

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Technologie Agro-Alimentaire



Réf :

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

MASTER

Thème

Enrichissement de la margarine avec les caroténoïdes extraits
des pelures de tomates

Présenté par :

Khouchane Kim Farah et Djedri Lydia

Soutenu le : 02/07/2024

Devant les jurys composés de :

M. Kati. D	Professeur	Président
M. Tamendjari. A	Professeur	Promoteur
Mme. Bouarroudj. K	MCB	Examinatrice
M. Hadjal. S		Co-promoteur

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciements

Le plus grand remerciement s'adresse au bon Dieu qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour accomplir ce travail

*La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner notre gratitude. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Mr Tamendjari. A** pour son dévouement, sa patience, sa disponibilité, et surtout pour ses judicieux conseils.*

*Nous souhaitons exprimer nos reconnaissances envers le personnel de la direction des recherches et développement au sein de « **Cevital Spa** », nous remercions en particulier **Mr Hadjal. S** de nous avoir co- encadré et surtout pour sa disponibilité et ses conseils, ainsi qu'a **Mr ZEROUAL. B**,*

***Mr ALIANE**, le personnel du laboratoire d'analyses physico- chimique de la margarine **Mme BOUALIT. S** et **Mr BOUKHIMA. H**, ainsi que **Mr Kasri. A** et **M^{lle} Amel**.*

*Nos remerciements vont, également, à **Mr Kati . D** qui nous a fait l'honneur de présider le jury et à **Mme Bouarroudj. K** d'avoir accepté*

d'examiner ce modeste travail.

Dédicace

Chaleureusement je dédie ce modeste travail :

*A mon très cher papa et à ma très chère maman, dont le soutien
inébranlable, et les encouragements constants ont rendu ce parcours*

Possible

A mes chers frères Fatah, Youcef et Elias, pour leur amour

Indéfectible et leur présence réconfortante

A mes chers grands-parents, tantes et oncles

A Yacine qui m'a accompagné tout au long de ce voyage

Je remercie également Lydia pour sa présence constante,

et sa patience infinie

A mes chers amis et amies

Que vous trouviez ici le témoignage de ma profonde reconnaissance

Kim Farah

Dédicace

Avec une gratitude infinie et un profond amour, je dédie ce mémoire à mes chers parents, mon adorable frangin Mounir, pour sa présence constante et son encouragements indéfectibles, ma mamie, tante Yasmina et oncle Hazem, pour leur générosité et leurs précieux conseils. Et enfin, à ma binôme Kim Farah, pour son amitié précieuse et son soutien sans faille tout au long de ce voyage académique.

Merci à chacun de vous, du fond du cœur, pour avoir rendu ce projet possible.

"Lydia"

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1

Partie théorique : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur la tomate et les caroténoïdes.....	3
I.1. La tomate	3
I.1.1. Description de la tomate	3
I.1.2. Variétés et Importance de la tomate en Algérie	4
I.1.3. Composition biochimique	4
I.1.4. Valorisation des déchets	5
I.1.5. Domaines d'utilisation des déchets de la tomate	6
I.2. Les Caroténoïdes	6
I.2.1. Lycopène	7
I.3. Généralités sur la margarine	10
I.3.1. Définition	10
I.3.2. Composition globale de la margarine	10
I.3.3. Transformation traditionnelle de la margarine.....	10
I.4. Types de margarines	13
I.5. Fabrication des margarines	14
I.6. Altération de la margarine	16
I.7. Conservation de la margarine	16
I.8. Oxydation de la margarine	16
I.9. Les antioxydants	17

Partie pratique: Matériels et méthodes

II.1. Matériel végétal	19
II.1.1. Description et caractérisation	19
II.1.2. Caractérisation physico-chimique des pelures de tomates séchées	21
II.1.2.1. Détermination de la teneur en eau.....	21
II.1.2.2. Détermination de la teneur en caroténoïdes.....	21
II.1.2.3. Macération de la poudre dans l'huile.....	22
II.1.2.4. Analyses effectuées sur l'huile enrichie en caroténoïdes.....	22
II.2. Margarine	25
II.2.1.Elaboration de la margarine enrichie	25
II.2.2. Analyses physico-chimiques effectuées sur la margarine	27

II.3. Analyse sensorielle	29
II.4. Analyse statistique	29

Résultats et discussions

III.1. Analyses physico-chimiques des pelures de tomates séchées	30
III.1.1. Teneur en eau	30
III.1.2. Détermination de la teneur en caroténoïdes des pelures séchées	30
III.2. Analyses effectuées sur l'huile enrichie en caroténoïdes	30
III.2.1. Acidité	31
III.2.2. Indice de peroxyde et absorbances dans l'ultra-violet	31
III.2.3. Teneur en caroténoïdes	32
III.2.4. Test de Rancimat	32
III.3. Caractérisation d'une margarine enrichie	34
III.3.1. Caractéristiques physico-chimiques	34
III.3.2. Test de Rancimat	36
III.3.3. Analyse sensorielle	37

<i>Conclusion</i>	38
-------------------------	----

Références bibliographiques

Liste des abréviations

- **A%** : Acidité titrable
- **Abs** : Absorbance
- **BHA** : Beta Hydroxy Acid
- **BHT** : Butylhydroxytoluène
- **CG** : Corps gras
- **H%** : Humidité
- **HHPE** : Extraction à haute pression hydrostatique
- **IP** : Indice peroxyde
- **ISO** : Organisation internationale de normalisation
- **Kcal** : Kilocalories
- **KOH** : Hydroxyde de potassium
- **MAE** : Extraction par micro-ondes
- **meq O₂/Kg** : Milliequivalent d'oxygène/kilogramme
- **mg** : Milligramme
- **min** : Minute
- **ml** : Millilitre
- **mm** : Millimètre
- **ms** : Matière sèche
- **µm** : Micromètre
- **NaCl** : Chlorure de sodium
- **nm** : Nanomètre
- **pH** : Potentiel hydrogène
- **Qx/Ha** : Quintaux/Hectare
- **RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire
- **RSM** : Méthodologie de surface de réponse
- **SFC** : Solid Fat Content
- **TIR** : Temps d'induction au test Rancimat
- **t/min** : Tour/min
- **UV** : Ultra-Viole

Listes des figures

N°	Titre	Page
1	La structure moléculaire du lycopène	7
2	Principales étapes de la production de la margarine	15
3	Tomates fraîches	19
4	Pelures séchées	19
5	Poudre extraite	19
6	Méthodologie expérimentale	20
7	Schéma représentatif de la fabrication de la margarine à l'échelle laboratoire	26
8	Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat (temps d'induction en heures) des huiles	33
9	Courbes de temps d'induction (test de Rancimat) des phases grasses des margarines	36
10	Margarine enrichie en pelures de tomates séchées	37

Listes des annexes

N°	Titre	Annexe
1	Organigramme du complexe Cevital	Annexe 1
2	Huile enrichie à 2,5%	Annexe 2
3	Huile enrichie à 5%	Annexe 2
4	Courbe d'étalonnage de la poudre à 450nm	Annexe 3
5	Courbe d'étalonnage de l'huile à 470nm	Annexe 3

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Classification de la plante de tomate	3
II	Contenu nutritionnel moyen de la tomate (pour 100 g)	5
III	Valorisation des sous-produits de transformation de la tomate, des composés valorisés et leurs domaines d'application potentiels	5
IV	Principaux composés du marc, des pelures et des graines de tomates	6
V	Additifs hydrosolubles de la margarine	12
VI	Additifs liposolubles de la margarine	13
VII	Indices chimiques et teneur en caroténoïdes	30
VIII	Résultats des analyses physico-chimiques des margarines	34
IX	Evolution du taux de solide en fonction de la température	35
X	Evaluation sensorielle de la margarine enrichie	37

Introduction

Il est essentiel de maîtriser l'oxydation afin de gérer l'évolution des systèmes biologiques dans leur complexité, notamment dans le cas des aliments dont la dégradation peut avoir des répercussions sur la sécurité sanitaire (**Karleskind, 1992**). La dégradation de la margarine est principalement due à l'oxydation des lipides lors de sa production et de sa conservation. La conséquence la plus perceptible est le rancissement. Selon **Prior (2003)**, ces odeurs entraînent fréquemment le rejet du produit par les consommateurs. Par conséquent, afin d'assurer une conservation plus longue, les antioxydants sont couramment employés.

Les antioxydants synthétiques les plus connus sont le butylhydroxytoluène (BHT) et le butylhydroxyanisole (BHA), généralement utilisés en industrie agro-alimentaire. Cependant, les consommateurs suspectent ces composés synthétiques de toxicité. Par conséquent, les antioxydants naturels bénéficient d'une meilleure image, ce qui oriente la majorité des recherches actuelles vers la découverte d'antioxydants naturels pour remplacer les antioxydants synthétiques (**Socaci et al., 2017**).

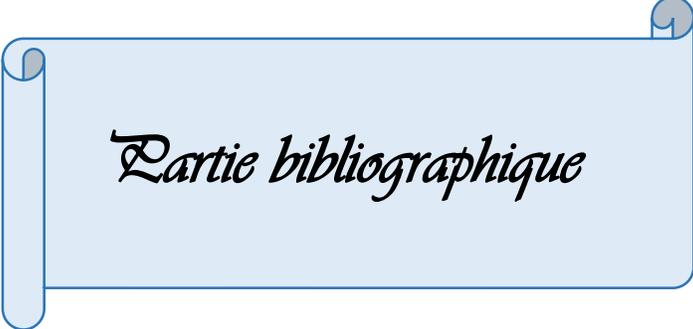
La culture de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est très répandue dans le monde et représente un élément clé du régime méditerranéen. Seule une partie des tomates est consommée à l'état frais, plus de 50 % des volumes sont transformés pour produire des concentrés de tomates et des sauces (**Soto, 2018**). Lors de la transformation des tomates, le principal déchet généré est le marc de tomate, un mélange de peau de tomate, de graines, de partie fibreuse et d'une petite fraction de pulpe. La quantité de marc peut varier d'une usine de transformation à l'autre, en raison des conditions de transformation (**Silva et al., 2018**).

Actuellement, ce sous-produit est principalement mis en décharge ou utilisé comme aliment pour animaux, mais sa composition chimique suggère la possibilité de le réutiliser comme source bon marché, regroupant de nombreux composés bioactifs de grande valeur, tels que des antioxydants naturels, des fibres alimentaires et des vitamines (**Nour et al., 2018**).

Bien que de nombreuses recherches aient étudié le potentiel antioxydant des déchets et sous-produits d'origine végétale, les études concernant leur incorporation dans les produits alimentaires n'en sont qu'à leurs débuts (**Li et Yu, 2023**). Le but de cette étude est d'enrichir l'huile

raffinée de tournesol en caroténoïdes de pelures de tomate en vue de les incorporer dans la fabrication de la margarine.

Ce travail est structuré en trois parties, initié par une synthèse bibliographique mettant l'accent sur la tomate, les caroténoïdes et la margarine. La deuxième partie concerne la méthodologie suivie, elle est subdivisée en deux volets : le premier traite le séchage des pelures de tomates afin d'obtenir une poudre, le deuxième volet traite l'incorporation de cette poudre dans l'huile de tournesol à différentes concentrations (2,5 %, 5%) afin d'évaluer la stabilité oxydative de notre huile enrichie, et de déterminer la concentration optimale à incorporer dans la formulation d'une margarine de table. Enfin la dernière partie regroupe l'ensemble des résultats obtenus et leurs discussions suivie d'une conclusion générale.



Partie bibliographique

I.1. Généralités sur la tomate

I.1.1. Tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum*) est une plante originaire des vallées fertiles du Mexique. Les Indiens du Mexique l'ont cultivée et améliorée, avec le nom aztèque de « tomate », avant d'être introduite en Europe par les conquistadores. On trouve neuf espèces sauvages en Amérique du Sud, dont deux sont comestibles, la « tomate groseille » (et la « tomate cerise » qui est l'ancêtre de nos tomates actuellement cultivées).

Dès le XVI^e siècle, les Italiens ont été les premiers à la consommer en Europe, en particulier sous forme de sauce. C'est sous cette forme qu'elle arrive en France par la Provence au XVII^e siècle, avant d'être popularisée à Paris lors de la Révolution (**Bouzaata, 2016**).

Pendant longtemps, la tomate a été perçue comme toxique et elle a été associée à toutes sortes de maléfices en raison de sa ressemblance avec la mandragore. D'abord plante ornementale, par la suite elle a été inscrite en 1778 au catalogue des semences potagères de Vilmorin-Andrieu (**Mikanowski et Mikanowski, 1999**).

Elle a été introduite en Algérie par les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), en raison des conditions climatiques favorables à sa culture. En ce qui concerne sa consommation, elle a débuté dans la région d'Oran en 1905 avant de se propager vers le centre, en particulier sur le littoral algérois (**Toufouti, 2013**).

I.1.2. Description de la tomate

La tomate, *Solanum lycopersicum*, est l'un des légumes les plus cultivés au monde, avec une production mondiale atteignant 126 millions de tonnes en 2005 (**FAO, 2007**). Elle constitue une source exceptionnelle de nombreux nutriments et métabolites secondaires essentiels pour la santé humaine. Riche en minéraux, vitamines C et E, β -carotène, lycopène, flavonoïdes, acides organiques, composés phénoliques et chlorophylle, elle offre de nombreux bienfaits nutritionnels (**Giovanelli et Paradis, 2002**). Sa classification botanique est comme suit :

Tableau I : Classification de la plante de tomate (**Raffy, 2006**)

Règne	Plantae.
Division	Magnoliophyta.
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Solanales.
Famille	Solanaceae.
Genre	Solanum
Espèce	<i>Lycopersicum</i> L

I.1.3. Variétés et Importance de la tomate en Algérie

La production de tomate joue un rôle essentiel dans l'économie agricole en Algérie. La culture de la tomate (maraîchère et industrielle) occupe environ 33 000 hectares par an, avec une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311Qx/ha (MADR, 2009). Selon les données FAOStat de 2022, la production algérienne est estimée à plus de 1660 000 tonnes.

La tomate est principalement cultivée dans les régions de l'Est telles qu'Annaba, El Taref, Guelma, Skikda qui représentent plus de 60% de la superficie agricole (SAU). Cette région est réputée par sa production de tomates destinées à la transformation industrielle, principalement en double concentré de tomate. Cette filière a longtemps joué un rôle crucial dans le développement socio- économique (Senoussi, 2010).

