs en antioxydants (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavanols et caroténoïdes), des propriétés antioxydantes et fonctionnelles de la poudre de curcuma a été réalisée. En second lieu, la formulation des margarines incorporées de poudre de *curcuma* à différentes concentrations (50 ppm, 100 ppm et 150 ppm) à l'échelle laboratoire au sein du complexe agroalimentaire Cevital-Bejaia, au sein du service Recherche et Développement.

Les résultats de cette étude indiquent que la poudre de curcuma présente une excellente capacité d'absorption d'eau et d'huile, avec des taux respectifs de 344,67 %, 140,67 % ; ces caractéristiques indiquent que le *curcuma* est un ingrédient qui peut être incorporés dans les produits riches en eau et/ou en matière grasse telles que les margarines afin d'améliorer leurs performances et leurs textures. De plus, ses activités émulsifiantes et sa stabilité des émulsions suscitent un intérêt pour son incorporation dans des matrices alimentaires telles que les margarines.

En outre, le *curcuma* est également une source de substances bioactives telles que les polyphénols totaux (3384,67 mg EQA/100 g MS), les flavonoïdes (2012,32 mg EQA/g MS), les flavonols (1979,66 mg EQA/100 g MS) et les caroténoïdes ($82,83 \pm 3,33 \mu\text{g E}\beta\text{C}/100 \text{ g MS}$). Elle présente également une bonne activité antiradicalaire de $7,71 \pm 0,38 \text{ mg ET/g}$ et une bonne activité antioxydante totale de $92,41 \pm 0,77 \text{ mg EAA/g}$. Ces résultats suggèrent que la poudre de curcuma pourrait être une source significative de composés bioactifs aux propriétés antioxydantes, ouvrant ainsi la voie à diverses applications alimentaires et thérapeutiques.

Les résultats des analyses physico-chimiques (humidité, pH, acidité, taux de sel, le point de fusion et indice de peroxyde) des margarines élaborées montrent clairement leurs conformités aux normes. De plus, les taux de solides enregistrés dans les margarines formulées respectent également les normes établies. De même la qualité physico-chimique, la qualité microbiologique des margarines analysées sont conformes aux normes du JORA (2017), assurant ainsi une haute qualité hygiénique des produits élaborées.

Les résultats de l'évolution de la stabilité oxydative des margarines élaborées déterminés par le test de Rancimat montrent que la résistance à l'oxydation des margarines élaborées varient selon la concentration et le type d'antioxydant utilisé. En particulier, la margarine MT₁ avec TBHQ montre la plus grande résistance, suivie par la margarine M₂ (100 ppm), qui est la plus résistante parmi les trois margarines enrichies. En revanche, la

margarine M₂ avec vitamine E montre une résistance moindre que la MT₂. Ces résultats suggèrent que la poudre de *curcuma* agit comme un agent antioxydant efficace pour assurer la stabilité oxydative et la conservation de la margarine. Les antioxydants présents dans la poudre de *Curcuma longa* L sont plus efficaces pour retarder l'oxydation que la vitamine E.

L'analyse sensorielle des margarines élaborées (MT, M₁, M₂ et M₃) a révélé que la margarine M₃ était la plus appréciée par les dégustateurs, avec un taux de préférence de 73,33 % suivie de la margarine témoin (MT) avec un taux de 46,67 % et enfin les margarines M₁ et M₂ avec un pourcentage de 13,33 %. La margarine M₃ est caractérisé par une couleur faiblement intense, une odeur moyennement appréciée, un goût moyennement salé, un arôme modérément apprécié et une texture facile à tartiner, moyennement fondante en bouche.

En conclusion, l'incorporation de la poudre du *curcuma* dans la margarine représente une stratégie prometteuse pour améliorer leurs propriétés nutritionnelles, antioxydantes ainsi que leur stabilité oxydative et leur acceptabilité sensorielle apportant une valeur ajoutée au produit fini.

Afin d'approfondir cette étude et obtenir des résultats plus pertinents, il serait bénéfique de continuer les recherches dans les domaines suivants :

- Incorporation de la poudre de curcuma dans d'autres produits alimentaires comme les sauces, les pâtes à tartiner ou les snacks pourrait offrir des alternatives plus saines et fonctionnelles.
- Explorer de nouvelles formulations de margarines et de produits similaires en étudiant différentes concentrations et combinaisons d'antioxydants naturelles pour améliorer la stabilité et la qualité nutritionnelle, y compris la valeur énergétique.
- Approfondir la recherche sur le pouvoir antioxydant et les effets thérapeutiques des substances bioactives présentes dans le curcuma.
- Etudier en détail les mécanismes moléculaires par lesquels les composés actifs du curcuma agissent, afin d'optimiser leur utilisation dans divers produits alimentaires et applications.

