

*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*

**Composition en acide gras et propriétés physico-  
chimique de quelques margarines**

**Présenté par :**

**Azzouz Dahbia & Rahmani Ahlam**

**Soutenu le : 03/07/2024**

Devant le jury composé de :

M. Lehouche R.	MCB	Examinatrice
M. Tamendjari A.	PR	Encadreur
M. Tafinine Z.	MCA	Présidente

**Année universitaire : 2023 / 2024**

## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous tenant à exprimer toute notre gratitude à Dieu tous puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la patience pour réaliser ce travail dans les meilleures des conditions.*

*Nus exprime nos respects et nos gratitudes à notre promoteur Mr TAMENDJARI. A pour son disponibilité et son suivie et pour avoir accepté de nos encadrer et d'avoir suivi notre travail avec une extrême bienveillance*

*Nous remercions notre examinatrice Mme LEHOUCHE.R pour avoir accepté d'examiner notre travail, ainsi que la présidente Mme TAFININE.Z de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.*

*Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de Mr AZZOUZ .L chef de l'unité de margarinerie et Mme BOUALITS chef du laboratoire physicochimique et toute l'équipe du laboratoire, nous lui adresse notre vifs remerciements et reconnaissances pour ses précieux conseils et sa disponibilité durant notre stage pratique, Nous tenant également remercions tous les enseignants de notre institut.*

*Enfin nos remerciements sont adressés plus particulièrement à nos familles et nos amis(es) qui ont su nous soutenir, nous encourager, nous aider et nous supporter tout au long des années.*



## *Dédicace*

*Au nom du bon Dieu tout puissant qui m'a donné le courage et la patience afin de réaliser ce modeste travail, je dédie :*

*A Mes très chers parents « Nouara » et « Messouad » à qui je dois tout ce que je suis aujourd'hui, je souhaite exprimer toute ma reconnaissance sincère et mon amour.*

*A mes meilleurs frères : Abd laziz, Rabia, Layachi et Ismail ; à qui je souhaite beaucoup de succès dans leur vie.*

*A mes adorables sœurs : zahia et nadjjet que j'aime profondément*

*A ma meilleure copine Didou*

*A Toute ma grande famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes Cousines*

*A tous mes ami(e)s*

*A ma binôme Ahlam et sa famille*

*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin*

*Dahbia*



## *Dédicaces*

*C'est avec profonde gratitude que je dédie cet humble travail :*

*À la mémoire de mon père que j'aurais aimé qu'il soit parmi nous, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*Je dédie particulièrement ce modeste travail à ma très chère maman sans elle je ne serais pas là, pour son soutien et ses conseils judicieux qui m'ont éclairé le chemin, que Dieu la protège pour moi.*

*À mes frères et à ma sœur.*

*À ma petite famille, aucun mot ne pourra exprimer mes sentiments et reconnaissance envers vous pour tout ce que vous m'avez fait et donné pour moi, pour les valeurs que vous m'avez inculquées.*

*À ma binôme Dahbia et sa famille.*

*À tous mes amis et collègues sans exception.*

*Ahlam*

# Sommaire

Liste des abréviations.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Introduction générale.....1

## *Partie théorique*

### **Chapitre I : Généralités sur les corps gras et traitements de modification des huiles**

I-1-définition des corps gras.....	3
I-2-Classification des corps gras.....	3
I-2-1- Classification en fonction de leur nature .....	3
I-2-2- Classification en fonction de leurs origines .....	3
I-2-2-1-Huiles et graisses animales .....	3
I-2-2- 2-Huiles et graisses végétales.....	3
I-3-Définition des acides gras.....	4
I-4-Classification des acides gras.....	4
I-4-1-Les acides gras saturés.....	4
I-4-2-Les acides gras insaturés .....	4
I-4-2-1-Les acides gras moninsaturés.....	5
I-4-2-2-Les acides gras polyinsaturés.....	5
I-4-2-3-Les acides gras insaturés Trans.....	6
I-5-Traitements de modification.....	6
I-5-1-Hydrogénation.....	7
I-5-2-Interestérisation.....	8
I-5-3Fractionnement.....	9