Il existe plusieurs variétés en Algérie, dont les caractéristiques génotypiques et phénotypiques se transmettent aux générations suivantes, parmi lesquelles on peut citer les plus couramment utilisées telles que La Marmande, La Sainte Pierre et Aïcha. Les hybrides qui, grâce à l'effet Hétérosis, ont la capacité de combiner plusieurs caractéristiques d'intérêt (une bonne précocité, une bonne résistance aux maladies et aux attaques parasitaires, et, donc un bon rendement) (Senoussi, 2010).

I.1.4. Composition biochimique

À la différence de la majorité des fruits, la tomate est un aliment très peu énergétique (tableau II). La tomate est une baie charnue de tailles et de couleurs variées. Le fruit est composé principalement d'eau (> 90 %), avec très peu de protéines ou de matières grasses et environ 3 % de glucides (glucose et fructose) (Vaughan and Geissler, 2009).

Les tomates sont une bonne source de composés phytochimiques et de nutriments tels que le lycopène, le potassium, le fer, l'acide folique et la vitamine C (Kumar *et al.*, 2012). Outre le lycopène et la vitamine C, les tomates fournissent d'autres antioxydants, tels que le bêta-carotène, et des composés phénoliques, tels que les flavonoïdes, l'acide hydroxycinnamique, l'acide chlorogénique, l'acide homovanillique et l'acide férulique (Borguini *et al.*, 2009 ; Kumar *et al.*, 2012).

Tableau II : Contenu nutritionnel moyen de la tomate (pour 100 g) (**Frusciante et al., 2007**)

Macronutriments (g)	Minéraux (mg)	Antioxydants (mg)
Energie : 18 Kcal Fibres : 1,2 Glucides : 3,89 Sucres :2,6 Protéines :0,9 Lipides :0,2	Potassium :237 Phosphore :24 Magnesium:11 Sodium :5 Calcium :10 Fer:0,27 Zinc:0,17 Manganèse: 0,11 Cuivre: 0,059	Lycopène :<11 Acides phénoliques : <4,9 Flavonoïdes : <8,2 β-carotène : <1,1 Phytoène : <1,3 Phytofluène : <1,2 Vitamine C : <21 Lutéine : <0,3 Vitamine E : <1,8

I.1.5. Valorisation des déchets :

L'industrie de transformation de la tomate génère trois types de sous-produits en fonction de la méthode d'épluchage utilisée et de la forme du produit final (comme le concentré de tomate, les tomates concassées ou pelées). Ces sous-produits comprennent les pelures de tomates, les graines de tomates et un mélange des deux, appelé marc de tomate, qui peuvent représenter entre 5 et 30% du produit principal (**Szabo, 2021**). Les composés les plus récupérés des sous-produits de la transformation des tomates et leurs applications potentielles diversifiées dans plusieurs secteurs industriels sont illustrés dans le **tableau III**.

Tableau III : Valorisation des sous-produits de transformation de la tomate, des composés valorisés et leurs domaines d'application potentiels (**Eslami et al. 2022**)

Lycopène	Les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique comme antioxydants naturels
Cutine	Matériaux bio-sources pour l'emballage
Pectines	Industrie alimentaire et pharmaceutique
Polyphénols	Alimentation nutritionnelle, secteur pharmaceutique et emballages bioactifs
Huile	Industrie des huiles alimentaires et cosmétiques
Protéines	Industrie alimentaire (complémentation en protéines)

Les teneurs en principaux composés précieux des sous-produits qui peuvent être récupérés sont largement résumées dans le **tableau IV**.

Tableau IV : Principaux composés du marc, des pelures et des graines de tomates (**Eslami et al. 2022**)

	Fibres [g/100 MS]	Protéines [g/100 g MS]	Huile [g/100 g MS]	Lycopène X 10³ [g/100 g MS]
Marc	39,11–59,03	15,08–24,67	2,00–16, 24	9,82–611,105
Pelures	62,79–78,56	1,85–11,13	1,63–5,50	50–1930
Graines	16,00	20,2–40,94	17,80–24,50	22,01–37,43

En particulier, les pelures de tomates sont une riche source de lycopène, représentant 80 à 90 % du total des caroténoïdes, des polyphénols et des fibres alimentaires (**Nour et al., 2018**)

I.1.6. Domaines d'utilisation des déchets de la tomate

En tant qu'antioxydants le lycopène est le principal caroténoïde présent dans la tomate, représentant 80 à 90% du total des caroténoïdes (**Farças et al., 2019**).

Selon **Li (2023)** le lycopène a un large éventail d'utilisation en tant qu'antioxydant naturel, on peut le retrouver dans différents secteurs comme :

- **Alimentation humaine** : Il peut être utilisé dans le domaine des corps gras, produits laitiers et produits carnés
- **Domaine pharmaceutique** : C'est un ingrédient aux propriétés exceptionnelles pour traiter et prévenir les maladies cardiovasculaires, cancer de la prostate et le diabète.
- **Domaine cosmétique** : Utilisé dans les crèmes dermatologiques comme anti-âge, pour ses propriétés antioxydants.
- **Alimentation de bétail** : Selon **Danek (2006)** les déchets de la tomate sont principalement utilisés comme alimentation pour bétail, en raison de leurs teneurs élevées en fibres ce qui facilite la digestion.

I.2. Les Caroténoïdes

D'un point de vue chimique, les caroténoïdes peuvent être divisés en deux grandes catégories. Les caroténoïdes fortement insaturés, comme le lycopène, les α -carotènes, les β -carotènes, sont dépourvus d'oxygène et sont généralement d'un orange ou d'un rouge en général. Leurs niveaux élevés d'insaturation les rendent particulièrement oxydables. Les xanthophylles (lutéine, zéaxanthine) font partie de la deuxième catégorie, étant des dérivés oxygénés qui contiennent un ou plusieurs groupement oxygénés (**Rao, 2006**).

Le pigment principal des tomates rouges est le (E)-lycopène, qui est le caroténoïde dominant. Ces tomates peuvent également contenir des formes de lycopène Z en faibles quantités. On retrouve

aussi la β -carotène et l' α -carotène, des micronutriments ayant une activité pro-vitaminique A, dans de nombreuses variétés de tomates, principalement sous la forme E.

Des intermédiaires de la biosynthèse du lycopène (phytoène, phytofluène, neurosporène, ainsi que des quantités faibles de lycoxanthine, γ -carotène et δ -carotène, ont également été découverts. On observe également la présence de xanthophylles : lutéine, néoxanthine, violaxanthine (Leonardi *et al.*, 2000).

I.2.1. Lycopène

I.2.1.1. Généralités sur le lycopène

Le lycopène est un caroténoïde rouge vif avec un poids moléculaire de 536,89 g/mol, composé à 89,45 % de carbone et à 10,51 % d'hydrogène (C₄₀H₅₆) (Kong *et al.*, 2010). Sa concentration dans la tomate peut varier entre 4,5mg/100g à 12,3mg/100g (Capanoglu *et al.*, 2008) C'est un caroténoïde acyclique insaturé, possédant 11 liaisons doubles conjuguées et 2 liaisons doubles non conjuguées (Aghel *et al.*, 2011), le rendant ainsi le plus long caroténoïde représenté dans la **figure 1** :

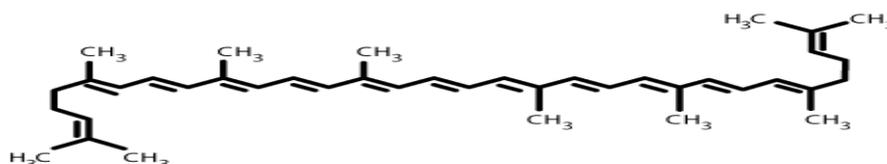


Figure 1 : La structure moléculaire du lycopène

La plage de pH optimale pour la stabilité du lycopène se situe entre 3,5 et 4,5 (Stojiljkovic *et al.*, 2018). Le lycopène joue un rôle crucial dans la prévention nutritionnelle en tant que puissant antioxydant, capable de protéger les cellules vivantes contre les radicaux libres et les dommages oxydatifs, aidant ainsi à lutter contre les maladies chroniques et à prévenir les maladies liées au vieillissement (Weber *et al.*, 2020).

I.2.2. Effets thérapeutiques du lycopène

➤ Effet du lycopène sur la fonction cellulaire

La réactivité du lycopène dans les systèmes biologiques dépend de nombreux facteurs, tels que sa structure moléculaire et physique, sa concentration, sa source, sa localisation ou son site d'action dans les cellules, sa capacité à interagir avec d'autres antioxydants, et la pression partielle de l'oxygène (Ascenso, 2012). Le lycopène possède diverses propriétés bénéfiques pour la santé humaine (Kelkel *et al.*, 2011).

➤ Effet du lycopène sur les troubles neurologiques liés à l'âge et l'amnésie

L'administration quotidienne et prolongée de 50 mg de lycopène pendant deux mois à des souris CD-1 âgées améliore significativement les aspects liés au vieillissement, tant sur le plan comportemental que biochimique (**Hamed, 2023**). L'administration orale de lycopène peut empêcher l'accumulation toxique d'A β 1-42 dans le cerveau en réduisant les protéines APP et la bêta-sécrétase 1 (BACE1), prévenant ainsi le dysfonctionnement cognitif. De plus, les dommages neuronaux liés à l'âge dans l'hippocampe et le dysfonctionnement synaptique sont améliorés par le lycopène, avec une augmentation du niveau des facteurs neurotrophiques dérivés du cerveau (BDNF). Le prétraitement avec du lycopène (5 et 10 mg/kg) améliore les symptômes dans un modèle d'amnésie induite par la scopolamine chez la souris, avec une amélioration notable de la capacité d'apprentissage et de la rétention de la mémoire, en augmentant les niveaux d'acétylcholinestérase (AChE) dans le cerveau. En outre, l'inhibition du stress oxydatif et des dommages neuronaux dans le cortex et l'hippocampe peut être attribuée aux potentiels neuroprotecteurs du lycopène (**Bala et al., 2015**).

➤ Prévention du Cancer

Le lycopène ralentit la croissance des tumeurs et inhibe la tumorigénèse (**Sahin et al., 2019**). Son effet protecteur est prouvé contre certains cancers, tels que ceux de la prostate, de la vessie, du col de l'utérus, de la leucémie (**Jaswir et al., 2011**), de la bouche, de l'œsophage, du pancréas, du rectum, du côlon, du poumon et du sein (**Vila et al., 2019**).

I.2.3. Méthodes d'extraction

À ce jour, diverses approches ont été employées pour extraire les caroténoïdes de sources végétales. Les méthodes d'extraction traditionnelles des caroténoïdes, telles que l'extraction Soxhlet et le reflux de solvant, s'accompagnent souvent d'inconvénients tels qu'une consommation élevée de solvant, de longues durées d'extraction et une dégradation potentielle due à des températures élevées. Le procédé par macération peut être effectué à froid ou à chaud en utilisant un corps gras végétal ou minéral comme solvant. Toutefois, les performances d'un tel procédé ne sont pas satisfaisantes tant en termes de durée que de rendement.

Selon **Nour et al., (2018)**, la macération permet d'extraire des quantités importantes à partir des déchets de tomates.

L'application de nouvelles technologies permettant d'affaiblir ou de perturber la membrane cellulaire du tissu végétal pour libérer les composés bioactifs peut représenter une stratégie efficace

pour augmenter la récupération de composés à haute valeur ajoutée à partir de résidus de tomates. Ainsi différentes techniques émergentes, telles que l'homogénéisation à haute pression (HPH), les champs électriques pulsés (PEF), les ultrasons (US), l'extraction par fluide supercritique (SFE-CO₂) et les micro-ondes (MW) peuvent être utilisées. Bien que ces technologies présentent plusieurs avantages, leur utilisation pour la valorisation des sous-produits de la tomate présente également des inconvénients, tels que des coûts d'investissement élevés et une consommation d'énergie élevée (**Eslami *et al.*, 2022**).

I.3. Généralités sur la margarine

I.3.1. Définition

La margarine est considérée comme une émulsion eau dans huile qui a été introduite comme alternative économiquement viable au beurre.

Elle comprend deux phases essentielles :

- ▶ Une phase continue : phase grasse.
- ▶ Une phase dispersée : phase aqueuse.

Elle contient aussi des additifs (lécithine, sel, colorant, antioxydants, vitamines, etc.) répartis respectivement dans la phase grasse et la phase aqueuse (**Karleskind, 1992**).

Les margarines peuvent être fabriquées à partir d'une seule huile exemple (margarine de tournesol) ou bien à partir d'un mélange d'huile (tournesol, soja coprah, palme etc.) et quelque fois à partir de matière grasse animales (saindoux, huiles de poisson) (**Boggio, 2005**).

I.3.2. Composition globale de la margarine :

Selon (**Karleskind (1992)**) la margarine est composée de :

- 80 % à 82 % de lipides, appelé phase grasse.
- 16 % à 18 % d'eau et/ou lait, constituant la phase aqueuse.
- 2 % d'additifs, obligatoires ou facultatifs.

I.3.3. Transformation traditionnelle de la margarine

La production traditionnelle de margarine nécessite des étapes de transformation des graisses solides ou semi-solides en un système émulsionné stable avec des caractéristiques tartinables (**Aini et Miskandar, 2007**). Il est important de souligner qu'il peut y avoir des changements en fonction de la matière grasse utilisée, du type de margarine et des caractéristiques souhaitées dans le produit final afin d'améliorer ses propriétés physico-chimiques, sensorielles et nutritionnelles. La production traditionnelle de margarines se compose de cinq étapes principales : préparation de la phase grasse, préparation de la phase aqueuse, émulsification, cristallisation et conditionnement (**Miskandar et al ., 2002**).

I.3.3.1. Phase grasse

Elle représente au moins 80% du produit final, elle est constituée principalement de matières grasses pouvant être d'origine animale (saindoux, huiles de poissons hydrogénées) ou végétale (huiles d'arachide, de colza, de maïs, de coprah, de palme, etc.). Elle comporte également des additifs liposolubles tels les émulsifiants, éventuellement complétés par des colorants, des arômes et des vitamines (**Faur, 1996**).

I.3.3.2. Phase aqueuse

Selon **Karleskind, (1992)** la teneur de la phase aqueuse ne doit pas dépasser les 16% à 18% du produit final. Elle contient, outre l'eau, des composants hydrosolubles comme du lait, de l'acide citrique, du sel ou éventuellement du sorbate de potassium.

I.3.3.3. Emulsification

Après chauffage et solubilisation des ingrédients dans les phases aqueuse et grasse, ces systèmes sont dirigés vers une seule cuve de mélange pour la formation d'émulsion, L'émulsion est agitée entre 10 et 15 min avant d'être transférée dans l'unité de refroidissement (**Miskandar et al., 2002**).