*Références
bibliographiques*

- Aboiron, J., & Ameury, E. (2004). Les additifs alimentaires : Les lécithines. *Université Paris Val de Marne*. 31p.
- Acem, K. (2016). *Technologie des corps gras alimentaires*. Éditions universitaires européennes.
- Al Askari, G., Kahouadji, A., Khedid, K., Charof, R., & Mennane, Z. (2012). Caractérisations physico-chimique et microbiologique de la figue sèche prélevée des marchés de Rabat-Salé, Temara et Casablanca. *Les technologies de laboratoire*, 7(26).
- Ali, A., Wu, H., Ponnampalam, E. N., Cottrell, J. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2021). Comprehensive profiling of most widely used spices for their phenolic compounds through LC-ESI-QTOF-MS2 and their antioxidant potential. *Antioxidants*, 10(5), 721.
- Aparicio, R., & Luna, G. (2002). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9- 10), 614- 627.
- Araujo, C. A. C., & Leon, L. L. (2001). Biological activities of Curcuma longa L. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 96, 723- 728.
- Athamena, S. (2009). *Etude quantitative des flavonoïdes des graines de Cuminum cyminum et les feuilles de Rosmarinus officinalis et l'évaluation de l'activité biologique* [PhD Thesis, Université de Batna 2].
- Ayouaz, S., Bensadia, D., Hamitri-Guerfi, F., Muhammad, D. R. A., Mouhoubi, K., Arab, R., Rahmani, Y., Guemouni, S., Hadjal, S., & Madani, K. (2022). Impact of incorporating sesame oil (*Sesamum indicum* L.) in an Algerian frying oil and margarine formulation. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*, 6(14), 165- 177.
- Béatrice, D. R. (2009). *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires (4e ed.)*, Lavoisier. pp 1-736
- Benmeziane-Derradji, F., & Aoun, S. (2022). Characterization of Algerian turmeric and ginger based on their physicochemical, functional and biological properties. *Journal of Spices & Aromatic Crops*, 31(2).
- Biassala, E. T., Taty, M. P. E., Binaki, A. F., Wilfrid, B., Loumouamou, C. F. B., Elénga, A. J. J., & Nzikou, J. M. (s. d.). *The 1st International Conference on Local Resource*

Exploitation. Consulté 21 juin 2024, à l'adresse https://loexp.org/wp-content/uploads/2021/11/17_LOREXP_2021_A1148_BIASSALA.pdf

Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxydant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food chemistry*, 114(4), 1198- 1205.

Brahmi, F., Chennit, B., Batrouni, H., Benallaoua, K., Madani, K., & Boulekbache-Makhlouf, L. (2023). Valorization of apricot, melon, and watermelon by-products by extracting vegetable oils from their seeds and formulating margarine. *OCL*, 30, 11.

Chattopadhyay, I., Biswas, K., Bandyopadhyay, U., & Banerjee, R. K. (2004). Turmeric and curcumin : Biological actions and medicinal applications. *Current science*, 44- 53.

Cheikh Ali, Z. (2012). *Études chimiques et biologiques d'Aframomum sceptrum (Zingiberaceae) et de la curcumine* [PhD Thesis, Paris 11]. <https://www.theses.fr/2012PA114814>

Chougui, N., Djerroud, N., Naraoui, F., Hadjal, S., Aliane, K., Zeroual, B., & Larbat, R. (2015). Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. *Food chemistry*, 173, 382- 390.

Christine, E. A., André, D. G., Benjamin, K. K., Maxwell, B. G. A., & Séraphin, K.-C. (2021). Biochemical Composition of Two Zinziberaceae: Ginger (*Zingiber officinale roscoe*) and Turmeric (*Curcuma longa*). *Asian Food Sci. J*, 20, 18- 26.

Codex Alimentarius, P. mixte F.O. sur les normes alimentaires C. du codex. (1993). *Codex alimentarius : Graisses, huiles et produits dérivés*. Food & Agriculture Org.

Cossut, J., Defrenne, B., Desmedt, C., Ferroul, S., Garnet, S., Roelstraete, L., Vanuxeem, M., & Vidal, D. (2002). Les corps gras : Entre tradition et modernité. *Projet du Dess Qualimap, Université des Sciences et Technologies de Lille, France*.

De Cos, P. S., & Pérez-Urria, E. (2014). *Cúrcuma I (Curcuma longa L.)*. *Reduca (Biología)*, 7(2). 1738

Desalme, A., Quilliot, D., & Ziegler, O. (2004). Les catégories d'aliments. *Cah. Nutr. Diét*, 39(3), 217.

- Devi, H. P., Mazumder, P. B., & Devi, L. P. (2015). Antioxidant and antimutagenic activity of *Curcuma caesia* Roxb. Rhizome extracts. *Toxicology Reports*, 2, 423- 428.
- Dib, M. E. A., Allali, H., Bendiabdellah, A., Meliani, N., & Tabti, B. (2013). Antimicrobial activity and phytochemical screening of *Arbutus unedo* L. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(4), 381- 385.
- Diomande, M., Koko, A. C., Kouame, K. B., Beugre, G., & Bohoua, L. G. (2017). Evaluation des propriétés fonctionnelles et activité antioxydante d'amandes de mangue produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 6(11), 6- 29.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654- 660.
- Doukani, K., & Tabak, S. (2015). Profil Physicochimique du fruit "Lendj" (*Arbutus unedo* L.). *Nature & Technology/Nature & Technologie*, 12. 7254
- Eymard, S. (2003). *Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (Trachurus trachurus): Choix des procédés* [PhD Thesis, Université de Nantes].
- Fadili, K., Amalich, S., N'dedianhoua, S. K., Bouachrine, M., Mahjoubi, M., El Hilali, F., & Zair, T. (2015). Teneurs en polyphénols et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de deux espèces du Haut Atlas du Maroc : *Rosmarinus Officinalis* et *Thymus Satureioides*. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 17(1), 24- 33.
- Fahmy, N. M., Fayez, S., Uba, A. I., Shariati, M. A., Aljohani, A. S., El-Ashmawy, I. M., Batiha, G. E.-S., Eldahshan, O. A., Singab, A. N., & Zengin, G. (2023). Comparative GC-MS analysis of fresh and dried *Curcuma* essential oils with insights into their antioxidant and enzyme inhibitory activities. *Plants*, 12(9), 1785.
- Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). 1McGill IR Group, Department of Food Science and Agricultural Chemistry, Macdonald Campus, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, QC, Canada. *Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications*, 283.