### **Chapitre II : La margarine**

II-1-Historique.....	10
II-2-Définition.....	10

<b>II-3-Composition de la margarine .....</b>	<b>10</b>
<b>II-4-Classification de la margarine.....</b>	<b>11</b>
<b>II-5-Fabrication de la margarine.....</b>	<b>11</b>
<b>II- 5-1-Préparation de la charge .....</b>	<b>11</b>
<b>II-5-1-1- Préparation de la phase grasse (continue).....</b>	<b>11</b>
<b>II-5-1-2- Préparation de la phase aqueuse (dispersé).....</b>	<b>12</b>
<b>II-5-2-Processus de fabrication de la margarine.....</b>	<b>14</b>
<b>II-6-Propriétés physique de la margarine.....</b>	<b>15</b>
<b>II-7-Aspects nutritionnels de la margarine.....</b>	<b>17</b>
<b>II-8-Stabilité des margarines au cours du stockage.....</b>	<b>17</b>
<b>II-9-Facteurs de détérioration.....</b>	<b>18</b>
<b>II-10-Aspects réglementaires et législation.....</b>	<b>18</b>

## *Partie pratique*

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

<b>III-1-Obejctif du travail et présentation de l’organisme d’accueil.....</b>	<b>21</b>
<b>III-2-Echantillonnage des margarines.....</b>	<b>21</b>
<b>III-2-1-Date de fabrication et de péremption.....</b>	<b>21</b>
<b>III-2-2-Composition.....</b>	<b>22</b>
<b>III-3-Méthodes d’analyses.....</b>	<b>23</b>
<b>III-3-1-Analyses physiques .....</b>	<b>23</b>
<b>III-3-1-1-Détermination de point de fusion.....</b>	<b>23</b>
<b>III-3-1-2- Détermination de la teneur en eau (humidité).....</b>	<b>23</b>
<b>III-3-1-3- Détermination du pH de la phase aqueuse par la méthode potentiometrique.....</b>	<b>24</b>
<b>III-3-1-4- Détermination du taux de solide par SFC (Solid Fact Content).....</b>	<b>25</b>
<b>III-3-2-Analyses chimiques.....</b>	<b>25</b>
<b>III-3-2-1-Détermination la teneur en sel.....</b>	<b>25</b>
<b>III-3-2-2- Détermination de l’indice de peroxyde.....</b>	<b>26</b>
<b>III-3-2-3- Détermination de l’acidité.....</b>	<b>27</b>

<b>III-4-</b> Détermination de la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG).....	28
<b>III-5-</b> Détermination d'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI).....	29
<b>III-6-</b> Test d'oxydation accélérée (Test au Rancimat).....	30
<b>III-7-</b> Analyses organoleptiques.....	31
<b>III-8-</b> Analyse statistique.....	31

## **Chapitre IV : Résultats et discussions**

<b>IV-1-</b> Analyses physiques .....	32
<b>IV-1-1-</b> Point de fusion .....	32
<b>IV-1-2-</b> Teneur en eau (humidité).....	32
<b>IV-1-3-</b> pH de la phase aqueuse.....	33
<b>IV-1-4-</b> Taux de solide par SFC (Solid Fact Content).....	34
<b>IV-2-</b> Analyses chimiques.....	36
<b>IV-2-1-</b> Détermination la teneur en sel.....	36
<b>IV-2-2-</b> Détermination de l'indice de peroxyde.....	36
<b>IV-2-3-</b> Détermination de l'acidité.....	37
<b>IV-3-</b> Résultats de la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG).....	38
<b>VI-4-</b> Détermination d'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI).....	41
<b>VI-5-</b> Résultats du Test d'oxydation accéléré (Test au Rancimat).....	42
<b>VI-6-</b> Analyses organoleptiques.....	44
<b>Conclusion</b> .....	45