I.3.3.4. Cristallisation

Après avoir quitté le réservoir d'émulsification, l'émulsion semi-liquide est dirigée vers le cristalliseur. L'étape principale du traitement des margarines est la cristallisation, avec formation et maturation des cristaux (**Borwankar et al., 1992**).

Si la température de cristallisation subit de nombreuses fluctuations, la stabilité de l'émulsion peut être affectée comme suit :

-Une cristallisation insuffisante peut entraîner des margarines à faible brillance, faible onctuosité, grumeaux, faible plasticité et aspect cassant.

-Une cristallisation excessive fait que la margarine présente une brillance et une onctuosité excessives, un aspect huileux, une faible consistance et une migration de l'huile à la surface (**Lima, 2015**).

I.3.3.5. Conditionnement

L'étape du conditionnement est également considérée comme une étape de maturation (**Saillard, 2010**). Une fois la phase de cristallisation achevée, la margarine est stockée dans son propre récipient et amenée à une stabilisation entre 5 et 7°C.

I.3.3.6. Les additifs

Ces produits sont ajoutés soit pour faciliter la fabrication soit pour donner aux produits des caractères organoleptiques conformes au goût du consommateur (**Faur, 1992**),

I.3.3.6.1. Les additifs hydrosolubles

Le **tableau V** représente les différents additifs qu'on retrouve dans la phase aqueuse :

Tableau V : Additifs hydrosolubles de la margarine

Additifs	Rôle
Sel et sucre	Apporter à la margarine le goût et la flaveur. Le sucre sert à donner une couleur dorée très appréciée (François, 1974). Selon (Faur,1992) l'addition du sucre est faite surtout dans le cas des margarines pour pâtisserie et le sel de son côté, est ajouté pour améliorer la sapidité et joue également un rôle protecteur « Bactériostatique ».
Conservateurs	Outre le sel de table (NaCl), l'addition de l'acide sorbique (E200), ainsi que les sels de sodium (E201), de potassium (E202) et de calcium (E203) isolément ou ensemble dans une proportion pondérale de 2g par kilogramme de produit fini. L'acide sorbique est un acide faible, avec ces sels, il présente un bon effet fongicide (Faur, 1992).
Correcteur de pH	Les acides citrique, lactique et leurs sels de Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ sont autorisés. En effet, l'addition du sel dans les margarines n'est pas élevée pour que cela constitue un véritable agent bactériostatique, d'où la nécessité de contrôler le pH de la phase aqueuse; une valeur basse de ce dernier freine la croissance des microorganismes (Faur, 1992).
Antioxydants	On peut ajouter des tocophérols (extraits naturels ou synthétiques) via la phase grasse, qui ont pour rôle d'éviter l'oxydation des huiles en retardant l'apparition du rancissement. On peut aussi utiliser des gallates de propyle et le BHT (butylhydroxytoluène) (Hoelinger, 2002).
Révéléateur	L'amidon en tant que révéléateur à une dose de 0,2% permet de différencier la margarine du beurre (Cheftel et Cheftel, 1977).

I.3.3.6.2. Les additifs liposolubles

Le tableau VI représente les différents additifs liposolubles :

Tableau VI : Additifs liposolubles de la margarine

Additifs	Rôle
Emulsifiants	Ce sont des composés ayant des propriétés tensio-actives, dues à leur caractère amphiphatique; leur structure chimique étant composée à la fois de groupes hydrophiles et lipophile (Faur, 1992). Les émulsifiants utilisés dans les margarines sont les monoglycérides, diglycérides et la lécithine (François, 1974).
Colorants	La couleur de la margarine doit être assez voisine de celle du beurre, elle est obtenue soit par addition d'huile de palme rouge riche en caroténoïdes, soit de β -carotène de synthèse (Luterotti et al., 2006).
Aromes	L'aromatisation peut être réalisée par addition de diacétyle (un constituant de l'arôme de beurre), qui a une forte odeur quinonique, ou par addition de cocktails d'arôme (Faur, 1992).
Vitamines liposolubles	Il s'agit surtout des vitamines A, D et des tocophérols (Faure, 1992).

I.4. Types de margarines

Le beurre a été substitué par la margarine, qui a été fortifiée en vitamines A, D et E. Sa composition est réglementée par des lois et des normes d'identité dans chaque pays. Il existe une multitude de margarines qui se distinguent de par la composition de sa phase grasse mais aussi par le type d'ingrédients ajoutés. Les margarines varient en fonction de leurs utilisations, des saisons et des régions, il est donc difficile de leur donner une même composition typique (**Karleskind, 1992**).

Les différentes sortes de margarines sont :

➤ **Les margarines de tables**

Appelées margarine à usage domestique. Elles sont destinées aux emplois ménagers culinaires. Elles doivent être suffisamment fermes à 20°C Aisément tartinable, avec des qualités organoleptiques proches de celles du beurre (**Alias, 2003**).

➤ **Les margarines pour industries alimentaires**

C'est une gamme assez variée de produits pour la pâtisserie, biscuiterie, pâtes levées et fourrures utilisés en boulangerie, crèmes glacées, etc... (**François, 1974**).

➤ **Les margarines diététiques ou spéciales**

Élaborer pour certains emplois particuliers : sportifs, régimes, enfants et personnes âgés, catégorie de malades, etc.... (**Acem, 2016**).

I.5. Fabrication des margarines

La fabrication de la margarine est une technologie bien maîtrisée. Elle englobe brièvement les étapes suivantes :

-Préparation de la phase grasse complète : huile et graisses telles quelles, raffinées et/ou modifiées par hydrogénation, interestérisation ou fractionnement, lécithine, monoglycérides et colorants.

-Préparation de la phase aqueuse complète : eau et/ou lait, sel, sucre, arôme, conservateurs, correcteur de pH.

-Préparation de l'émulsion qui est le mélange de ces deux phases.

-Refroidissement, cristallisation, malaxage de l'émulsion de manière à lui conférer les caractéristiques rhéologiques espérées et la stabilité désirée. Ces trois opérations peuvent avoir lieu séquentiellement les unes à la suite des autres ou bien simultanément.

-Conditionnement du produit qui peut être sous enveloppage (margarines traditionnelles) ou bien en pots confectionnés en différents matériaux. Le choix des matières grasses (composition et propriétés), ainsi que les conditions de fabrication jouent un rôle important pour régler les caractéristiques des margarines.

Le schéma général du procédé de fabrication de la margarine est illustré dans la **figure 2** :

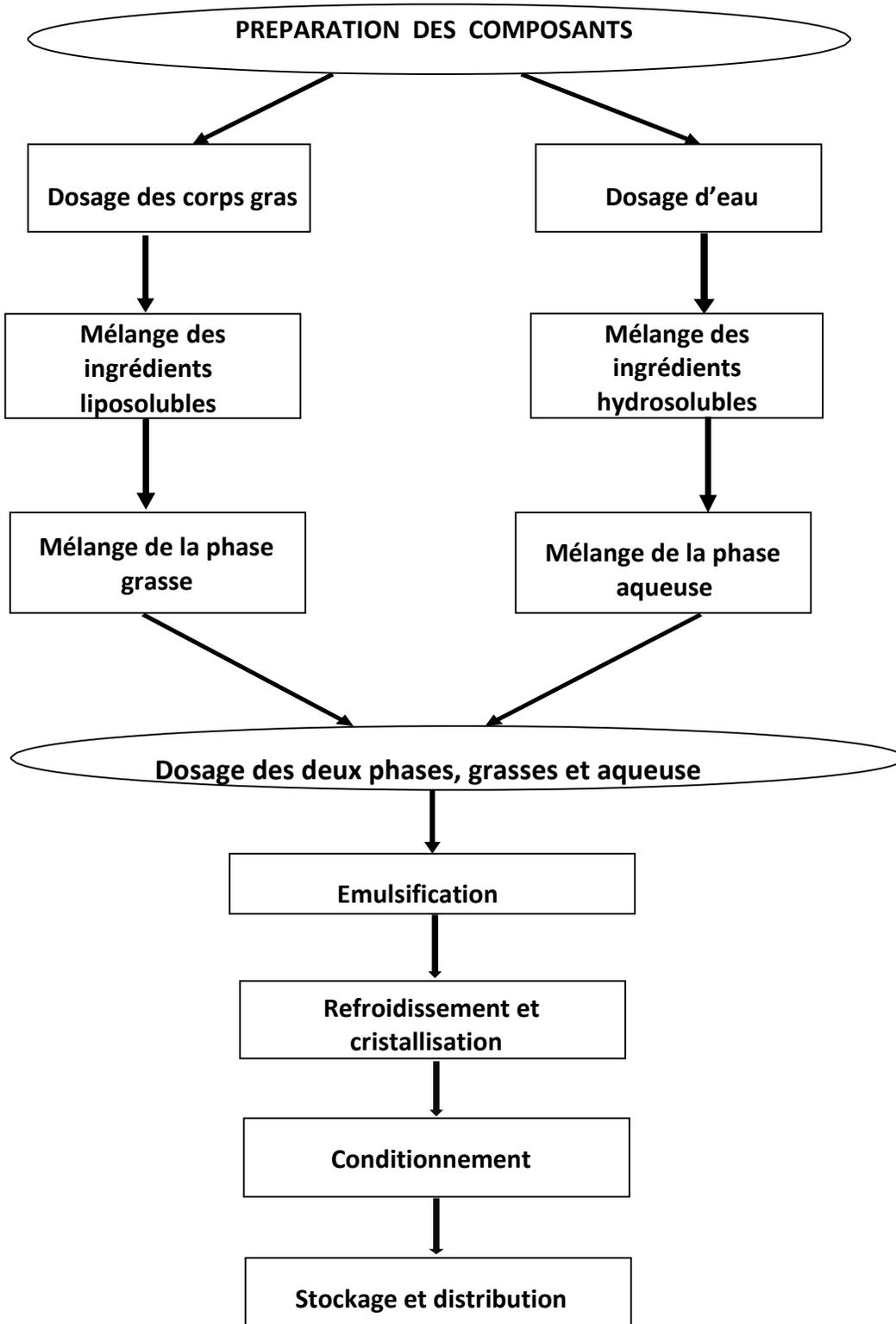


Figure 2 : Principales étapes de la production de la margarine (Karleskind, 1992)

I.6. Altération de la margarine

La margarine peut être sujette à plusieurs facteurs d'altérations principalement l'oxydation due à sa richesse en matière grasse, et par voie de conséquence, cela peut causer un changement de la qualité organoleptique, et provoquer également un rancissement total de la margarine la rendant inconsommable (**Graille, 2003**).

Les microorganismes présents dans la margarine peuvent entraîner des altérations, qui sont généralement causées par l'atmosphère ambiante, l'appareillage de traitement insuffisamment stérilisé, les emballages, les contacts humains mais encore par les constituants de la phase aqueuse (eau, lait, amidon, sucre) (**François, 1974**).

I.7. Conservation de la margarine

Tout comme le beurre, la margarine a les mêmes pratiques de conservation qui sont :

- Assurer des contrôles microbiologiques tout le long de la fabrication.
- Respecter les températures maximales de la maturation jusqu'au malaxage.
- La réfrigération pendant l'entreposage.
- Une température de stockage comprise entre 0°C et 5°C.
- Opter pour des emballages adéquats afin d'éviter l'exposition à la lumière (feuilles d'aluminium).

I.8. Oxydation de la margarine

Selon **Warner et al., (1989)**, l'oxydation des lipides est l'une des principales raisons de la détérioration de la qualité des aliments, ce processus de dégradation réduit la valeur nutritionnelle de ces derniers. C'est la principale raison de détérioration de la margarine lors de sa production et pendant sa conservation, elle impacte les acides gras insaturés présents (**Martin et Andriantsitohaina, 2002**). Ces acides gras insaturés, libérés à partir des triglycérides ou des phospholipides réagissent avec l'oxygène pour former dans un premier temps, des hydro peroxydes, qui génèrent par dégradation des petites molécules telles que des hydrocarbures, aldéhyde, acides et cétones (**Prior, 2003**).

I.8.1. Facteurs influençant l'oxydation

Il y a diverses formes d'oxydation qui mettent en œuvre des mécanismes réactionnels très différents, aboutissant au rancissement oxydatif. Les altérations conduisant au rancissement oxydatif sont l'auto-oxydation

➤ Auto-oxydation

L'auto-oxydation se produit lorsque des molécules d'oxygène réagissent spontanément avec des lipides, ce qui entraîne une dégradation oxydative (**Graille, 2003**).

Des possibilités en vue de maîtriser l'oxydation ont été mentionnées par (**Fränkel, 2005**) qui sont comme suit :

-Un traitement optimal lors du raffinage pour éliminer les pro-oxydants hydrogénation partielle des huiles polyinsaturées.

-Protection contre la lumière, l'oxygène et l'humidité grâce à des emballages.

-Utilisation des antioxydants

-Réaliser des mélanges entre des huiles polyinsaturées avec des huiles plus stables.

II.8.2. Les antioxydants

Un antioxydant est une substance qui inhibe significativement l'oxydation d'un substrat alors qu'il présente une concentration très faible (**Berger, 2006**).

Autant qu'additif alimentaire l'antioxydant est une molécule qui retarde le vieillissement des aliments (**Lassad, 2010**).

Ils sont classés selon leurs origines qui peut être naturelles ou synthétiques :

II.8.1. Les antioxydants naturels

Ce sont des molécules présentes naturellement dans les aliments d'origine végétale qui protègent contre les dommages causés par les radicaux libres (**Dell Agli et al., 2004**).

Les antioxydants naturels les plus connus sont : les composés phénoliques, la vitamine E et les caroténoïdes qui comprennent la β -carotène et le lycopène.

II.8.2. Les antioxydants synthétiques

Ils sont apparus dans les années 50 avec le fameux BHT et BHA (**Barus, 2008**).

Selon **Della Cortel, (1984)**, ils sont largement utilisés dans les industries alimentaires, leurs missions c'est d'empêcher les corps gras de rancir et protéger les vitamines liposolubles (A, D, E et K) contre toute oxydation.

II.8.3. Comment réagissent les caroténoïdes vis-à-vis l'oxydation

Les caroténoïdes sont associés à divers effets biologiques, notamment leur capacité à protéger contre les dommages oxydatifs. Le lycopène, en particulier, se distingue comme un excellent piègeur de l'oxygène singulet. De plus, il peut neutraliser les radicaux libres issus de l'oxygène moléculaire par un ensemble de réactions physiques et chimiques complexes. Lorsque l'ion d'oxygène transfère son énergie d'excitation à la molécule de lycopène, il en ressort en une molécule d'oxygène stabilisée et une molécule de lycopène excitée, qui dissipera ensuite son surplus d'énergie au niveau de ses doubles liaisons conjuguées sous forme de chaleur (**Zidani, 2009**).