- Faur, L. (1992). Transformation des corps gras à des fins alimentaires. *Manuel des corps gras*, 883- 937.
- Fernández-Marín, R., Fernandes, S. C., Andrés, M. A., & Labidi, J. (2021). Microwave-assisted extraction of curcuma longa l. Oil: Optimization, chemical structure and composition, antioxidant activity and comparison with conventional soxhlet extraction. *Molecules*, 26(6), 1516.
- Fonseca, D. F., Salvador, Â. C., Santos, S. A., Vilela, C., Freire, C. S., Silvestre, A. J., & Rocha, S. M. (2015). Bioactive phytochemicals from wild *Arbutus unedo* L. berries from different locations in Portugal: Quantification of lipophilic components. *International journal of molecular sciences*, 16(6), 14194- 14209.
- Genot, C., Meynier, A., & Riaublanc, A. (2003). Lipid oxidation in emulsions. *Lipid oxidation pathways*, 7, 190- 244.
- Genot, C. (2019). Oxydation des lipides? dans les matières grasses et les aliments : Mécanismes et évaluation. *Webinaire SFEL*, 47p.
- Gonçalves, G. M. S., Barros, P. P., da Silva, G. H., & Fedes, G. R. (2019). The essential oil of curcuma longa rhizomes as an antimicrobial and its composition by gas chromatography/mass spectrometry. *Revista de Ciências Médicas*, 28(1), 1- 10.
- Graille, J. (2003). *Lipides et corps gras alimentaires*. Tec & Doc.
- Halvorsen, B. L., Carlsen, M. H., Phillips, K. M., Bøhn, S. K., Holte, K., Jacobs Jr, D. R., & Blomhoff, R. (2006). Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *The American journal of clinical nutrition*, 84(1), 95- 135.
- Hayder, N., Abdelwahed, A., Kilani, S., Ammar, R. B., Mahmoud, A., Ghedira, K., & Chekir-Ghedira, L. (2004). Anti-genotoxic and free-radical scavenging activities of extracts from (Tunisian) *Myrtus communis*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 564(1), 89- 95.
- Hidalgo, F. J., León, M. M., & Zamora, R. (2006). Antioxidative Activity of Amino Phospholipids and Phospholipid/Amino Acid Mixtures in Edible Oils As Determined by the Rancimat Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5461- 5467.

- Himed, L., & Barkat, M. (2014). Élaboration d'une nouvelle margarine additionnée des huiles essentielles de Citrus limon. *OCL*, 21(1), A102.
- Hombourger, C. (2010). *Le Curcuma, de l'épice au médicament* [PhD Thesis, UHP-Université Henri Poincaré].
- Ikpeama, A., Onwuka, G. I., & Nwankwo, C. (2014). Nutritional composition of Tumeric (*Curcuma longa*) and its antimicrobial properties. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(10), 1085- 1089.
- Jourdan, J.P. (2015). *Curcuma et curcumine, de l'histoire aux intérêts thérapeutiques* [PhD Thesis. https://www.researchgate.net/profile/Jourdan-Jean-Pierre/publication/325686735_Curcuma_et_curcumine_de_l'histoire_aux_interets_therapeutiques/links/5bd1861492851cabf266348d/Curcuma-et-curcumine-de-lhistoire-aux-interets-therapeutiques.pdf]
- Karabulut, I., & Turan, S. (2006). Some properties of margarines and shortenings marketed in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), 55- 58.
- Karleskind, A. (1992). *Manuel des corps gras* (Tec et Doc, Vol. 2). Lavoisier Tec et Doc.
- Kavatsurwa, S. M., Bokota, M., & Misangu, V. M. (2008). Contribution à la caractérisation physico-chimique du rhizome de *Curcuma longa* L. (*Zingiberaceae*) «Manjano» : Extraction, dosage et chromatographie de ses flavonoïdes. *Annales des Sciences. Université Officielle de Bukavu. Vol, 1(1)*, 114.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Vandenberg, A. (2019). Seed protein of lentils : Current status, progress, and food applications. *Foods*, 8(9), 391.
- Krup, V., Prakash, L. H., & Harini, A. (2013). Pharmacological activities of turmeric (*Curcuma longa* Linn) : A review. *J Homeop Ayurv Med*, 2(133), 2167- 1206.
- Lagnika, L. (2005). Etude phytochimique et activité antipaludique de substances naturelles issues de plantes Béninoises. *Strasbourg, Université Louis Pasteur de Strasbourg/Université d'Abomey-calavi, Bénin*, 179- 185.

- Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation : Existing methods, new trends and challenges. *Progress in lipid research*, 46(5), 244- 282.
- Laventurier, M. (2013). Impact des formulations de margarines sur le process en boulangerie et pâtisserie artisanales et industrielles. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 20(3), 160- 164.
- Lecerf, J.-M. (2011). Les huiles végétales : Particularités et utilités: Vegetable oils: Particularities and usefulness. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(3), 257- 262.
- Lecerf, J.-M. (2012). Effets métaboliques du Curcumin (obésité, lipides circulants, insulino-résistance, diabète et athérosclérose). *Phytothérapie*, 10(2), 100- 104.
- Li, T., Wang, C., Li, T., Ma, L., Sun, D., Hou, J., & Jiang, Z. (2018). Surface hydrophobicity and functional properties of citric acid cross-linked whey protein isolate : The impact of pH and concentration of citric acid. *Molecules*, 23(9), 2383.
- Loap, S. (2008). Curcuma (partie I). *Phytothérapie*, 6(1), 22- 28.
- Luterotti, S., Bicanic, D., & Požgaj, R. (2006). New simple spectrophotometric assay of total carotenes in margarines. *Analytica chimica acta*, 573, 466- 473.
- Maleš, Ž., Plazibat, M., Bilušić Vundać, V., & Žuntar, I. (2006). Qualitative and quantitative analysis of flavonoids of the strawberry tree-*Arbutus unedo* L.(*Ericaceae*). *Acta pharmaceutica*, 56(2), 245- 250.
- Manandhar, N. P. (1996). Substitute Spices in Nepal. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 3(4), 71- 77.
- Mansouri, F. E., Farissi, H. E., Asraoui, F., Gueriri, S. A. E., Lovillo, M. P., & Brigui, J. (2021). Investigation of the pharmacological properties and antioxidant activity of *Curcuma longa* L. *AIP Conference Proceedings*, 2417(1).
- Marie, N. N. A., Edmond, D. A., Kone, F. M., & Patrice, K. L. (2015). Functional properties of seed flours from different cultivars of *Citrullus lanatus* (Cucurbitaceae) cultivated in Cote d'Ivoire. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 1(5), 32- 48.