## **Références bibliographiques**

### **Annexes**

### **Résumé**

# Liste des abréviations

**AG** : Acide Gras.

**AGCC** : Acides Gras à Chaîne Courte

**AGI** : Acide Gras Insaturés.

**AGLC** : Acides Gras à Longue Chaîne

**AGMI** : Acide Gras Mono Insaturés.

**AGPI** : Acide Gras Poly Insaturés.

**AGS** : Acide Gras Saturés.

**AGT** : Acide Gras Trans.

**AI** : Indice Athérogène

**CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse.

**HDL** : High Density Lipoprotein.

**LDL** : Low Density Lipoprotein.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire.

**SFA** : saturated fatty acids

**SFC** :(Solide Fat Content) ou le Taux de solide.

**TFA** : Trans Fatty Acid.

**TI** : Indice thrombogénicité

# Liste des figures

- **Figure 01** : Formule développée d'un acide gras .....4
- **Figure 02** : Configuration Cis et Trans de la double liaison dans les acides gras insaturés.....6
- **Figure 03** : Réaction d'Interstérification.....8
- **Figure 04** : Classification des margarines disponibles sur le marché mondial.....11
- **Figure 05** : Pourcentage de pays dans le monde et politiques mises en œuvre pour réduire les acides gras trans dans les huiles et graisses végétales.....19
- **Figure 06** : Photographie du Rancimat Metrohm 743, du complexe agroalimentaire CEVITAL.....28
- **Figure 07** : Schéma d'un chromatographe.....31
- **Figure 08** : Point de fusion des différents types de margarines.....32
- **Figure 09** : Humidité des différents types de margarines.....33
- **Figure 10**: pH des différents types de margarines.....34
- **Figure 11** : Les variations de taux de solide en fonction de la température des différents types de margarines.....35
- **Figure 12** : Teneur en sel des différents types de margarines analysées.....36
- **Figure 13** : L'indice de peroxyde des quatre margarines.....37
- **Figure 14** : Indice d'acide des différentes quatre margarines.....37
- **Figure15** : L'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI) des quatre margarines analysées.....42
- **Figure 16** : Diagramme des résultats du test d'oxydabilité accélérée (Teste au Rancimat) .....43

## Liste des figures en annexe

<b>Figure 01 :</b> Diagramme de processus de fabrication et du conditionnement de la margarine.....	Annexe I
<b>Figure 02 :</b> Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine A.....	Annexe II
<b>Figure 03 :</b> Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine B.....	Annexe II
<b>Figure 04 :</b> Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine C .....	Annexe II
<b>Figure 05 :</b> Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine D .....	Annexe II
<b>Figure 06 :</b> Chromatogramme de l'échantillon A.....	Annexe III
<b>Figure 07 :</b> Chromatogramme de l'échantillon B.....	Annexe III
<b>Figure 08 :</b> Chromatogramme de l'échantillon C .....	Annexe III
<b>Figure 09 :</b> Chromatogramme de l'échantillon D .....	Annexe III
<b>Figure 10 :</b> photographie de quelques échantillons et quelques matériels utiliser dans laboratoire.....	Annexe IV

# Liste des tableaux

- **Tableau I :** Teneurs en acides gras des graisses concrètes (huiles solides) (en pourcentage des acides gras totaux).....5
- **Tableau II :** Teneurs en acides gras des huiles végétales courantes (en pourcentage des acides gras totaux) .....6
- **Tableau III :** Teneur en acides gras trans, saturés, monoinsaturés et polyinsaturés dans les margarines de quelques pays, à différentes périodes. Les valeurs entre parenthèses représentent la valeur moyenne.....20
- **Tableau IV :** Date de fabrication et de péremption des différentes margarines.....22
- **Tableau V :** Composition des différentes margarines analysées.....22
- **Tableau VI :** Composition moyenne en acides gras des différentes margarines (en % des acides gras totaux) .....38
- **Tableau VII :** Résultats des analyses organoleptique des quatre margarines analysées.....44

# **Introduction Générale**

Les matières grasses ou lipides sont des aliments énergétiques et une source de composés indispensables à la vie : acides gras et vitamines, qui nécessitent un apport exogène par l'alimentation (**Birouk et al., 2007**). Les huiles et graisses végétales jouent un rôle majeur dans notre alimentation ; nous les consommons directement sous forme d'huile raffinée ou vierge, ou bien indirectement via de nombreux produits de l'industrie agroalimentaire (**Xavier, 2008**).

Les margarines sont considérées comme des émulsions eau dans l'huile et ont été introduites comme une alternative économiquement viable au beurre (**Rajah, 2014**). Les margarines sont un marché en pleine expansion dans le monde entier en raison de leur commercialisation à grande échelle, de leur coût réduit, de la croissance des marchés de la boulangerie et de la confiserie et de l'indépendance saisonnière (**Silva et al., 2018**).

Pendant de nombreuses décennies, on a utilisé des graisses issues de l'hydrogénation partielle d'huiles végétales, ce qui permettait d'obtenir des graisses solides à température ambiante (**Li, et al., 2019**). Cependant, la découverte des effets sur la santé liés aux acides gras trans (AGT) formés lors de ce processus d'hydrogénation a encouragé un certain nombre d'études sur leur remplacement (**Garcia et al., 2013, Hu et al., 2017, Li et al., 2018**). Des études épidémiologiques ont montré qu'une consommation plus élevée d'acides gras trans industriels est associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires (**Oteng et Kersten, 2020**).

En raison des rapports négatifs associés à la consommation de margarines, de nombreux pays ont amélioré leur compréhension de la composition de cet aliment afin de proposer de nouvelles technologies pour le rendre plus sain (**Li et al., 2018 ; Silva et al., 2021**). Le profil nutritionnel de la margarine est défini par la composition de la phase grasse (**Dadali and Elmaci, 2019**). L'Algérie, à l'instar de nombreux pays dans le monde, a établi des limites sur la margarine et les produits assimilés dont la teneur en acides gras trans ne doit pas excéder 2% de la teneur totale en matières grasses (**JORA, 2019**).