Matériels et Méthodes

II-1- Matériel végétal

II.1.1. Description et caractérisation

Pour cette étude, 15 kg de tomates de la variété Marglobe (variété bien adaptée aux conditions climatiques de la région méditerranéenne, appréciée pour sa robustesse, sa résistance aux maladies) ont été achetées au marché de fruits et légumes “Boudrahem”, situé à proximité de notre campus. La proximité de ce marché a facilité l’acquisition de tomates fraîches et mûres, indispensables pour garantir la fiabilité des résultats obtenus dans cette étude.

Les tomates sont achetées à pleine maturité, lavées et nettoyées aussitôt pour éliminer les impuretés de surface. Elles ont été plongées dans un bain marie à 100 °C pendant 2 minutes suivies d’un refroidissement immédiat dans de l’eau froide afin de faciliter l’épluchage. Une fois les pelures retirées elles ont été séchées à l’aide d’une étuve réglée à 60°C pendant 24 heures.

Une fois les pelures séchées, on les passe dans un broyeur électrique de type “Moulinex”.

La poudre est soumise à un premier tamisage de diamètre d’1 mm, puis à un second tamisage d’un diamètre de 500 µm afin d’obtenir une poudre bien fine.

Les figures 3,4 et 5 représentent le processus de transformation des pelures de tomates :



Figure 3 : tomates fraîches



Figure 4 : pelures séchées



Figure 5 : poudre extraite

La figure 6 représente un schéma récapitulatif de l’ensemble du matériel végétal et de la méthodologie expérimentale :

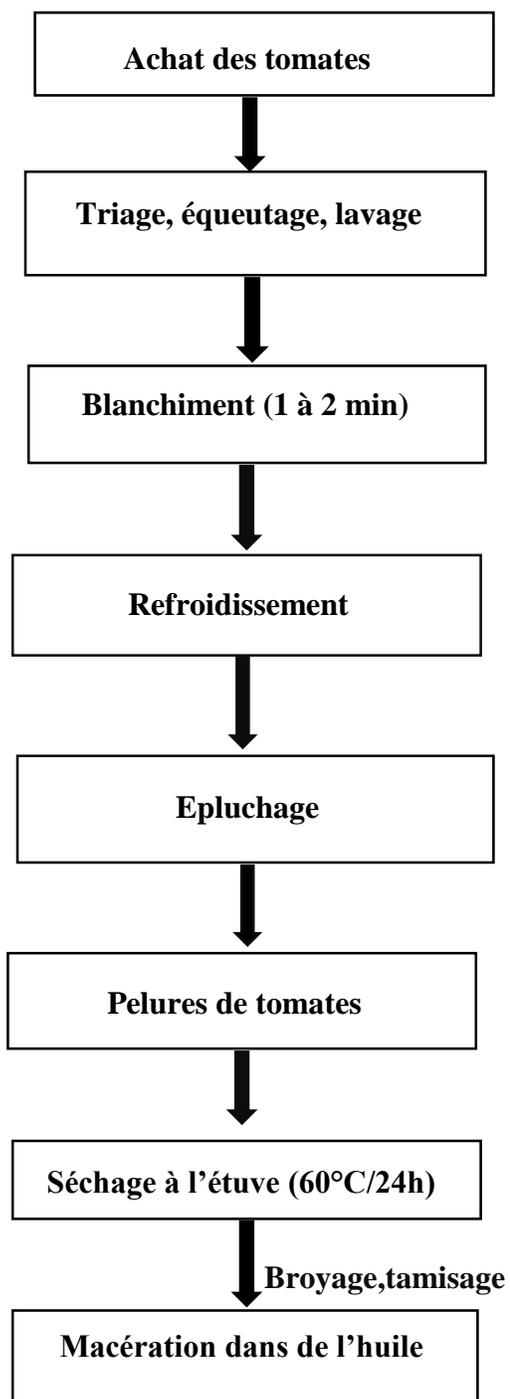


Figure 6 : Méthodologie expérimentale

II.1. 2. Caractérisation physico-chimique des pelures de tomates séchées

II.1.2.1. Détermination de la teneur en eau des pelures de tomates séchées (ISO 662,1998)

La perte de masse d'un produit, après chauffage à $100 \pm 2^\circ\text{C}$, est exprimée en pourcentage.

● Principe :

Il se repose sur la détermination du poids d'une prise d'essai avant et après séchage à une température de $100 \pm 2^\circ\text{C}$, et toute différence en poids indique la présence d'eau.

● Mode opératoire :

-Séchage des creusets vides à l'étuve pendant 30 minutes à $100 \pm 2^\circ\text{C}$

-Peser les creusets vides après refroidissement dans le dessiccateur

-Peser dans chaque creuset 2,5 g de l'échantillon et les placer dans l'étuve à $100 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 1heure.

-Retirer les creusets de l'étuve, les placer dans le dessiccateur et après refroidissement les peser. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant (en réduisant la température de séchage à 60°C) pour éviter une éventuelle caramélisation.

●Expression des résultats :

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(M1-M2)}{P} \times 100$$

Soit :

H% : Humidité

M1 : Masse de la capsule + matière fraîche avant séchage en g.

M 2 : Masse de l'ensemble après séchage en g.

P : Masse de la prise d'essai en gramme.

II.1.2.2. Détermination de la teneur en caroténoïdes des pelures séchées

● Principe :

La teneur en caroténoïdes est mesurée par spectrophotomètre à une absorbance de 450nm. Les concentrations des caroténoïdes sont estimées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la β -carotène comme standard, les résultats sont exprimés en :mg de β -carotène / g de matière sèche. La méthode utilisée est celle décrite par (Sass-Kiss *et al.*, 2005).

- **Mode opératoire :**

- On pèse 0,2g de poudre extraite
- On ajoute 20ml du mélange de solvants (hexane, acétone, éthanol : 2/1/1)
- La solution est laissée sous agitation mécanique pendant 30 min
- On centrifuge le mélange à 5000t/min pendant 5min
- On récupère 1ml du surnageant, puis on lui ajoute 9ml d'hexane
- On effectue une lecture à 450nm.

II.1.2.3. Extraction des caroténoïdes de la poudre de tomate

- **Principe :**

Comme première démarche, on a réalisé une immersion de la poudre extraite dans de l'huile de tournesol raffinée élaborée par « **Cevital Spa** ».

Le mélange a été laissé macérer pendant 7jours dans un endroit sombre avec une agitation mécanique.

- **Mode opératoire :**

- On a préparé 2 échantillons à différentes concentrations :
 - **1^{er} échantillon** : macérer 2,5g de poudre de tomate dans 100ml d'huile.
 - **2^{eme} échantillon** : macérer 5g de poudre de tomate dans 100ml d'huile.
- On introduit un barreau magnétique à l'intérieur de chaque flacon
- On opacifie chaque flacon avec une feuille de papier aluminium afin d'éviter toute source lumineuse.
- Les flacons sont soumis à une agitation mécanique pendant 7jours.
- L'huile est filtrée à l'aide d'un papier whatman, et stockée au frais (4°C) jusqu'à son utilisation.

II.1.2.4. Analyses effectuées sur l'huile enrichie en caroténoïdes

1-Détermination de l'indice de peroxyde (IP) de l'huile enrichie (ISO 3657, 2017)

L'indice de peroxyde est la quantité de produit présent dans l'échantillon, exprimée en milliéquivalent d'oxygène actif par 1000g de CG, oxydant l'iodure de potassium.

- **Principe :**

Son principe repose sur un traitement d'une quantité d'huile en solution dans l'acide acétique et chloroforme par une solution d'iodure de potassium, le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré.

● **Mode opératoire :**

- Pour préparer l'empois d'amidon, on pèse 1g d'amidon qu'on fait dissoudre dans 100ml d'eau distillée

-Dans un Erlenmeyer de 250ml, on pèse 2g d'huile auquel on ajoute :

*10ml de chloroforme

*15ml d'acide acétique

*1ml d'une solution d'iodure de potassium

- Fermer hermétiquement l'Erlen, en l'agitant correctement, et le placer à l'obscurité pendant 5min à une température ambiante.

-On ajoute 75ml d'eau distillée et quelques gouttes de l'indicateur coloré

-On titre avec le thiosulfate de sodium à 0,01N jusqu'à décoloration totale de la solution

-Parallèlement on effectue un essai à blanc (sans huile)

● **Expression des résultats :**

L'indice de peroxyde est calculé par la relation suivante :

$$IP_{(meq O_2 / Kg)} = N \times (V - V_0) \times 1000 / m$$

Soit :

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium

V : volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour le titrage

V₀ : volume initial de la solution thiosulfate de sodium

1000 : Facteur de conversion

m : masse de l'échantillon en gramme

2- Détermination de l'acidité titrable (ISO 1740, 1991)

● **Principe :**

Le principe consiste la mise en solution d'une prise d'essai dans un mélange de solvants, puis titrage des acides gras libres présents à l'aide d'une solution titrée d'hydroxydes de potassium (KOH).

● **Mode opératoire :**

-Dans un erlen, on pèse 2g d'huile

- On ajoute 20 ml du mélange d'éther- diéthylique + éthanol (95%) : 1/1

- On ajoute quelques gouttes de l'indicateur coloré (phénolphthaléine)
- On titre avec le KOH jusqu'au virage rose persistant
- On effectue un essai à blanc

● Expression des résultats :

L'acidité titrable est calculée avec la formule suivante :

$$A(\%) = \frac{56,1 \times N \times (V - V_0)}{P \times 2}$$

Soit :

N : normalité de la solution KOH

V : volume final

V₀ : Volume initial

P : poids de l'échantillon

3- Absorbance dans l'ultra-violet

● Principe :

Il s'agit de dissoudre la matière grasse dans le solvant nécessaire, puis de déterminer l'extinction de la solution à la longueur d'onde spécifiée, en utilisant le solvant pur. (**Bouhadjra, 2011**). La détermination de l'absorbance à 232 nm et au voisinage de 270 nm permet la détection des produits d'oxydation des acides gras insaturés.

● Mode opératoire :

La manipulation est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre Mono faisceau à cuve en Quartz :

- Dans des fioles de jauge on pèse 0,25 g d'huile macérée
- On ajuste jusqu'à 25 ml avec du cyclohexane
- On introduit l'échantillon ainsi préparé dans une cuve de 1 cm et procéder à la détermination de son absorbance par rapport à celle du solvant dans la cuve témoin.

4-Test de stabilité oxydative en utilisant le Rancimat

● Définition

Cette méthode est très utilisée dans les cahiers de charges pour évaluer la stabilité oxydative des matières grasses. La spécification de Temps d'Induction au test Rancimat (TIR), exprimé en heures correspond au temps pendant lequel la matière grasse a résisté à un stress oxydatif.

● Principe de ce test

Il consiste à faire vieillir prématurément les matières grasses par décomposition thermique à une température spécifiée. Elle se fait généralement à une température comprise entre 90°C et 120°C, sous un bullage intensif d'air. Les acides organiques issus de dégradation sont entraînés par un courant d'air et recueillis dans une fiole contenant de l'eau distillée, dans laquelle est immergée une électrode de mesure de la conductivité. Cette dernière est connectée à un dispositif de mesure d'enregistrement.

Le temps d'induction est déterminé par conductimètre. Il correspond au temps pendant lequel la matière grasse a résisté à un stress oxydatif. Les échantillons analysés sont chauffés jusqu'à une température de 110°C et le débit de gaz est de 10L/h.

II.2. Margarine

II.2.1. Élaboration de la margarine enrichie

La formulation de la margarine élaborée à l'échelle du laboratoire recherche et développement de Cevital Spa a été réalisée par l'ajout de notre huile de tournesol (2,5 % de poudre de pelures) à différentes quantités 1,15, 2,1 et 4,3 ml correspondant respectivement à : 23 ppm, 41 ppm et 60 ppm de caroténoïdes pour obtenir trois barquettes de 500g. Ces essais d'ajout d'antioxydant naturel visent à améliorer la stabilité de la margarine permettant ainsi une meilleure conservation et une qualité optimale pour les consommateurs.

La margarine élaborée, présentant une meilleure stabilité oxydative sera retenue et soumise à des analyses détaillées. Les résultats de ces analyses seront comparés au bulletin d'analyse d'une margarine témoin fourni par Cevital Spa.

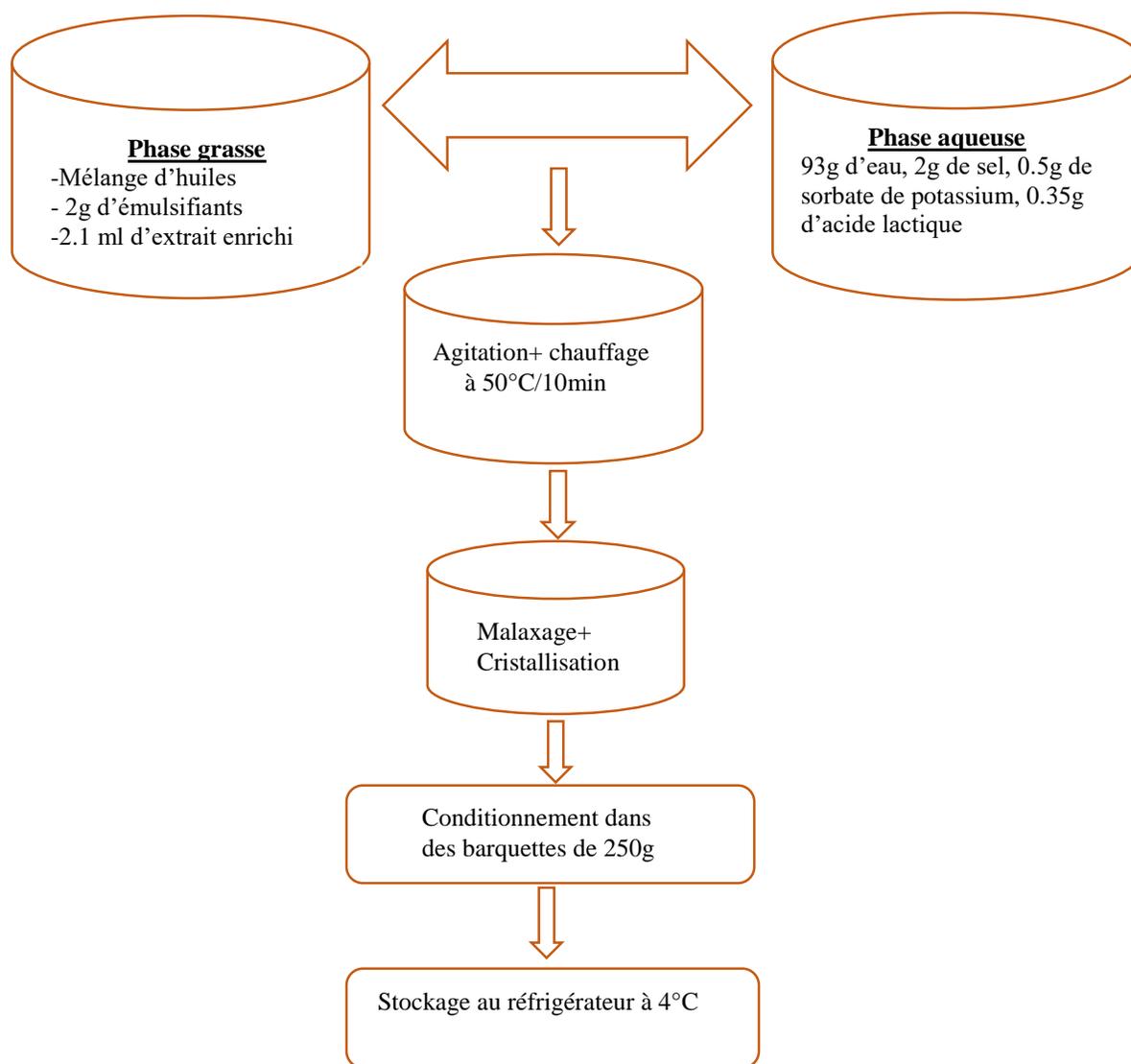


Figure 7 : schéma représentatif de fabrication de la margarine à l'échelle laboratoire

II.2.2. Analyses physico-chimiques effectués sur la margarine

1-Détermination de la teneur en eau (humidité) (H%)

Ce test a été précédemment décrit en : (II-1-2-1- Détermination de la teneur en eau des pelures de tomates séchées).