- Mata, A. T., Proença, C., Ferreira, A. R., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F., & Araújo, M. E. M. (2007). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices. *Food Chemistry*, 103(3), 778- 786.
- Mcclements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Lipid Oxidation in Oil- in- Water Emulsions : Impact of Molecular Environment on Chemical Reactions in Heterogeneous Food Systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270- 1282.
- Min, D. B., & Lee, H. O. (1998). *Lipid Oxidation of Edible Oil, Food Lipid : Chemistry, Nutrition and Biochemistry, Akoh CC and and Min DB (Eds.)*, 283-296. Marcel Dekker, New York.
- Mittal, P., Gupta, V., Kaur, G., Garg, A. K., & Singh, A. (2010). Phytochemistry and pharmacological activities of Psidium guajava. *IJPSR*, 1(9), 9- 19.
- Mohd Nor, F., Mohamed, S., Idris, N. A., & Ismail, R. (2009). Antioxidative Properties of *Curcuma longa* Leaf Extract in Accelerated Oxidation and Deep Frying Studies. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(2), 141- 147.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, 26(2), 211- 219.
- Monnet, A.-F. (2018). *Optimisation de la transformation de matières premières issues de cultures associées légumineuse-blé tendre par une bonne connaissance de la physico-chimie des ingrédients et du procédé de fabrication* [PhD Thesis, Université Paris Saclay (COMUE)].
- Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012). Huiles et corps gras végétaux : Ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 63- 75.
- Moulick, S. P., Jahan, F., Islam, M. B., Al Bashera, M., Hasan, M. S., Islam, M. J., Ahmed, S., Karmakar, D., Ahmed, F., & Saha, T. (2023). Nutritional characteristics and antiradical activity of turmeric (*Curcuma longa* L.), beetroot (*Beta vulgaris* L.), and carrot (*Daucus carota* L.) grown in Bangladesh. *Heliyon*, 9(11).08703
- Nadeem, M., Imran, M., Taj, I., Ajmal, M., & Junaid, M. (2017). Omega-3 fatty acids, phenolic compounds and antioxidant characteristics of chia oil supplemented margarine. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 102.

- Naksuriya, O., & Okonogi, S. (2015). Comparison and combination effects on antioxidant power of curcumin with gallic acid, ascorbic acid, and xanthone. *Drug discoveries & therapeutics*, 9(2), 136- 141.
- Nickavar, B., Alinaghi, A., & Kamalinejad, M. (2008). Evaluation of the antioxidant properties of five *Mentha* species. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 203- 209.
- Nielsen, S. S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6>
- Noor Lida, H. M. D., Sundram, K., Siew, W. L., Aminah, A., & Mamot, S. (2002). TAG composition and solid fat content of palm oil, sunflower oil, and palm kernel olein blends before and after chemical interesterification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(11), 1137- 1144.
- Okpala, L., Okoli, E., & Udensi, E. (2013). Physico- chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food Science & Nutrition*, 1(1), 8- 14.
- Paulucci, V. P., Couto, R. O., Teixeira, C. C., & Freitas, L. A. P. (2013). Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1), 94- 100.
- Pavlović, D. R., Branković, S., Kovačević, N., Kitić, D., & Veljković, S. (2011). Comparative Study of Spasmolytic Properties, Antioxidant Activity and Phenolic Content of *Arbutus unedo* from Montenegro and Greece. *Phytotherapy Research*, 25(5), 749- 754.
- Pescosolido, N., Giannotti, R., Plateroti, A., Pascarella, A., & Nebbioso, M. (2013). Curcumin : Therapeutical Potential in Ophthalmology. *Planta Medica*, 80(04), 249- 254.
- Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., & Cano, M. P. (2011). Carotenoid and flavanone content during refrigerated storage of orange juice processed by high-pressure, pulsed electric fields and low pasteurization. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 834- 839.

- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex : Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337- 341.
- Puprasit, K., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W., & Assabumrungrat, S. (2022). Improved hydrogenation process for margarine production with no trans fatty acid formation by non-thermal plasma with needle-in-tube configuration. *Journal of Food Engineering*, 334, 111167.
- Rahmani, M. (2007). Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. *Les technologies de laboratoire*, 2(2).
- Reboredo-Rodríguez, P., Figueiredo-González, M., González-Barreiro, C., Simal-Gándara, J., Salvador, M. D., Cancho-Grande, B., & Fregapane, G. (2017). State of the art on functional virgin olive oils enriched with bioactive compounds and their properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(3), 668.
- Ruiz-Rodríguez, B.-M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.-C., Cámara, M., Díez-Marqués, C., Pardo-de-Santayana, M., Molina, M., & Tardío, J. (2011). Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Research International*, 44(5), 1244- 1253.
- Saillard, M. (2010). Margarines et matières grasses tartinables. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(5), 274- 280.
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37(1), 66- 74.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., & Toth-Markus, M. (2005). Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8- 9), 1023- 1029.
- Schlich, P., Deglaire, A., Cordelle, S., Urbano, C., Biguzzi, C., & Martin, C. (2010). Les préférences hédoniques pour le gras. Mesures et variabilité. *Innovations Agronomiques*, 10, 95- 114.
- Sharififar, F., Dehghn-Nudeh, G., & Mirtajaldini, M. (2009). Major flavonoids with antioxidant activity from *Teucrium polium* L. *Food Chemistry*, 112(4), 885- 888.

- Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Margarines : Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. *Food Research International*, *147*, 110486.
- Sultana, S., Munir, N., Mahmood, Z., Riaz, M., Akram, M., Rebezov, M., Kuderinova, N., Moldabayeva, Z., Shariati, M. A., & Rauf, A. (2021). Molecular targets for the management of cancer using *Curcuma longa* Linn. phytoconstituents : A Review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *135*, 111078.
- Tanouti, K., Serghini-Caid, H., Chaieb, E., Benali, A., Harkous, M., & Elamrani, A. (2011). Amélioration qualitative d'huiles d'olive produites dans le Maroc oriental. *Les technologies de laboratoire*, *6(22)*. 391
- Tefiani, C. (2015). Les propriétés biologiques des huiles essentielles de *Curcuma longa*, *Ammoides verticillata* et *Thymus ciliatus* sp. *Eu-ciliatus*. *Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université de Mostaganem*.
- Tobou, F. D., Tendonkeng, F., Miégoûé, E., Camara, S., Wauffo, D. F., Emalé, C., & Pamo, T. E. (2020). Effet de différents niveaux de *Curcuma longa* dans la ration sur les performances de reproduction et de croissance pré-sevrage des cochons d'Inde. *Livestock Research for Rural Development*, *32*, 6.
- Trinidad, T. P., Sagum, R. S., Leon, M. de, Mallillin, A. C., & Borlagdan, M. P. (2012). *Zingiber officinale* and *Curcuma longa* as potential functional foods/ingredients.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46(10)*, 4113- 4117.
- Vermerris, W. (2008). Composition and Biosynthesis of Lignocellulosic Biomass. In W. Vermerris (Éd.), *Genetic Improvement of Bioenergy Crops* (p. 89- 142). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_4
- Villière, A., & Genot, C. (2006). Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsions. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*. <https://hal.science/hal-01943477/>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2011). Antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum* L.)

bagasses obtained as co-product in the juice extraction. *Food Research International*, 44(5), 1217- 1223.

Wolff, J. P. (1968). *Manuel d'analyse des corps gras*. Tokyo University of Fisheries.

Yadav, R. P., & Tarun, G. (2017a). Versatility of turmeric : A review the golden spice of life. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(1), 41- 46.

Yadav, R. P., & Tarun, G. (2017b). Versatility of turmeric : A review the golden spice of life. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(1), 41- 46.

Yahiaoui, F. Z. (2023). Valorisation des plantes. *Applied Biology in Saharan Areas*, 5(1), 33- 58.

Yapi, J. C., Deffan, Z. A. B., Koko, A. C., Diabagate, J. R., Kouamekan, K. B., & Kouame, L. P. (2021). Influence de la granulométrie physicochimiques sur les caractéristiques et techno-fonctionnelles des farines de souchet (*Cyperus esculentus* L.). *Agronomie Africaine*, 33(2), 239-250.

Annexes

Annexe I : Présentation de l'entreprise d'accueil

1. Historique

« **Cevital** » est l'une des entreprises agroalimentaires qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998, Fondé par Mr. Isaad REBRAB, le Groupe Cevital est un groupe familial bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui en ont fait sa réussite et sa renommée. Créée avec des fonds privés, elle est la première société privée industrielle algérienne à avoir investi dans plusieurs secteurs d'activités, elle englobe 26 filiales aux activités diversifiées : agro-alimentaire, grande distribution, automobile, industrie, services et immobilier, elle présente plusieurs activités dont la principale est le raffinage des huiles. Elle utilise une technologie très avancée dans ce procédé. Son complexe de productions situe au niveau du port de Bejaia et s'étend sur une superficie de 45000 m².

2. Organigramme du complexe CEVITAL

Les différentes directions et services de « CEVITAL », sont schématisés dans l'organigramme