Dans cette perspective nous avons choisi les margarines les plus connues et les plus consommées à travers le territoire national comme un cas d'étude dont l'objectif est de projeter la lumière sur AGT présents dans ces dernières et d'évaluer la quantité qu'elles contiennent. Notre étude comporte :

## Introduction

---

- Une étude bibliographique portant sur les traitements de modification des huiles végétales, sur les margarines et acides gras trans.
- Une étude expérimentale comprend les résultats des caractéristiques physico-chimiques, organoleptiques de quatre margarines de table en barquettes (A, B, C et D) ainsi que leurs compositions en acides gras saturés, insaturés cis en général en acides gras trans en particulier.

# **Partie Théorique**

# **Chapitre I**

**Généralités sur les corps gras et traitements  
de modification des huiles**

## I-1- Définition des corps gras

Les lipides constituent un groupe de composés dont la nature chimique est extrêmement variée. Néanmoins, ils ont en commun la propriété d'être solubles dans les solvants dits organiques : benzène, éther, mélanges de chloroforme et de méthanol, etc.

Les corps gras sont donc insolubles dans l'eau, et cette propriété fondamentale qui est à la source même des phénomènes particuliers qui accompagnent leur digestion, leur absorption, leur transport dans le sang leur métabolisme a niveau cellulaire.

C'est également cette propriété qui détermine les procédés particuliers d'extraction, de purification et de transformation devant être utilisés en technologie alimentaire (**Brisson, 1982**).

## I-2-Classification des corps gras

Les corps gras sont classés en deux grandes catégories principales :

### I-2-1- Classification en fonction de leur nature

Les corps gras peuvent se présenter sous deux formes :

- Les huiles liquides.
- Les huiles solides ou graisses.

On différencie les huiles des autres graisses par leur point de fusion. Les huiles sont des corps gras liquides à la température de 15 °C, tandis que les graisses sont plus ou moins solides à cette température (on dit aussi concrètes) (**Apfelbaum et al., 2009**).

### I-2-2- Classification en fonction de leurs origines

#### I-2-2-1-Huiles et graisses animales

Elles se classent en :

- Origine maritime : graisses et huiles de mammifères marins (baleine, cachalot) et de poissons (sardines, hareng...)
- Origine terrestre : graisses de mouton, de bœuf (suif), de cheval, de porc (saindoux)
- Corps gras élaborés : le beurre (**Apfelbaum et al., 2009**).

#### I-2-2-2 Huiles et graisses végétales

On distingue :

- Les huiles végétales fluides : huiles d'arachide, de colza, de maïs, de tournesol, de soja, de noix, de pépins de raisin.



- Les huiles végétales concrètes ou graisses : coprah (noix de coco), de palme et de palmiste
- Les corps gras élaborés : les margarines (Apfelbaum et al., 2009).

### I-3-Définition des acides gras

Les acides gras sont les principaux composés des huiles et des graisses alimentaires ainsi que des graisses dépôt chez l'homme et chez les animaux. Ils sont constitués exclusivement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène (Brisson, 1982). Le radical est constitué par une chaîne linéaire d'atomes de carbone, de longueur variable (de 4 à 30 C, selon l'acide), sur chacun desquels sont fixés en principe deux atomes d'hydrogène (un seul, s'il existe à ce niveau une double liaison). À un bout, la chaîne se termine par un groupe méthyle CH<sub>3</sub>. À l'autre bout, elle s'achève par un carboxyle COOH, porteur de la fonction acide (Apfelbaum et al., 2009).

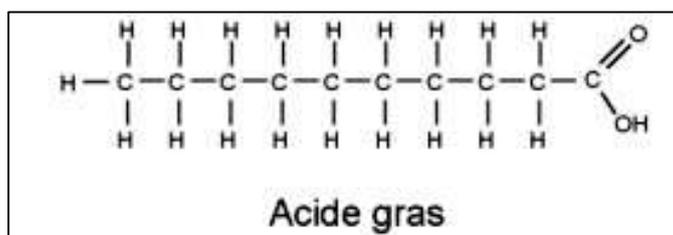


Figure 01 : Formule développée d'un acide gras (Apfelbaum et al. 2009).

### I-4-Classification des acides gras

Les acides gras peuvent être classés en plusieurs catégories en fonction de leurs structures, le degré de saturation et selon le type de configuration :

#### I-4-1-Les acides gras saturés (AGS)

Les acides gras saturés sont ceux dont toutes les liaisons internes sont saturées et dont le radical comprend deux atomes d'hydrogène pour chaque atome de carbone. Leur formule générale est : CH<sub>3</sub> (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> COOH. Les acides gras saturés les plus répandus dans la nature sont les acides palmitique (C16) et stéarique (C18) (Apfelbaum et al., 2009).