2-Détermination de la teneur en sel (Na Cl %) (ISO 662, 1998)

C'est la quantité de sel retrouvée dans un échantillon de margarine en vue d'analyse physique et chimique.

● Principe :

Les chlorures ou sels sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) et cela en présence de chromate de potassium (K_2CrO_4) comme Indicateur coloré, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge brique caractéristique de chromate d'argent.

● Mode opératoire :

On pèse 5g de margarine dans un erlenmeyer. On ajoute 100 ml d'eau distillée bouillante pour faire fondre la margarine. Après refroidissement, on ajoute quelques gouttes de chromate de potassium. On titre avec le nitrate d'argent AgNO_3 à 0,1N jusqu'à coloration rouge brique.

● Expression des résultats :

La teneur en sel (Na Cl) est calculée par la formule suivante :

$$\text{Na Cl (\%)} = \frac{V \times N \times Eq(\text{Na Cl})}{10 \times P}$$

Soit :

Na Cl (%) : Teneur en chlorure de sodium exprimé en pourcentage.

V : Volume de la solution de nitrate d'argent utilisé pour titrer.

N : Normalité de la solution de nitrate d'argent $N=0.1$.

P : Le poids en gramme, de la prise d'essai.

Eq : Équivalent en gramme de Na Cl=58,5.

3- Détermination de l'indice de peroxyde

Le mode opératoire pour IP a été précédemment décrits en : (II-1-2-4-1)

4-Détermination du pH (ISO 662,1998)

C'est la différence du potentiel à la température de mesure entre deux électrodes immergées dans la phase aqueuse de la margarine

- **Principe :**

Mesure de la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence dans la phase aqueuse séparée de la margarine fondue.

- **Mode opératoire :**

- Effectuer un étalonnage du pH mètre par l'eau distillée à pH = 7.
- Introduire l'électrode dans la phase aqueuse de la margarine à une température ambiante.
- Lorsque la lecture devient constante, on effectue une lecture de la valeur du pH indiqué par le pH mètre à 0.01 unités de pH près sur l'échelle de l'instrument.

5- Détermination du point de fusion (ISO 6321 :2002)

C'est la température à laquelle une matière grasse solidifie dans un tube capillaire, se ramollit jusqu'à tel point qu'elle remonte dans le tube.

- **Principe :**

C'est la détermination de la température maximale atteinte au cours de l'élévation temporaire de température ou lors de l'interruption du processus de refroidissement par les acides gras en fusion lorsqu'ils sont refroidis.

- **Mode opératoire :**

On fait fondre une quantité de margarine, puis l'introduire dans deux tubes capillaires en verre sur une hauteur de 1 cm, les refroidir au congélateur (20min). On fixe les deux capillaires à une pince en bois. La pince est suspendue sur les côtés du bécher et les deux capillaires sont immergés dans l'eau, ensuite le milieu est chauffé lentement (0,5°C/min) dans un bain marie.

On observe attentivement et noter la température à laquelle les colonnes d'huile commencent à remonter dans les tubes capillaires.

6-Détermination du taux de solide (SFC) par RMN (ISO 8292 T60-250, 1995)

Elle s'effectue à l'aide d'un spectromètre de résonance magnétique nucléaire (RMN) pulsée basse résolution, de type **Minispec mq 20**, Germany (**Villière, 2006**).

- **Principe :**

Consiste à déterminer le taux de solides dans la matière grasse à une certaine température, elle est réalisée par RMN (Résonance Magnétique Nucléaire). Le taux de solide est exprimé en pourcentage, il nous renseigne sur la caractéristique physique qui influence beaucoup les propriétés technologiques et sensorielles des corps gras.

- **Mode opératoire :**

La méthode standard consiste à faire préparer des tubes d'échantillons d'huiles bien mélangés après avoir fait fondre la margarine. Ces tubes doivent être remplis à hauteur de 3 cm. Après, on procède à des incubations : 15 min à 100°C, 5 min à 60°C, 60 min à 0°C, 30 min à 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °C en faisant la lecture pour chaque température. Les résultats sont donnés par le logiciel de l'appareil en pourcentage de solides.

- **Expression des résultats :**

Les résultats sont donnés par le logiciel de l'appareil en pourcentage de solides, ensuite on trace la courbe de SFC (%) en fonction de la température (°C).

7- Test de stabilité oxydative utilisant le Rancimat 743 (ISO 6886, 2006)

- **Mode opératoire :**

La stabilité de notre huile est déterminée à l'aide d'un appareil Rancimat Metrohm 743. Un flux d'air fixé à 10 l/h (Max 20l/h) traverse les 3 échantillons d'huile de $3\text{g} \pm 0,01\text{g}$ près chauffé à une température de 110 °C.

Les produits de dégradation de cette oxydation poussée, sont entraînés par un courant d'air et recueillis dans une cellule de mesure remplie d'eau distillée (60 ml) dans laquelle est immergée une électrode de la mesure de la conductivité électrique. L'électrode est connectée à un dispositif de mesure et d'enregistrement.

La fin de la période d'induction est indiquée lorsque la conductivité se met à augmenter rapidement, cette augmentation accélérée est provoquée par l'accumulation de produits volatils.

II.3. Analyse sensorielle

Dans cette étape, on a effectué une évaluation qui a déterminé la qualité de la margarine. Les critères évalués incluent : l'apparence, la texture, la flaveur (goût et odeur) et la sensation en bouche. Le personnel du laboratoire physico-chimique de la margarinerie au sein de Cevital a jugé la couleur, la brillance, la fermeté, l'onctuosité, la tartinabilité l'arôme, l'intensité et l'équilibre des saveurs, ainsi que la capacité de la margarine à fondre et à donner une sensation lisse en bouche.

II.4. Analyse statistique

Les déterminations ont été effectuées en double. Les valeurs des différents paramètres ont été exprimées sous la forme de moyenne \pm écart type. Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le logiciel Statistica 5.0 package (édition StatSoft'97) et la signification des différences entre les moyennes a été évaluée par le test de Newman et Keuls à $p < 0,05$.



Résultats et Discussion

III-1-Analyses physico-chimiques des pelures de tomates séchées

III.1.1. Teneur en eau

L'humidité nous permet de rapporter les résultats des constituants biochimiques de la matière sèche, une teneur faible en eau explique une teneur élevée en matières sèches. Notre poudre avec une valeur $4,25 \pm 0,20\%$ semble être conforme en se référant à la norme **FAO/WHO (1992)**, qui définit qu'une humidité inférieure à 5 % est un indicateur positif de sa qualité et de sa fiabilité pour une utilisation dans l'industrie alimentaire ou d'autres applications.

III.1.2. Détermination de la teneur en caroténoïdes des pelures séchées

La concentration en caroténoïdes (exprimée β -carotène/100 g MS) contenue dans la pelure de tomate séchée est de 8,49mg/100g. Elle s'insère dans l'intervalle trouvé par **Capanoglu et al. (2008)** qui peut varier de 4,5 mg/100 g à 12,3 mg/100 g, en fonction des conditions de séchage et des variétés de tomates utilisées. Des teneurs plus importantes ont été notées par d'autres auteurs ; **Albanese et al. (2014)** avait trouvé des teneurs de 2,89 mg de β carotène et 23,4 de lycopenne/100 g de matière sèche. La variation de la teneur en caroténoïdes de la tomate est probablement due à différents facteurs : le cultivar, la phase de maturation et les méthodes d'extraction utilisées (**Nour et al., 2018**).

III.2. Analyses effectuées sur l'huile enrichie en caroténoïdes

Le tableau suivant regroupe les résultats relatifs à la qualité et la teneur en caroténoïdes des huiles enrichies.

Tableau VII : Indices chimiques et teneur en caroténoïdes

Paramètre Echantillon	Indice de peroxyde (méq d'O ₂ /kg MG)	Acidité titrable (%)	Absorbance dans l'UV		Caroténoïdes (mg Eq β - carotène/100g d'huile)
			232nm	270nm	
Tournesol témoin	4,21± 0,2(a)	0,070± 0,01(a)	3,6 ± 0,02 (a)	3,16 ±0,002(a)	0,02± 0.01(a)
Tournesol 2,5 %	4,21± 0,15(a)	0,14 ±0.02 (b)	3,6± 0,05(a)	3,17±0,003(a)	1,46± 0,015(b)
Tournesol 5 %	4,21 ± 0,16(a)	0,14± 0.02 (b)	3,6 ± 0,00(a)	3,28± 0,002 (b)	2,2± 0 ,005 (c)

La moyenne dans chaque colonne avec des lettres différentes indique une différence significative (P < 0,05)

III.2.1. Acidité

Les résultats obtenus (**tableau VII**) montrent que la macération des pelures de tomate dans l'huile raffinée entraîne une augmentation légère mais significative de l'acidité. Son augmentation dans les échantillons enrichis en pelures de tomates s'explique par la libération d'acides gras libres. Ces acides gras peuvent être libérés par des enzymes naturelles présents dans les pelures de tomates ou par des processus de dégradation pendant la macération dans l'huile. Nos résultats ne concordent pas avec ceux de **Benakmoum et al. (2008)** qui n'ont pas noté de changement significatif de l'acidité lorsqu'ils incorporent la purée de tomate ou de la peau de tomate, même à 10 %, dans l'huile raffinée et l'huile d'olive extra vierge.

III.2.2. Indice de peroxyde et absorbances dans l'ultra-violet

L'indice de peroxyde est crucial pour évaluer la qualité de l'huile en termes d'oxydation primaire. Une valeur élevée d'indice de peroxyde indiquerait une huile potentiellement rance, ce qui peut affecter sa stabilité et sa durée de conservation. Dans notre cas, le fait que l'indice de peroxyde reste constant indique que la macération des pelures de tomates n'a pas induit une oxydation significative de l'huile de tournesol. Cela peut être attribué à la capacité antioxydante des composés présents dans les pelures de tomates, tels que les polyphénols et les caroténoïdes, qui peuvent protéger l'huile contre l'oxydation. **Benakmoum et al. (2008)** avaient noté que l'incorporation de purée ou de pelures de tomate n'a pas entraîné une augmentation de l'indice de peroxyde.

L'absorbance dans l'ultraviolet peut fournir des indications sur la qualité d'une matière grasse. Les valeurs d'absorbance à 232 nm sont similaires entre l'huile témoin et les échantillons enrichis, indiquant l'absence de changement dans les propriétés d'absorption à cette longueur d'onde (**Pinto et al., 2015**). À 270 nm, une différence significative est observée ($p < 0,05$) entre les Tournesol 5% et Tournesol 2,5 % alors qu'une différence non significative est notée entre le Tournesol témoin et le tournesol (2,5 %). Cette augmentation uniquement dans l'échantillon d'huile extrait avec 5 % de pelures de tomates traduit une légère formation de des produits secondaires d'oxydation qui absorbent la lumière vers 270 nm (**Tanouti et al., 2010**).