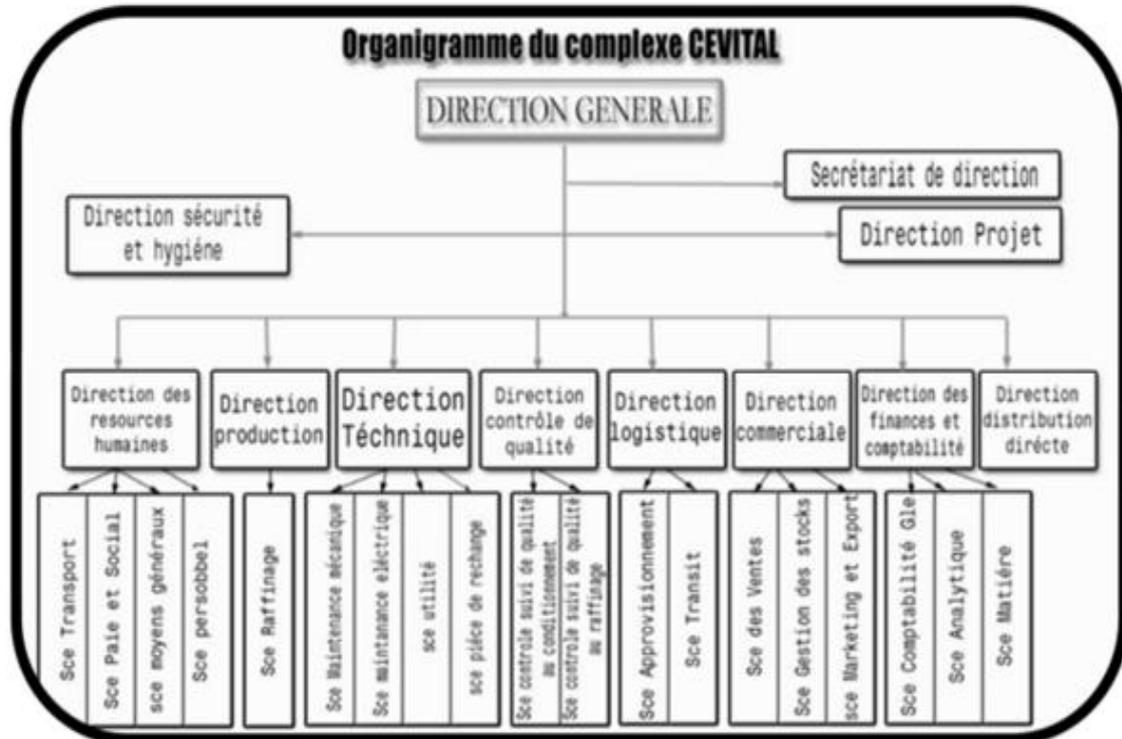


Figure 1 : Organigramme du complexe « Cevital ».

3. Unités de production

Cevital Agro-industrie est depuis ses débuts installé au sein du port de Bejaia (Algérie) et dispose de plusieurs unités de production :

- 02 raffineries de sucre
- 01 unité de sucre liquide
- 01 raffinerie d'huile
- 01 margarinerie
- 01 unité de conditionnement d'eau minérale
- 01 unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes

4. Objectif du groupe CEVITAL

L'objectif du groupe « **CEVITAL** » est d'enrichir le marché national en différents produits « huile, margarine et sucre » dont le but est de satisfaire la demande nationale, grâce à ces divers projets réalisés qui se présentent comme suit :

- La raffinerie d'huile est d'une capacité de production de 2100 tonnes/jour
- La raffinerie de sucre d'une capacité de production de 6500 tonnes/jour.
- La margarinerie et huiles végétales d'une capacité de 600 tonnes/jour.
- Conditionnement.
- Fabrication de l'emballage et des bouchons
- CEVITAL dispose aussi de silos de céréales, sucre blanc et sucre roux d'une capacité de 182000 tonnes.
- Savonnerie en cours d'étude.

5. Laboratoire recherche et développement :

Une direction de Recherche et Développement a été mise en place et complétée le 1 Mai 2010. Une équipe de (13) personnes spécialisées se chargent des différentes sections ; citons : développement produits, développement process, packaging ainsi que la gestion des projets. En collaboration avec la production, le service marketing, commercial, finance et autres services, le département R&D est chargée d'une mission stratégique pour l'entreprise industrielle soit le développement, l'amélioration des produits existants, les nouvelles innovations, l'examen des données de marché ainsi que l'organisation de la veille pour déceler les tendances actuelles et futures, l'amélioration des processus industriels, le renforcement des partenariats avec les clients et les fournisseurs....

Cevital Agro-industrie accorde une grande importance au contrôle qualité de tous ses produits, pour cela sont mis à sa disposition quatre laboratoires pour chacune des unités de production et d'un pilote dédié à l'innovation et à la recherche et développement. L'ensembles de ces laboratoires travaillent en étroite collaboration avec la direction de la production.

Annexe II : Courbes d'étalonnage

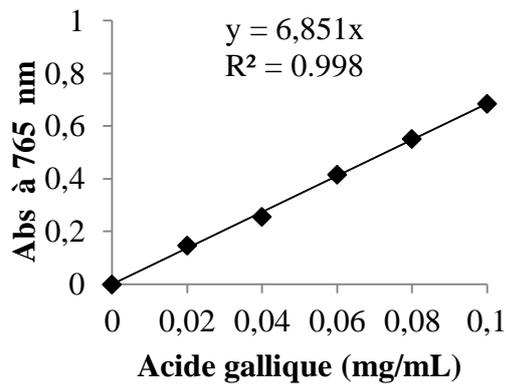


Figure 1: Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols.

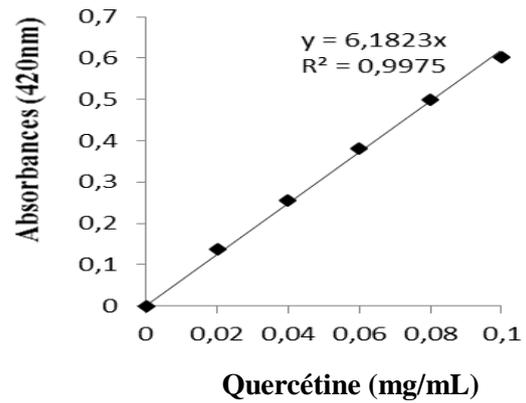


Figure 2: Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.

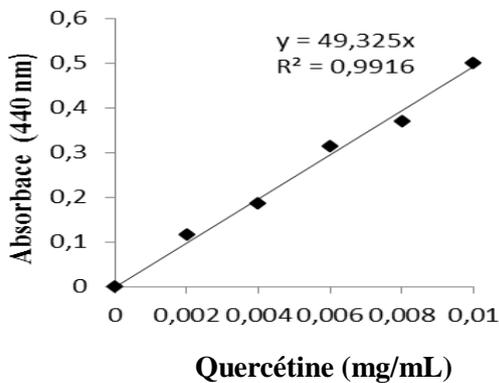


Figure 3: Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonols.