#### I-4-2-Les acides gras insaturés (AGI)

Les acides gras insaturés comportent un peu moins d'atomes d'hydrogène que le double du nombre de leurs carbones. Dans la formule les plus simples deux carbones voisins ont perdu chacun un atome d'hydrogène (Apfelbaum et al., 2009).

### I-4-2-1-Les acides gras moninsaturés (AGMI)

Certains acides comportent une seule double liaison (**Apfelbaum et al., 2009**). Ils sont représentés dans notre organisme par l'acide oléique (**Besson et Garneau, 2003**). Qu'on trouve en grande quantité dans l'huile d'Olive et de colza (**Berthoud et Real, 2008**).

### I-4-2-2-Les acides gras polyinsaturés (AGPI)

L'acide gras devient polyinsaturé si, sur la chaîne carbonée, on trouve deux ou plus de deux de ces doubles liaison ou points d'insaturation (**Brisson, 1982**).

Les acides gras polyinsaturé les plus répandus ce sont : l'acide linoléique (C18 : 2), l'acide linoléique (C18 : 3), L'acide arachidonique (C20 : 4) et les acides à 4, 5 ou 6 doubles liaisons des huiles de poisson dont l'acide éicosapentaénoïque (C 20 : 5) EPA et l'acide docosahexanoïque (C 22 : 16) DHA (**Apfelbaum et al., 2009**).

**Tableau I** : Teneurs en acides gras des graisses concrètes (huiles solides) (en pourcentage des acides gras totaux) (**Lecerf, 2011**)

	Palme	Palmiste	Coprah	Beurre de karité	Beurre de cacao
<b>Acides gras saturés</b>	44-55	82	94	43	60
– Acide gras à chaînes courte et moyenne ( $\leq$ C10:0)	0	7	18.5	0.35	–
– Acide laurique	0	47.5	47.5	1.4	–
– Acide myristique	0.5-2	16.5	18.1	0.5	24-27
– Acide palmitique	39.3-47.5	8.5	8.8	3.8	32-36
– Acide stéarique	3.5-6.0	2.4	2.6	36.2	
			6.2	45.2	35
<b>Acides gras mono-insaturés</b>	38-45	15-16	6.2	45	33-37
– Acide oléique	36-44.0	15.3	1.6	7	5
<b>Acides gras polyinsaturés</b>	9-12	2.5	1.6	6.7	3
– Acide linoléique	9-12	2.4			
– Acide alpha-linolénique	< 0,5	0.1	–	0.3	2

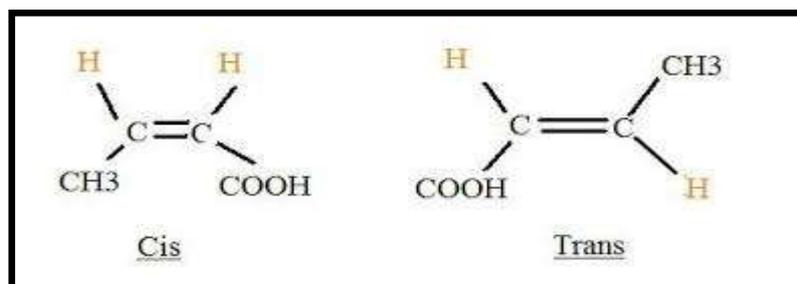
**Tableau II** : Teneurs en acides gras des huiles végétales courantes (en pourcentage des gras totaux) (Lecerf, 2011).

	Tournesol	Germe de maïs	Pépins de raisin	Arachide	Olive	Soja	Noix	Colza
<b>Acides gras saturés</b>								
– Acide palmitique	10-16	10-18	11-17	12-27	9-26	11-21	7-11	6-8
– Acide stéarique	5-8	8-13	7-10	8-13	7,5-20	8-13	6-8	4-5
<b>Acides gras monoinsaturés</b>	4-6	1-4	3-6	1-4,5	0,5-5	3-6	1-3	1-2
– Acide oléique	15-26	25-33	15-23	35-68	56-87	17-27	14-21	57-65
<b>Acides gras polyinsaturés</b>	15-25	24-32	14-22	35-66	55-83	17-26	14-21	55-62
– Acide linoléique	62-70	60	65	14-42	4-22	54-72	63-80	26-32
– Acide alpha-linolénique	62-70	55-62	65-73	14-42	3,5-21	50-62	54-65	18-22
– Acide alpha-linolénique	< 0,2	< 2	< 0,5	< 0,3	< 0,9	4-10	9-15	8-10

### I-4-2-3- Les acides gras insaturés Trans (AGT) :

Les acides gras trans sont des acides gras insaturés ayant au moins une double liaison en configuration ou géométrie trans, résultant en une molécule plus rigide proche d'un acide gras saturé (Larque ,2001).