III.2.3. Teneur en caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes des huiles (**tableau VII**) tend à augmenter de manière significative, proportionnellement aux taux d'incorporation de pelures de tomate, reflétant la solubilité des caroténoïdes dans ces huiles. Nous avons observé une diffusivité plus élevée des caroténoïdes dans l'huile de tournesol raffinée à 5%. Les résultats statistiques montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons enrichis et le témoin. Cette macération pourrait avoir des implications positives en nutrition en améliorant potentiellement le profil antioxydant de l'huile de tournesol. Nos résultats sont inférieurs à ceux trouvés par **Nour et al. (2018)** qui ont noté des valeurs de 2,5 et 3,48 mg/100 g pour pourcentage similaires de 2,5 et 5 % de pelures des tomates. Selon **González-Casado et al. (2018)**, le stade de maturation affecte grandement la teneur en caroténoïdes, les fruits récoltés à un stade avancé contiennent plus de caroténoïdes et de lycopène mais également plus accessibles

III.2.4. Test de Rancimat

La stabilité de l'huile à l'oxydation est déterminée par le test Rancimat. Ce test mesure le temps d'induction des différentes huiles à 110 °C. Les résultats de la stabilité à l'oxydation de l'huile témoin et des huiles macérées dans 2,5% et 5% en pelures de tomates séchées sont représentés dans la **figure 8** :

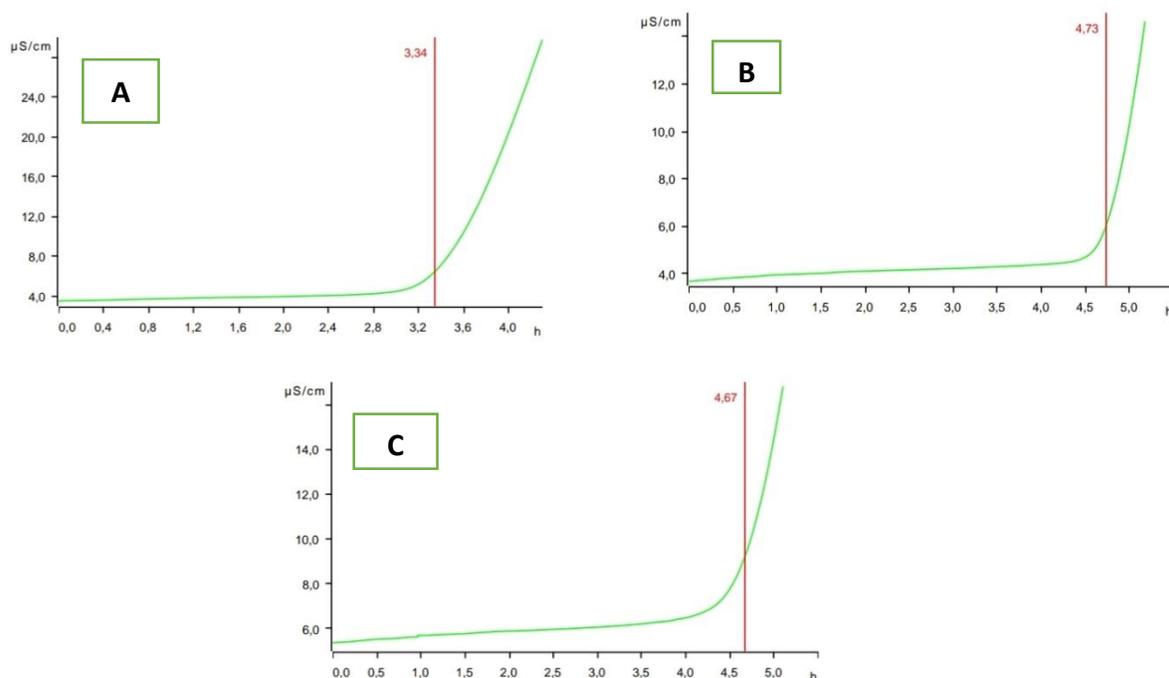


Figure 8 : Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat (temps d'induction en heures)

A : huile tournesol témoin

B : Tournesol à 2,5% de pelures de tomate

C : Tournesol à 5 % de pelures de tomate

Le temps d'induction de l'huile témoin et des huiles avec 2,5% et 5% de pelures sont respectivement de 3,34 h, 4,73 h et 4,67 h. On constate que l'huile à 2,5 % de pelures a une résistance oxydative supérieure ce qui indique une stabilisation efficace de l'huile. En revanche une concentration à 5 % de pelures n'as pas conduit à une amélioration supplémentaire de la stabilité oxydative en la comparant à celle de 2,5%. Ces résultats démontrent l'importance de déterminer une concentration optimale pour maximiser l'efficacité des antioxydants ajoutés à l'huile de tournesol. Les travaux antérieurs de **Benakmoum *et al.* (2008)** ont montré que l'extraction de caroténoïdes à partir de déchets de tomates sèches améliorerait la stabilité de certaines huiles (huile de maïs non raffinée, huile de tournesol raffinée et huile d'arachide). Ces auteurs ont conclu que l'enrichissement des huiles avec des caroténoïdes de tomate et du lycopène, en

particulier les huiles de faible qualité comme les huiles d'olive raffinées, pourrait être une approche alternative pour élaborer de nouveaux aliments fonctionnels.

III.3. Caractérisation d'une margarine enrichie

Sur la base des résultats du test de stabilité des huiles (le rancimat), l'échantillon de tournesol avec 2,5 % de pelures de tomate a été retenu pour être utilisé pour l'élaboration de la margarine en remplacement du β -carotène synthétique. Trois concentrations ont été utilisées, la margarine ayant montré la meilleure qualité a été analysée

III.3.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats d'analyses physico-chimiques de la margarine enrichie à raison de 41 ppm et de la margarine témoin (ajout du β -carotène) sont illustrés dans le **tableau VIII** :

Tableau VIII : Résultats des analyses physico-chimiques des margarines

Margarine	Normes	Témoin	Enrichie
Humidité (%)	Max 18	17,47	17,65
Point de fusion (°C)	34-38	37,6	37,2
Indice peroxyde (Meqg O ₂ / Kg)	Max 10	0,2	0,4
pH	3,5-5,5	5,47	5,43
Taux de sel (%)	0,3-0,4	0,38	0,35

III.3.1.1. La teneur en eau (Humidité %)

Selon les résultats obtenus, les teneurs en humidité de notre échantillons enrichie et de la margarine témoin sont très proches. Elle est de l'ordre de 17,65% pour la margarine enrichie et 17,47% pour la margarine témoin.

Le résultat de notre échantillon correspond aux critères fixés pour son élaboration, elle est conforme à la norme (**ISO 662 Troisième édition 15-04-2016**) qui dit que la teneur en eau ne doit pas dépasser 18%.

III.3.1.2. Point de fusion

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**).

Le point de fusion de la margarine enrichie (37,2°C) est proche du point de fusion de la margarine témoin (37,6°C). Ces valeurs sont conformes à la norme (**ISO 6321 Troisième édition 2021**). D'après **Ghotra et al. (2002)** le point de fusion de la margarine doit être fixée de manière à ce qu'elle soit fondante en bouche mais aussi plastique à la température ambiante pour supporter la tartinabilité.

III.3.1.3. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est un critère très utile et d'une sensibilité satisfaisante pour apprécier les premières étapes d'une détérioration oxydative (**Karleskind et Wolff, 1992**).

On remarque que la valeur de l'indice de peroxyde est de 0,2 Méq O₂/Kg pour la margarine témoin et de 0,4 Méq O₂/Kg pour la margarine enrichie. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme utilisée par l'entreprise qui est max10 Méq O₂/Kg (**ISO 3960 cinquième édition 2017**) et inférieure à 5 méq O₂/kg, maximum requis par les normes (**Karleskind, 1992**).

III.3.1.4. pH de la phase aqueuse

Le pH de la phase aqueuse pour les deux margarines témoin et enrichie sont de l'ordre 5,47 et 5,43 respectivement. On remarque que les valeurs sont très proches, est se trouvent dans l'intervalle acceptable en le comparant à la norme de l'entreprise qui se situe entre 3,5-5,5 (**NE.1.2.430/89**).

Selon **Karleskind et Wolff (1992)**, il est préférable de contrôler le pH de la phase aqueuse, car une valeur basse de ce dernier ralentit la croissance des microorganismes, en général, le pH varie entre 4,0 et 5,5.

III.3.1.5. Taux de sel

Il est crucial de mesurer le taux de sel, car en plus d'améliorer la sapidité, le sel peut également jouer un rôle protecteur (bactériostatique), mais aussi comme conservateur (**Chikhounne, 2010**). Selon **Frasch-Melnik et al. (2010)**, le sel joue également un rôle essentiel dans la stabilisation de l'émulsion.

Une légère différence est notée dans la teneur en sel des margarines, soit 0,38 pour la margarine témoin et 0,35 pour la margarine enrichie. Ces valeurs restent proches des normes fixées par l'entreprise qui se situe aux alentours de 0,3 à 0,4 (**NE.1.2.429/89**).

III.3.1.6. Taux de solides

L'indice SFC se rapporte au pourcentage des matières grasses qui sont solides à des températures différentes. Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau IX** :

Tableau IX : Évolution du taux de solide en fonction de la température

T°	5°C	10°C	15°C	20°C	25 °C	30°C	35°C	40°C
MT	44,5	39,2	32,1	25,6	16,7	10,7	6,8	2,8
ME	44,1	38,9	31,9	25,4	16,4	10,5	6,6	2,6

MT : Margarine Témoin

ME : Margarine Enrichie

Dans notre cas, nous avons constaté que les résultats de taux de solides des deux margarines sont quasiment les mêmes, nous remarquons une diminution du taux de solide en allant des basses températures (5°C) vers les hautes températures (40°C).

Les résultats obtenus par RMN confirment que notre margarine est de nature plastique et facile à tartiner. A 37°C, l'indice de SFC est inférieur à 6%, ce qui indique que notre margarine est fondante en bouche (Zidani, 2009).

III.3.2. Test de Rancimat

La stabilité oxydative est un paramètre important pour l'évaluation de la qualité des corps gras, car elle donne une bonne évaluation de leur susceptibilité à la dégradation, cause principale de leur changement (Aparicio *et al.*, 1999). La détérioration oxydative est l'un des facteurs les plus importants limitant la durée de conservation des produits gras, ce qui augmente la formation d'aldéhydes toxiques par la dégradation des acides gras polyinsaturés et réduit la valeur nutritionnelle des aliments.

Les résultats de la stabilité à l'oxydation de la margarine témoin et la margarine enrichie sont représentés dans la **figure 9** :

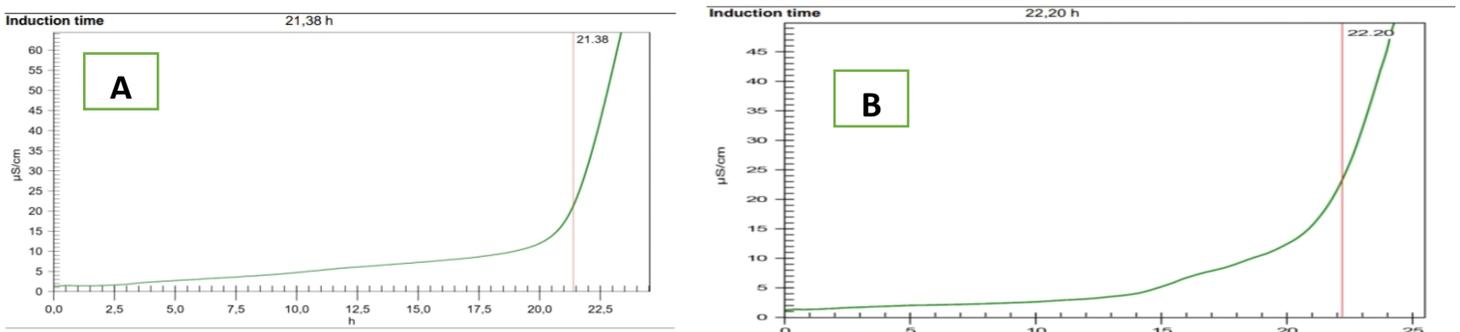


Figure 9 : Courbes de temps d'induction (test de Rancimat) des phases grasses des margarines

A : Margarine témoin

B : margarine enrichie

A partir des deux courbes, le temps d'induction de la margarine témoin et de la margarine enrichie est respectivement équivalent à 21,38h et 22,20h.

De là, nous pouvons dire que la margarine enrichie est celle qui présente une résistance à l'oxydation forcée légèrement meilleure par rapport à la margarine témoin ceci met en évidence l'efficacité de l'antioxydant naturel utilisé dont le rôle est non seulement de colorer le produit mais également de prolonger la durée de sa conservation.

Peu de travaux ont été réalisés sur les enrichissements des préparations grasses. **Abid et coll (2017)** ont évalué l'utilisation potentielle d'un extrait riche en lycopène, issu de sous-produits de la transformation des tomates, pour prolonger la durée de conservation d'un beurre tunisien traditionnel. La stabilité au stockage (pendant 60 jours de stockage à 4 C) du beurre enrichi a été nettement augmentée. Dans une étude similaire, l'utilisation potentielle du lycopène comme antioxydant naturel ajouté au beurre de mouton traditionnel jordanien a été démontrée (**Mai, et al., 2019**).

Une récente étude d'**Evanuarin et al. (2023)** avait conclu que là nano poudre de peau de tomate à 3 % est capable d'être un antioxydant naturel qui peut améliorer la qualité physico-chimique de la mayonnaise à faible teneur en matières grasses.

III.4. Analyse sensorielle

Les différents attributs jugés par le personnel du laboratoire sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau X : Évaluation sensorielle de la margarine enrichie :

Analyses	Couleur	Odeur	Texture	Dureté
Observations	Homogène (Légèrement jaune pâle)	Beurrée	Uniforme	Une certaine résistance mais très fondante à la bouche

L'analyse sensorielle effectuée par le personnel du laboratoire physico-chimique de la margarinerie au sein de **Cevital** fait ressortir que la margarine enrichie est d'une couleur homogène (jaune pâle), d'une consistance ni trop molle ni trop dure à température ambiante, ce qui est crucial pour assurer une bonne tartinabilité. En ce qui concerne la flaveur, elle semble satisfaire leurs exigences en termes de gout et d'odeur.



Figure 10 : Margarine enrichie en pelures de tomates séchées

Conclusion

La question du remplacement des additifs alimentaires synthétiques par des additifs naturels est de plus en plus présente dans les débats sur la santé publique et la nutrition. Les additifs alimentaires sont utilisés pour diverses raisons telles que la conservation, coloration, l'amélioration du goût, la texture et l'apparence des aliments. Cependant l'utilisation croissante de substances synthétiques a suscité des préoccupations quant à leurs effets potentiels sur la santé à long terme.

Les additifs alimentaires naturels provenant de sources végétales sont perçus comme des alternatives plus saines, l'exemple des caroténoïdes qui sont des composés bioactifs qu'on retrouve naturellement dans les fruits et légumes. Dans cette optique nous avons essayé de valoriser les pelures de tomate, un sous-produit encore largement sous-utilisé, en extrayant ses caroténoïdes pour évaluer leurs potentiel antioxydants dans une margarine formulée à **Cevital Spa**.

Le travail réalisé englobe en premier lieu l'étude de quelques caractéristiques physico-chimique des matières premières utilisées pour l'élaboration de la margarine telles que la teneur en caroténoïdes, acidité, indice peroxyde, UV et le test d'accélération à l'oxydation (Rancimat). Les résultats obtenus indiquent que la macération de la poudre des pelures de tomate, à raison de 2,5 %, dans l'huile de tournesol entraîne une amélioration significative de la stabilité oxydative de l'huile issue (4,73 heures) par rapport à l'huile de tournesol témoin (3,34 heures).

Le deuxième volet a été consacré à l'incorporation de l'huile enrichie précédemment citée dans la margarine selon une recette préétablie. Les indices de caractérisation de notre margarine révèlent : que l'indice du degré d'altération par oxydation (indice de peroxyde) est conforme aux normes. Le test d'accélération à l'oxydation (Rancimat) s'est également révèle positif. La margarine enrichie en caroténoïdes issues des pelures de tomates s'est avérée plus résistante (temps d'induction 22,20 h) à l'oxydation que la margarine témoin (21,38h).