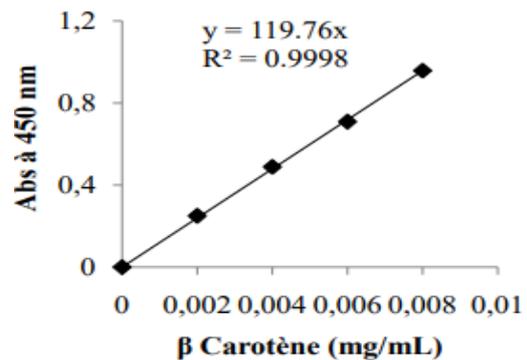


Figure 4 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes.

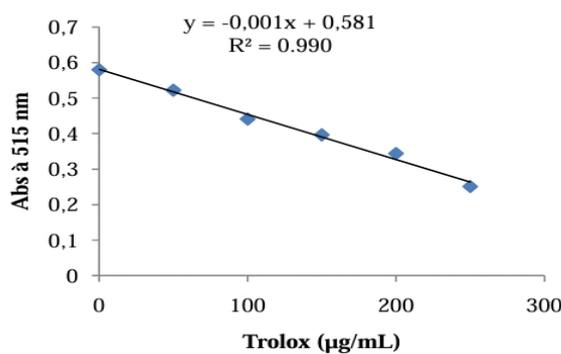


Figure 5 : Activité antiradicalaire DPPH en fonction de la concentration de du Trolox ($\mu\text{g/mL}$).

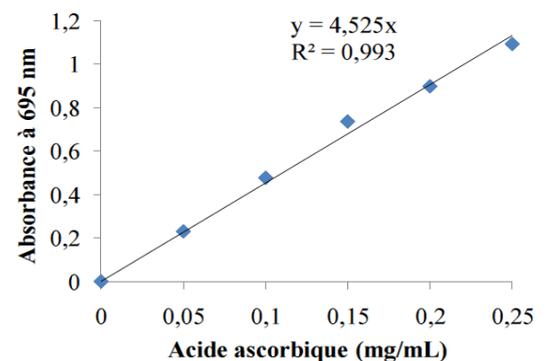


Figure 6 : Activité antioxydante totale en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (mg/mL).

Annexes III : Questionnaire d'analyse sensorielle d'une margarine enrichie

Date :

Age :

Profession :

Sexe : F M

Dans le cadre d'une analyse sensorielle d'une margarine enrichie plus un témoin, 4 échantillons vous sont présentés codés A, B, C, D, il vous est demandé de les examiner et de les goûter successivement, puis répondre aux questions qui suivent en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée pour chaque paramètre :

NB : A la fin de chaque dégustation prenez un peu de pain puis un peu de pomme et à la fin rincez votre bouche avec de l'eau.

I. Couleur

- (1) Très faiblement intense
- (2) Faiblement intense
- (3) Moyennement intense
- (4) Fortement intense
- (5) Très fortement intense

Echantillon	A	B	C	D
Note				

II. Odeur

- (1) Très faiblement appréciée
- (2) Faiblement appréciée
- (3) Moyennement appréciée
- (4) Fortement appréciée
- (5) Très fortement appréciée

Echantillon	A	B	C	D
Note				

III. Goût salé

- (1) Très faiblement salé
- (2) Faiblement salé
- (3) Moyennement salé
- (4) Fortement salé
- (5) Très fortement salé

Echantillon	A	B	C	D
Note				

IV. Arôme

- (1) Très faiblement apprécié
- (2) Faiblement apprécié
- (3) Moyennement apprécié
- (4) Fortement apprécié
- (5) Très fortement apprécié

Echantillon	A	B	C	D
Note				

V. Texture

a. Texture en bouche

- (1) Très faiblement fondante
- (2) Faiblement fondante
- (3) Moyennement fondante
- (4) Fortement fondante
- (5) Très fortement fondante

Echantillon	A	B	C	D
Note				

b. Consistance

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

Echantillon	A	B	C	D
Note				

d. Tartinabilité

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

Echantillon	A	B	C	D
Note				

VI. Préférence générale

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

- 1 : Extrêmement désagréable,
- 2 : Très désagréable,
- 3 : Désagréable,
- 4 : Assez désagréable,
- 5 : Ni agréable ni désagréable,

- 6 : Assez agréable,
- 7 : Agréable,
- 8 : Très agréable,
- 9: Extrêmement agréable.

Echantillon	A	B	C	D
Note				

V. Paramètre ayant motivé la préférence générale

Quelles sont les caractéristiques organoleptiques qui ont motivé votre préférence :