Selon (Bhardwaj et coll, 2011) il existe deux sources principales de gras trans alimentaires : Acides gras trans naturels/ruminants bien qu'en petites quantités et acides gras trans produits industriellement tels que l'hydrogénation.

**Figure 02** : Configuration Cis et Trans de la double liaison dans les acides gras insaturés (Oteng et Kersten, 2020).

### I-5-Traitements de modification

La plupart des huiles naturelles ont une application limitée sous leur forme inchangée, car beaucoup sont liquides à température ambiante. Ainsi, plusieurs méthodes de modification des

lipides ont vu le jour : l'hydrogénation, l'interestérisation, le fractionnement (**Hashempour-Baltork,etal.,2016**).

Ces processus favorisent des modifications réversibles ou irréversibles des huiles végétales, entraînant des modifications de leurs propriétés physico-chimiques et les rendant aptes à l'application. Le principal aliment formulé avec des graisses modifiées a été les margarines, la méthode étant choisie en fonction des besoins techniques, du coût et de la disponibilité des fractions lipidiques, des aspects réglementaires et des exigences nutritionnelles de chaque époque historique (**Silva,et al.,2021**)

### **I-5-1-Hydrogénation**

Les graisses partiellement hydrogénées ont d'excellentes propriétés fonctionnelles dans les aliments, telles que le croustillant des biscuits, l'aération des garnitures et la texture des margarines, entre autres.

Le processus d'hydrogénation augmente le point de fusion et la consistance des huiles liquides, favorise la stabilité oxydative et augmente la fonctionnalité technique, permettant plusieurs applications dans les aliments transformés (**Kadhun et Shamma, 2017**).

L'hydrogénation est une transformation chimique qui a pour objectif de durcir une huile végétale et pour principe de fixer de l'hydrogène sur les doubles liaisons des acides gras insaturés en présence d'un catalyseur, généralement du nickel. L'hydrogénation est résumée par la réaction suivante :



Selon le point auquel est conduite la réaction, on obtient des produits partiellement hydrogénés à différents taux, caractérisés par des pourcentages augmentés de teneur en solide à une température donnée et des indices d'iode réduits ; si la réaction est menée à son terme, tous les acides gras insaturés ont été transformés en AGS (hydrogénation totale). Selon les conditions mises en œuvre (niveau de fraîcheur du catalyseur, température de la réaction), l'hydrogénation partielle des doubles liaisons s'accompagne de la formation plus ou moins importante d'isomères géométriques trans (AGT, principalement monoinsaturés). Par sa nature même, un corps gras totalement hydrogéné ne contient plus d'AGT (**Cancell, 2005**).

Hydrogénation industrielle à l'échelle industrielle, l'hydrogénation est le plus souvent un procédé discontinu (batch). Il est préférable que l'huile soit préalablement dégommée, neutralisée et séchée afin d'éviter tout empoisonnement du catalyseur, celui-ci étant sous forme de poudre et en suspension dans le liquide (réacteur de type slurry) (**Kellens et Calliauw, 2013**).

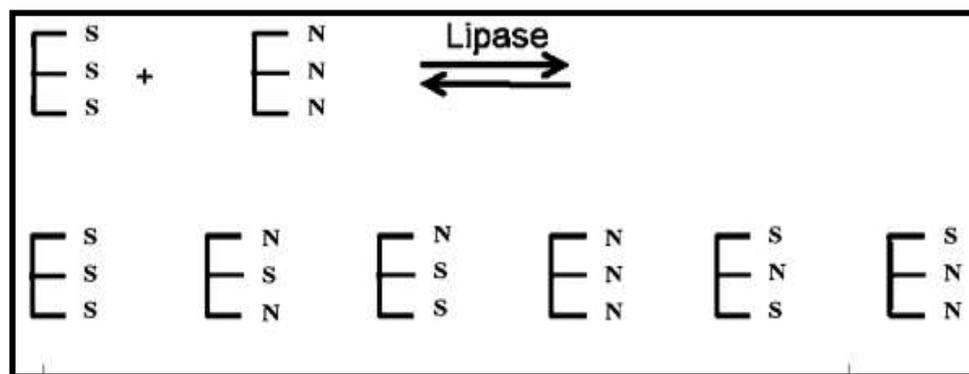
### I-5-2-Intrestérification

L'interestérification consiste en la réorganisation chimique ou enzymatique des acides gras parmi les triacylglycérols ; la répartition des acides gras est modifiée, mais la composition en acides gras reste inchangée.