L'extraction de déchets de tomates séchées dans l'huile végétale peut donner lieu à une huile fonctionnelle colorée qui pourrait être une source potentielle de caroténoïdes et d'autres composés bioactifs. L'ensemble des résultats obtenus lors de cette étude n'est qu'une première étape, il est donc pertinent d'approfondir cette étude en prenant en compte les aspects suivants :

- ✓ Réalisation du test de la stabilité oxydative (test de Schaal).
- ✓ Effectuer le test du pouvoir anti radicalaire.

- ✓ Dosages des composés phénoliques.
- ✓ Soumettre la poudre de tomate à une analyse microbiologique .
- ✓ Optimiser l'extraction des caroténoïdes en utilisant des techniques plus performantes et enrichir d'autres produits.

A

- ❖ Abid, Y., Azabou, S., Jridi, M., Khemakhem, I., Bouaziz, M., & Attia, H. (2017). Storage stability of traditional Tunisian butter enriched with antioxidant extract from tomato processing by-products. *Food Chemistry*, 233, 476-482.
- ❖ Acem K. (2016). Technologie des corps gras alimentaires. Edition Universitaires européennes. PP. 42-45.
- ❖ Adem, (2000). Comité national des coproduits. Fiche n°15- Écarts de fruits et légumes et coproduits de conserverie. Pulpe de tomate, Institut de l'Élevage.
- ❖ Aghel N., Ramezani, Z., & Amirfakhrian, S. (2011). Isolation and quantification of lycopene from tomato cultivated in dezfoul, Iran. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 6(1), 9-15.
- ❖ Aini I., N., Miskandar, M. S. (2007). Utilisation de l'huile de palme et des produits à base de palme dans les shortenings et les margarines. *Journal européen des sciences et technologies des lipides*, 109 (4), 422-432.
- ❖ Alias C., Linden, G., & Miclo, L. (2003). Biochimie alimentaire. 5ème édition de l'abrégé. *Dunod, Paris*.
- ❖ Ascenso, A. P. H. (2012). *Carrier-mediated dermal delivery for prevention or treatment of skin disorders* (Doctoral dissertation, Universidade de Lisboa (Portugal)).

B

- ❖ Bala, N., Saha, S., Chakraborty, M., Maiti, M., Das, S., Basu, R., & Nandy, P. (2015). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Hibiscus subdariffa leaf extract: effect of temperature on synthesis, anti-bacterial activity and anti-diabetic activity. *RSC Advances*, 5(7), 4993-5003.
- ❖ Barus C. (2008). Etude électrochimique de molécules antioxydantes et de leurs associations en milieu homogène et biphasique, application aux produits dermocosmétique. Thèse de l'université de Toulouse.

- ❖ Beecher, G. R. (1998). Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 218(2), 98-100.
- ❖ Berger M., 2006. Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : État des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, pp. 48-53.
- ❖ Boggio V., Nicklaus S., Chabanet C., Monnery Patris S., & Issanchou S. (2005). La formation des préférences alimentaires.
- ❖ Borguini R. G., & Ferraz Da Silva Torres E. A. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food reviews international*, 25(4), 313-325.
- ❖ Borwankar R. P., Frye L. A., Blaurock A. E., et Sasevich F. J. (1992). Caractérisation rhéologique de la fusion des margarines et des pâtes à tartiner. *Journal de génie alimentaire*, 16(1-2), 55-74.
- ❖ Bouhadjra K. (2011). Absorbance in the Ultraviolet: Principle and Methods. *Journal of Analytical Chemistry*, 66(7), 657-662.
- ❖ Boumendjel M., Houhamdi M., Samar M. F., Sabeg H., Boutebba A., & Soltane M. (2013). Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentré de tomate. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 38-48.
- ❖ Bouzaata C. (2016). Valorisation des sous-produits de quatre variétés de tomates industrielle (*Solanum esculentum* L) dans l'Est algérien. Thèse de doctorat en biologie végétale. Université d' Annaba.
- ❖ Briones-Labarca V., Giovagnoli-Vicuña C., & Cañas-Sarazúa R. (2019). Optimization of extraction yield, flavonoids and lycopene from tomato pulp by high hydrostatic pressure-assisted extraction. *Food chemistry*, 278, 751-759.

C

- ❖ Cheftel J-C. et Cheftel H. (1977). Les principaux systèmes biochimiques alimentaires comportement au cours des traitements. Dans « Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments ». Tec et Doc-Lavoisier, Paris, ISBN: 2-85206-827-3. 254- 264.

- ❖ Ciriminna R., Fidalgo A., Meneguzzo F., Ilharco L. M., & Pagliaro M. (2016). Lycopene: emerging production methods and applications of a valued carotenoid. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(3), 643650.

D

- ❖ Davies J. N., Hobson G. E., & McGlasson W. B. (1981). The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(3), 205-280.
- ❖ Della Corte L., & Sgaragli G. (1984). 2-t-Butyl-4-methoxyphenol (BHA) acute toxicity in rodents: influence of the administration route. *Pharmacological research communications*, 16(10), 1041-1047.
- ❖ Dell'Agli M., Buscialà A., & Bosisio E. (2004). Vascular effects of wine polyphenols. *Cardiovascular research*, 63(4), 593-602.
- ❖ Denek N., & Can, A. (2006). Feeding value of wet tomato pomace ensiled with wheat straw and wheat grain for Awassi sheep. *Small Ruminant Research*, 65(3), 260-265.

E

- ❖ Eslami E., Carpentieri S., Pataro G., & Ferrari G. (2022). A comprehensive overview of tomato processing by-product valorization by conventional methods versus emerging technologies. *Foods*, 12(1), 166.
- ❖ Evanuarini H., Susilo A., & Amertaningtyas D. (2023). The use of tomato peel nanopowder as a natural antioxidant in low-fat mayonnaise. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 81, p. 00004). EDP Sciences.

F

- ❖ FAO. (2007). FAOSTAT agriculture production database.(accessed 11.07).
- ❖ FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Agricultural Production Statistics." FAO. 2021.

- ❖ Farcas AC., Socaci SA., Michiu D., Biris S., Tofana M. (2019). Les déchets de tomates comme source de substances biologiquement actives.
- ❖ Faur L. (1992). Transformation des corps gras à des fins alimentaires. In « Manuel des corps gras ». Tec et Doc-Lavoisier, Paris. 2: 938- 984. ISBN: 2-85206-662-9.
- ❖ Faur L. (1996). Margarine technology. Oils and Fats Manual Karleskind, A. Vol. 2, Lavoisier Publishing, Paris: 938-987.
- ❖ François R. (1974). Margarine. Dans « Les industries des corps gras ». Tec et Doc Lavoisier, Paris, 290-291.
- ❖ Frankel E. (2005). Lipid oxidation, Bridgewater: Barnes PJ and associates. City : The oily press. Edition United kingdom
- ❖ Frusciante L., Carli P., Ercolano M. R., Pernice R., Di Matteo A., Fogliano V., & Pellegrini N. (2007). Antioxidant nutritional quality of tomato. *Molecular nutrition & food research*, 51(5), 609-617.

G

- ❖ Giovanelli G., & Paradiso A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7277-7281.
- ❖ Graille J. (2003). Lipides et corps gras alimentaires. Tec et Doc, Lavoisier, Paris. ISSN : 0243-5624. ISBN : 2-7430-0594-7. p1-183.
- ❖ Groubert J. P. (1984). Extraction of Thermosensitive Molecules by Maceration: Techniques and Considerations. *Journal of Natural Product Extraction*, 12(3), 45-52.

H

- ❖ Hamed D. (2023). Propriétés chimiques, biologiques et bienfaits santé, Thèse de doctorat en sciences alimentaires. Université Mostaganem.
- ❖ Ho K. K., Ferruzzi M. G., Liceaga A. M., & San Martín-González M. F. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 160-168.
- ❖ Ho K. K. H., Li L., & Jin Z. (2017). Microwave-assisted extraction (MAE) induces rapid heating of polar cellular components, enhancing lycopene migration into the extraction solvent. Additionally, the short treatment duration minimizes heat exposure to non-polar components. *Food Chemistry*, 221, 66-72.

- ❖ Hoellinger H. (2002). Introduction. In « Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires ». Lavoisier, Paris, 1-21.

I

- ❖ ISO 1740. (1991) Norme internationale, 1991. Méthode ISO 1740, 1991. Produits à matière grasse laitière et beurre-Détermination de l'acidité de la matière grasse Ed.2.
- ❖ ISO 8292 T60-250. (1995) Norme internationale, 1995. Méthode ISO 8292 T60-250, 1995. Corps gras d'origines animale et végétale-Détermination de la teneur en corps gras solides par RMN pulsée
- ❖ ISO 662.(1998) Norme internationale, 1998. Méthode ISO 662,1998. Corps gras d'origine animale et végétale- Détermination de la teneur en eau et en matières volatiles Ed.2.
- ❖ ISO 6321. (2002) Norme internationale, 2002. Méthode ISO 6321 :2002. Corps gras d'origines animale et végétale-Détermination du point de fusion en tube capillaire ouvert Ed.2.
- ❖ ISO 6886. (2006) Norme international, 2006. Méthode ISO 6886, 2006. Corps gras d'origines animale et végétale-Détermination de la stabilité à l'oxydation (essai d'oxydation accéléré) Ed.2.
- ❖ ISO 3657.(2017)Norme international, 2017. Méthode ISO 3657, 2013. Corps gras d'origines animale et végétale-Détermination de l'indice de saponification Ed.5.

J

- ❖ Jaswir, I., Noviendri, D., Hasrini, R. F., & Octavianti, F. (2011). Carotenoids: Sources, medicinal properties and their application in food and nutraceutical industry. *J. Med. Plants Res*, 5(33), 7119-7131.

K

- ❖ Karleskind A. (1992). Manuel des Corps Gras. Édition. Tech. et Doc., Paris, Tome 1 et 2, 1579 p.
- ❖ Kelkel M., Schumacher M., Dicato M., & Diederich M. (2011). Antioxidant and anti-proliferative properties of lycopene. *Free radical research*, 45(8), 925-940.
- ❖ Kong K. W., Khoo H. E., Prasad K. N., Ismail A., Tan C. P., & Rajab N. F. (2010). Revealing the power of the natural red pigment lycopene. *Molecules*, 15(2), 959-987.

- ❖ Kumar K. S., Paswan S., & Srivastava S. (2012). Tomato-a natural medicine and its health benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(1), 33-43.

L

- ❖ Lassad H. (2010). Les antioxydants dans les aliments. Universités du 7 novembre Carthage Tunis.
- ❖ Leonardi C., Ambrosino P., Esposito F., & Fogliano V. (2001). Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4723-4727.
- ❖ Li Z., & Yu F. (2023). Recent advances in lycopene for food preservation and shelf-life extension. *Foods*, 12(16), 3121.
- ❖ Lima J. F. F. L. (2015). *Application et définition de méthodologies pour l'amélioration continue dans le procédé de production dans le domaine des margarines* (Mémoire de master). Universidade Nova de Lisboa.
- ❖ Luterotti S., Bicanic D., & Požgaj R. (2006). New simple spectrophotometric assay of total carotenes in margarines. *Analytica chimica acta*, 573, 466-473.

M

- ❖ MADR. (2009). (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), Direction des statistiques. P21.
- ❖ Mai, A. A., Al Dajah, S., Murad, A. A., El-Salem, A. M., & Khafajah, A. M. (2019). Extraction, purification, and characterization of lycopene from Jordanian vine tomato cultivar, and study of its potential natural antioxidant effect on Samen Baladi. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(2), 532.
- ❖ Martin S., Andriantsitohaina R. (2002). Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium, annales de cardiologie et d'angéologie. Edition Masson, Elsevier, France, 51. PP. 304-315.
- ❖ Mikanowski L.Mikanowski P.(1999).Tomate. P89-93.
- ❖ Miskandar M. S., Man Y. B. C., Yusoff M. S. A., et Rahman R. A.(2002). Effet de la température de l'émulsion sur les propriétés physiques de la margarine à base d'huile de palme. *Journal de la Société américaine des chimistes pétroliers*, 79(12).

N

- ❖ Nobre B. P., Gouveia L., Matos P. G., Cristino A. F., Palavra A. F., & Mendes R. L. (2012). Supercritical extraction of lycopene from tomato industrial wastes with ethane. *Molecules*, 17(7), 8397-8407 .
- ❖ Nour V., Corbu A. R., Rotaru P., Karageorgou I., & Lalas S. (2018). Effect of carotenoids, extracted from dry tomato waste, on the stability and characteristics of various vegetable oils. *Grasas y Aceites*, 69(1), e238-e238
- ❖ Nour V., Panaite TD, Ropota M., Turcu R., Trandafir I., Corbu AR.(2018). Composés nutritionnels et bioactifs dans les déchets de transformation des tomates séchées, *CyTA-Journal of Food*, 16, 222-229.

P

- ❖ Prior E., 2003. Usage des corps gras alimentaires dans les différents secteurs de la technologie « alimentaire.Lipides et corps gras alimentaires»Graille J. 1^{er} Édition. pp. 87-147.

R

- ❖ Raffy L.(2006). La tomate et ses secrets de famille. *Equation Nutrition*, vol. 55, n.5, p.3.
- ❖ Rao A.V.(2006). Lycopène. *FOOD AND NUTRITION RESEARCH*. 10.1016/S1043-4526(06)51002-2.
- ❖ Rao A.V., & Rao L.G.(2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological research*, 55(3), 207-216.
- ❖ Rice-Evans C., Miller N., & Paganga G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in plant science*, 2(4), 152-159.

S

- ❖ Sahin K., Yenice E., Bilir B., Orhan C., Tuzcu M., Sahin N., ... & Kucuk O. (2019). Genistein prevents development of spontaneous ovarian cancer and inhibits tumor growth in hen model. *Cancer Prevention Research*, 12(3), 135-146.