La couleur

La consistance

Le Goût

L'odeur

La Texture

Merci pour votre coopération

Annexe IV : Résultats du test de Rancimat

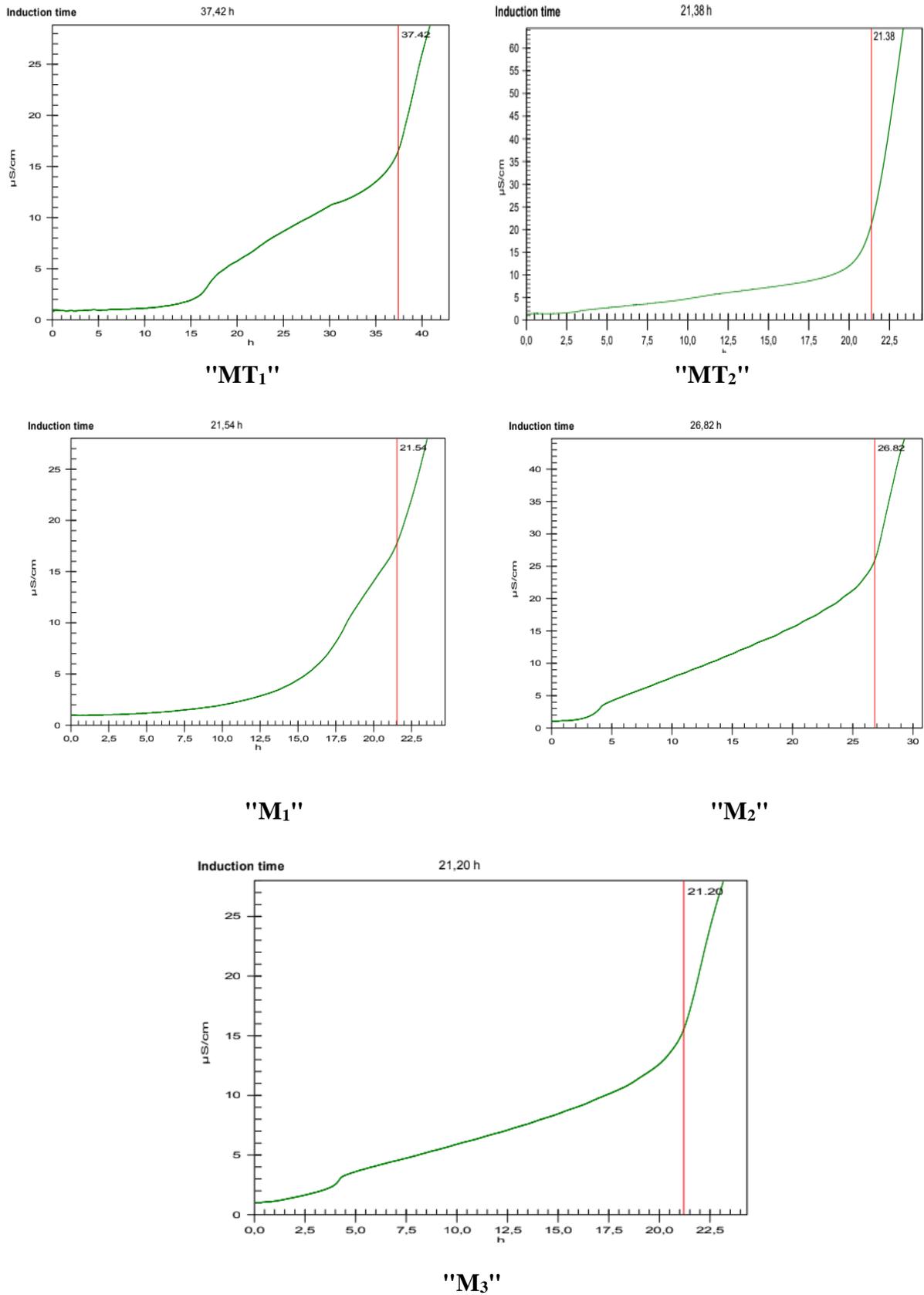


Figure 1 : Résultats du test de Rancimat pour les margarines élaborées.

Résumé

L'objectif du présent travail en premier lieu est l'évaluation des propriétés physico-chimiques, antioxydantes et fonctionnelles de l'épice (*Curcuma longa* L.). En second lieu, essai de formulation d'une margarine additionnée de Curcuma comme un antioxydant naturel (M₁(50 ppm), M₂ (100 ppm), M₃ (150 ppm)) contre une margarine témoin (MT) élaborés dans les mêmes conditions. Les résultats obtenus montrent que la poudre du *curcuma* est une source importante d'antioxydants : polyphénols (3384,67 ± 247,85 mg EAG/100 g MS), flavonoïdes (2012,32 ± 24,59 mg EQ/100 g MS), flavanols (1979,66 ± 113,86 mg EQ/100 g MS) et caroténoïdes (82,83 ± 3,33 mg EβC/100 g MS). En outre, la poudre de *Curcuma longa* présente des propriétés fonctionnelles importantes permettant son incorporation dans des matrices alimentaires telle que la margarine. La préparation des margarines (M₁, M₂, M₃ et MT) est réalisée à l'échelle laboratoire en respectant un diagramme de fabrication d'une margarine standard. Les margarines formulées présentent des qualités physico-chimiques et microbiologiques conformes aux normes indiquant le respect des conditions d'hygiène et assurant ainsi la sécurité des consommateurs. En outre, l'évaluation sensorielle a révélé que la margarine (M₃) est plus appréciée avec un taux de 73,33%. En conclusion, l'incorporation du curcuma comme un antioxydant naturel dans la margarine est possible ; donc il serait très intéressant d'élargir sa production à l'échelle industrielle.

Mots clés : *Curcuma longa* L. ; Propriétés ; Margarine ; Qualité.

Abstract

The objective of this work is firstly the evaluation of the physicochemical, antioxidant and functional properties of the spice (*Curcuma longa* L.). Secondly, test of formulation of a margarine added with Turmeric as a natural antioxidant (M₁ (50 ppm), M₂ (100 ppm), M₃ (150 ppm)) against a control margarine (CM) developed under the same conditions. The results obtained show that turmeric powder is an important source of antioxidants: polyphenols (3384.67 ± 247.85 mg EAG/100 g DM), flavonoids (2012.32 ± 24.59 mg EQ/100 g DM), flavanols (1979.66 ± 113.86 mg EQ/100 g DM) and carotenoids (82.83 ± 3.33 mg EβC/100 g DM). In addition, *Curcuma longa* powder has important functional properties allowing its incorporation into food matrices such as margarine. The preparation of margarines (M₁, M₂, M₃ and CM) is carried out on a laboratory scale following a standard margarine manufacturing diagram. The formulated margarines have physicochemical and microbiological qualities that comply with the standards indicating compliance with hygiene conditions and thus ensuring consumer safety. In addition, the sensory evaluation revealed that margarine M₃ is more appreciated with a rate of 73.33%. In conclusion, the incorporation of turmeric as a natural antioxidant in margarine is possible; therefore it would be very interesting to expand its production on an industrial scale.

Keywords: *Curcuma longa* L.; Properties; Margarine; Quality.