Cette redistribution des acides gras favorise les modifications des propriétés fonctionnelles des lipides, telles que l'amélioration du comportement de cristallisation et de fusion, améliore la consistance et diminue la tendance à la recristallisation. Cependant, ce processus a été remis en question concernant la formation d'isomères de triacylglycérol avec des acides gras saturés (AGS) en position *sn*-2 du glycérol ( **Kadhun et Shamma, 2017, Sivakanthan et Madhujith, 2020** ).

**L'interestérification chimique** : utilise des catalyseurs tels que le méthoxyde de sodium et des températures de 90 °C à 110 °C ( **Sivakanthan et Madhujith, 2020** ). Le procédé chimique est moins coûteux, mais il n'y a aucune spécificité dans la position de l'acide gras dans le triacylglycérol ( **Zhang et al., 2004, Pande et Akoh, 2013** ).

**L'interestérification enzymatique**: est un processus dirigé catalysé par les lipases . Les avantages de ce procédé par rapport au produit chimique ressortent : température plus basse, peu d'opérations unitaires, séparation facile des enzymes, utilisation d'enzymes spécifiques et plus de durabilité car il n'implique pas l'utilisation de produits chimiques produisant des lipides avec des positions spécifiques pour des applications fonctionnelles et industrielles ( **Norizzah et al., 2018, Zhang et al., 2020** ).



S : Acide gras saturé

N : Acide gras non saturé

**Figure 03** : Réaction d'Interstérification ( **Cheftel et al., 1977** ).

### I-5-3-Fractionnement

Le fractionnement des corps gras est un procédé physique de transformation qui a pour but de séparer les triglycérides « solides » (les plus riches en acides gras saturés) de ceux qui, plus insaturés sont plus fluides ou « liquides ». Cette séparation est réalisée par un refroidissement contrôlé du corps gras, provoquant la cristallisation d'une fraction « stéarine » solide, ensuite séparée d'une fraction « oléine », plus fluide. La composition en acides gras des deux fractions obtenues est évidemment différente de celle du corps gras de départ.

L'huile de palme constitue la principale application de ce procédé. Le fractionnement peut être opéré une seconde fois sur les premières fractions obtenues, aboutissant ainsi à une gamme de fractions présentant des températures de fusion échelonnées de moins de 20 °C à plus de 50 °C. Ces fractions sont utilisées en tant que composant des phases grasses pour margarines et en tant qu'équivalents ou substituts de beurre de cacao (**Morin, 2007**).

# **Chapitre II**

## **La margarine**

## II-1-Historique

Les premières margarines ont été créées en 1869 par le chimiste français Hippolyte Mege Mouries (**Brown, 1956, Clark, 1986**). La découverte est venue d'un concours organisé par Napoléon III (1808-1873) à une époque où la France était confrontée à une crise économique et à une pénurie de beurre (**Brown, 1956**).

Hippolyte MEGE-MOURIES réalise une émulsion blanche résultant du mélange de graisse de bœuf et de lait et d'eau. Le brevet est déposé en 1872 et la commercialisation de la Margarine va dès lors se développer (**Saillard, 2010**). En 1920, on découvre l'hydrogénation, moyen de solidifier les huiles. À l'heure actuelle, on peut utiliser les huiles de tournesol, de soja, de maïs, de colza, ... (**Apfelbaum et al., 2009**).

La margarine est aujourd'hui bien différente de son produit d'origine (**Saillard, 2010**). Les margarines ont subi plusieurs changements dans leur développement afin d'améliorer leurs caractéristiques fonctionnelles et sensorielles, ce qui a donné lieu à une grande variété de margarines disponibles sur le marché (**Aini et Miskandar, 2007**).

## II-2-Définition

Selon **Andersen et Williams (2016)**, les margarines sont des corps gras alimentaires se présentant sous la forme d'une émulsion d'eau dans l'huile qui comprend deux phases essentielles : une phase grasse, généralement la phase continue, et d'une phase aqueuse dite phase dispersée.

De petites quantités d'autres ingrédients tels que du sel, des substances aromatiques et des émulsifiants peuvent être incorporées dans l'une ou l'autre des phases.