- ❖ Saillard M. (2010). Margarines et matières herbes tartinables. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 45(5), 274–280.
- ❖ 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.
- ❖ Sekouba C. (2020), Contribution à l'étude des aleurodes de tomate dans la région de Tlemcen (Doctoral dissertation).
- ❖ Silva, YPA, Borba, BC, Pereira, VA, Reis, MG, Caliari, M., Brooks, MSL, Ferreira, TAPC (2018). Caractérisation du sous-produit de la transformation de la tomate pour utilisation comme ingrédient alimentaire fonctionnel potentiel : composition nutritionnelle, activité antioxydante et composés bioactifs. *Revue internationale des sciences de l'alimentation et de la nutrition*.
- ❖ Snoussi S.A. (2010). Etude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de mission programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. Rome, 52p.
- ❖ Socaci S. A., Farcas A.C., Vodnar D.C., & Tofana M. (2017). Food wastes as valuable sources of bioactive molecules. *Superfood and Functional Food—The Development of Superfoods and Their Roles as Medicine. Rijeka, Croatia: InTech*, 23(1), 75-93.
- ❖ Soto M. L., Parada M., Falqué E., & Domínguez H. (2018). Personal-care products formulated with natural antioxidant extracts. *Cosmetics*, 5(1), 13.
- ❖ Stojiljkovic N., Ilic S., Jakovljevic V., Stojanovic N., Stojnev S., Kocic H., ... & Kocic G. (2018). The encapsulation of lycopene in nanoliposomes enhances its protective potential in methotrexate-induced kidney injury model. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2018(1), 2627917.
- ❖ Szabo K., Dulf F. V., Teleky B.E., Eleni P., Boukouvalas C., Krokida M., et al.,(2021). Evaluation of the bioactive compounds found in tomato seed oil and tomato peels influenced by industrial heat treatments. *Foods*, 10(1),100.

T

- ❖ Toor, R. K., Lister, C. E., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activities of New Zealand-grown tomatoes. *International journal of food sciences and nutrition*, 56(8), 597-605.

- ❖ Toufouti Z.H.(2013). Contribution à l'étude de la maladie bactérienne de tomate(*hypersiumesculentum* Mill) cultivée en serre dans l'Est de l'Algérie. Université de Constantine.

V

- ❖ Vaughan J., & Geissler C. (2009). *The new Oxford book of food plants*. OUP Oxford.
- ❖ Vila E., Hornero-Méndez D., Azziz G., Lareo C., & Saravia V. (2019). Carotenoids from heterotrophic bacteria isolated from fildes peninsula, king george island, antarctica. *Biotechnology Reports*, 21, e00306.
- ❖ Villière A. (2006). Determination of Solid Fat Content (SFC) by NMR : Using a Low-Resolution Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer, minispec mq 20, Germany. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2), 115-123.

W

- ❖ Warner K., Frankel E. N., & Mounts T. L. (1989). Flavor and oxidative stability of soybean, sunflower and low erucic acid rapeseed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 66(4), 558-564.
- ❖ Weber E.W., Maus M. V., & Mackall C. L. (2020). The emerging landscape of immune cell therapies. *Cell*, 181(1), 46-62.

Z

- ❖ Zidani S. (2009). Valorisation des pelures de tomates séchées en vue de leur incorporation dans la margarine, Université M'hamed Bougara de Boumerdès.

Annexe I
Présentation de l'organisme :



Créée en mai 1998, CEVITAL qui est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie. Société par actions au capital privé de 400 milliards de DA et un chiffre d'affaires de 4 milliards de dollars (en 2015).

Fondé par Mr Isaad Rebrab, le Groupe CEVITAL est un groupe familial bâtisur 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 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.

Portée par 18 000 collaborateurs dont 15 000 en Algérie, l'entité s'est constituée au fil des investissements autour de l'idée forte de bâtir un modèle économique qui sied à l'économie algérienne. Le groupe CEVITAL a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre cette taille et cette notoriété d'aujourd'hui en continuant à œuvrer dans la création d'emplois et de richesse.

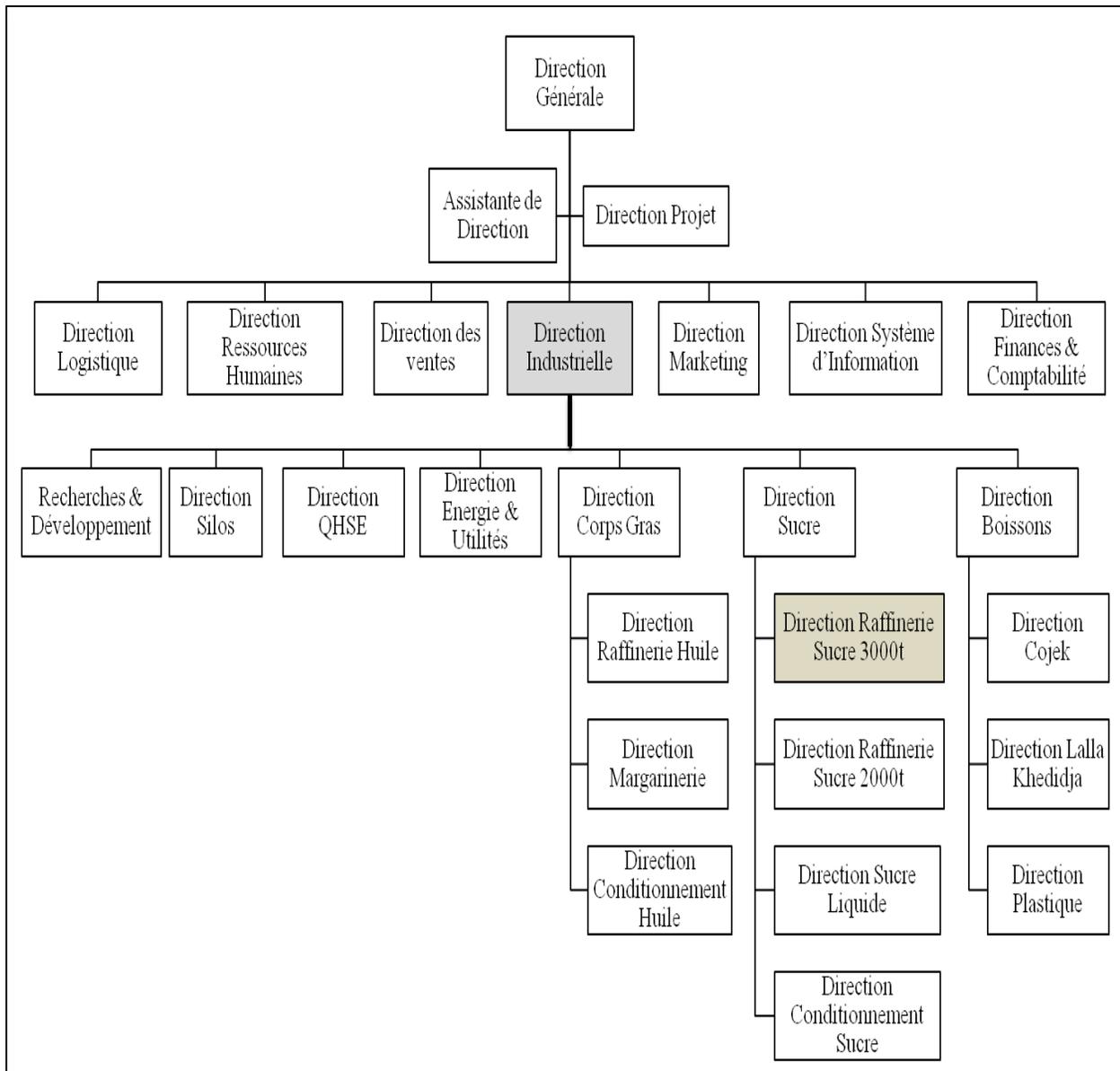


Figure1 : Organigramme du complexe Cevital spa

Annexe II



Figure 2 : Huile enrichie à 2,5%



Figure 3 : Huile enrichie à 5%

Annexe

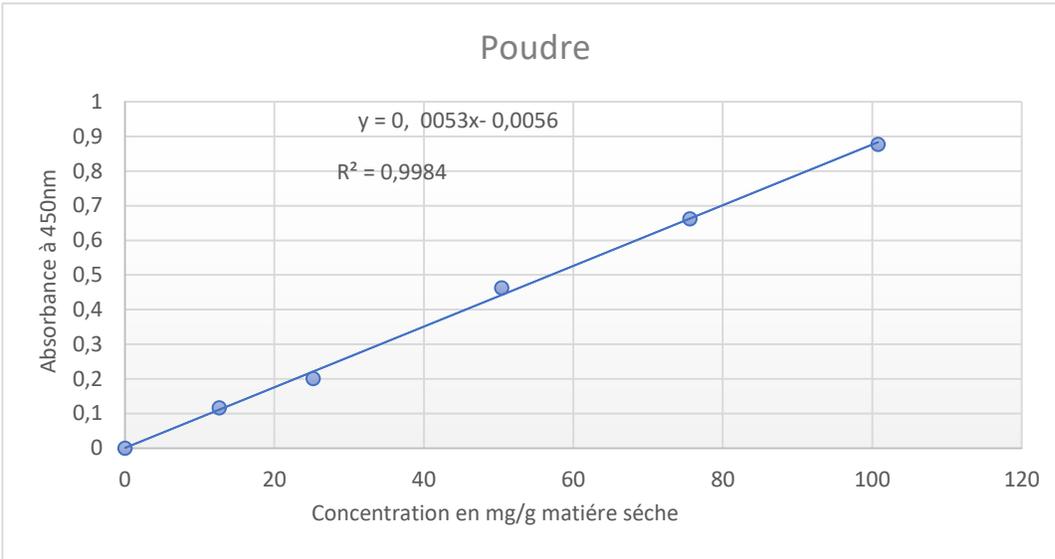


Figure 4: Courbe d'étalonnage des caroténoïdes (mg Eq β -carotène/g matière sèche)

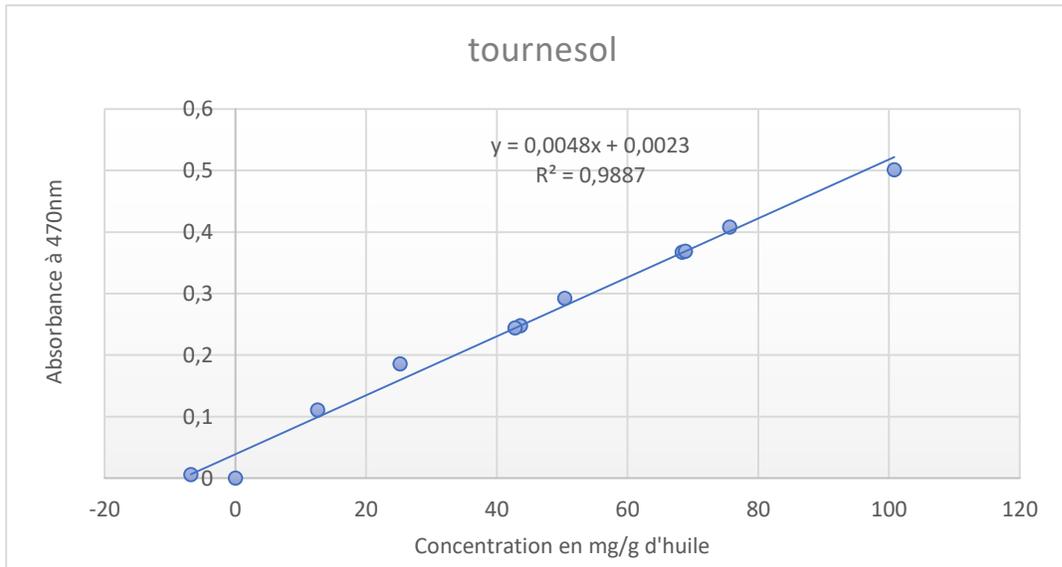


Figure 5 : Courbe d'étalonnage des caroténoïdes (mg Eq β -carotène/g d'huile)

Résumé :

La margarine est particulièrement sensible à l'auto-oxydation en raison de la présence d'acides gras insaturés, processus qui est catalysé par la lumière, la chaleur et les traces de métaux lourds. Pour minimiser cette oxydation, l'incorporation d'antioxydants est essentielle. Nous avons procédé à l'extraction des caroténoïdes contenus dans les pelures de tomates en l'huile de tournesol à deux concentrations : 2,5 %, 5 %.

La caractérisation de ces extraits a révélé une richesse significative des huiles obtenues en caroténoïdes et une amélioration significative de la stabilité oxydative pour l'échantillon 2,5%. Lors de l'incorporation de ces caroténoïdes dans la formulation de la margarine, nous avons observé une conformité des propriétés physico-chimiques et une amélioration significative de la stabilité oxydative du produit fini.

L'addition des caroténoïdes extraits a significativement amélioré la résistance oxydative de la margarine, démontrant l'efficacité de cette approche pour prolonger la durée de conservation du produit tout en maintenant ses qualités nutritionnelles et sensorielles.

Mots clés : auto-oxydation, antioxydants, caroténoïdes, pelures de tomate, stabilité oxydative.

Abstract:

Margarine is particularly sensitive to auto-oxidation due to the presence of unsaturated fatty acids, a process that is catalyzed by light, heat and traces of heavy metals. To minimize this oxidation, the incorporation of antioxidants is essential. We extracted the carotenoids contained in tomato peels in sunflower oil at two concentrations: 2,5%, 5%.

The characterization of these extracts revealed a significant richness of the oils obtained in carotenoids and a significant improvement in the oxidative stability for the 2.5% sample. When incorporating these carotenoids into the margarine formulation, we observed a conformity of the physicochemical properties and an improvement in the oxidative stability of the finished product.

The addition of extracted carotenoids significantly improved the oxidative resistance of margarine, demonstrating the effectiveness of this approach to extend the shelf life of the product while maintaining its nutritional and sensory qualities.

Key words: auto-oxidation, antioxidants, carotenoids, tomato peels, oxidative stability

ملخص:

السمن معرض بشكل خاص للأكسدة الذاتية بسبب وجود الأحماض الدهنية غير المشبعة، وهي عملية يتم تحفيزها بالضوء والحرارة وأثار المعادن الثقيلة. لتقليل هذه الأكسدة، يعد دمج مضادات الأكسدة أمرًا ضروريًا. قمنا باستخلاص الكاروتينات الموجودة في قشور الطماطم إلى زيت دوار الشمس بتركيزين: 2.5%، 5%.

كشفت توصيف هذه المستخلصات عن ثراء كبير في الزيوت التي تم الحصول عليها في الكاروتينات وتحسن كبير في الاستقرار التأكسدي للعينة 2.5%. عند دمج هذه الكاروتينات في تركيبة السمن، لاحظنا توافق الخواص الفيزيائية والكيميائية وتحسن كبير في الاستقرار التأكسدي للمنتج النهائي.

أدت إضافة الكاروتينات المستخرجة إلى تحسين المقاومة التأكسدية للسمن بشكل ملحوظ، مما يدل على فعالية هذا النهج في إطالة العمر الافتراضي للمنتج مع الحفاظ على صفاته الغذائية والحسية.

الكلمات المفتاحية: الأكسدة الذاتية، مضادات الأكسدة، الكاروتينات، قشور الطماطم، الثبات التأكسدي.