## II-3-Composition de la margarine

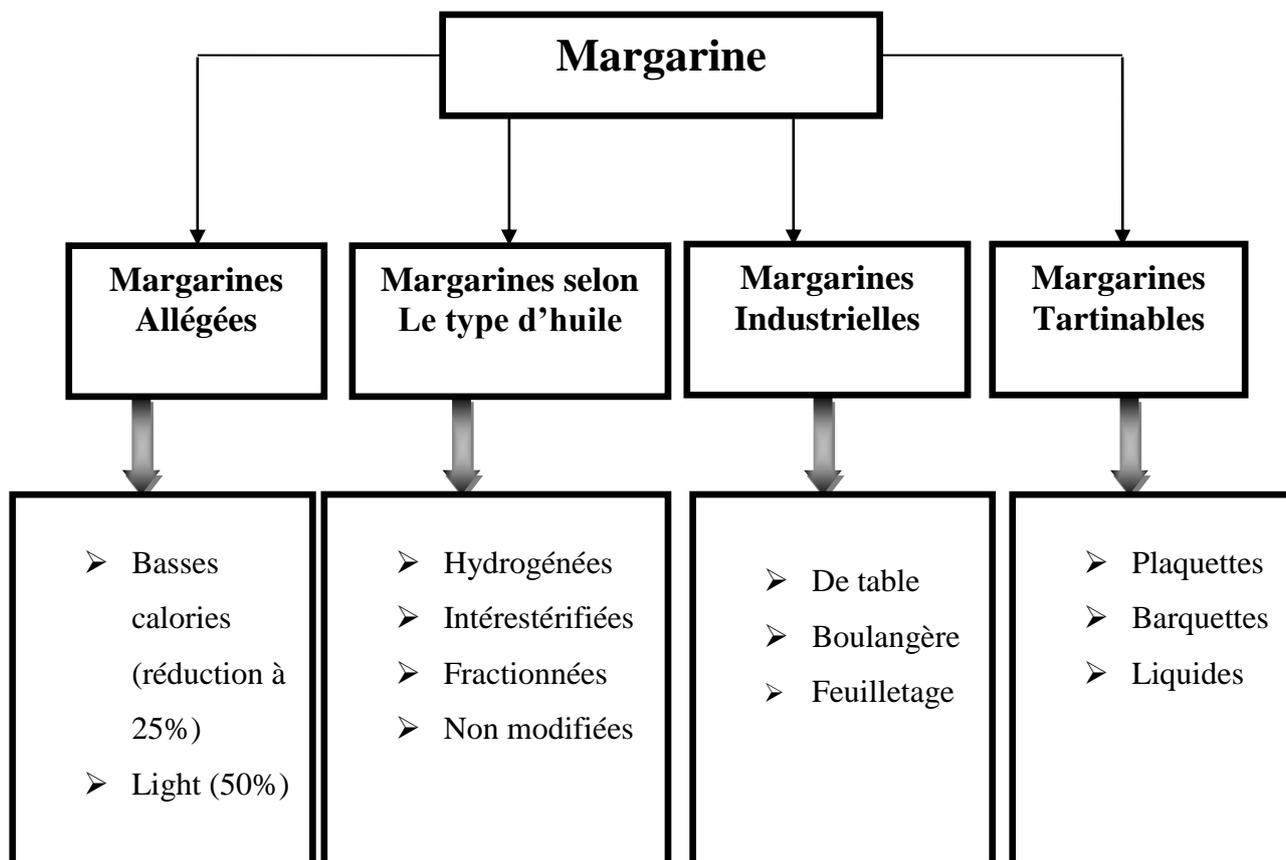
Selon **Apfelbaum et al. (2009)** toutes les margarines ont en général une composition globale très proche, dont elle renferme :

- 80% à 82% de phase continue, appelée phase grasse ; Elle est constituée par un mélange d'huiles raffinées et d'huiles concrètes d'origine végétales, animales et/ou marines selon les performances souhaitées par la production.
- 16% à 18% d'eau et/ou lait, constituant la phase aqueuse ; qui comprend : soit du lait écrémé, soit de l'eau, soit un mélange des deux. Elle est la plus sensible des constituants de la margarine, à des contaminants microbiens, et nécessite donc une pasteurisation préalable.
- 2% d'additifs, obligatoires (antioxydants, sel, etc.) ou facultatifs (amidon, sucre, ... etc.)

## II-4-Classification de la margarine

Aujourd'hui, il existe un grand nombre de margarines qui se différencient par la composition des deux phases, point de fusion et leurs usages.

D'après **O'Brien (2009)**, la classification des principales margarines retrouvées sur le marché mondial est la suivante :



**Figure 04** : Classification des margarines disponibles sur le marché mondial (O'Brien,2009).

## II -5-Fabrication de la margarine

La fabrication de la margarine comprend plusieurs étapes :

### II -5-1-Préparation de la charge

#### II-5-1-1- Préparation de la phase grasse (continue)

Selon **Saillard (2010)**, la phase grasse est constituée d'un mélange d'huiles végétales raffinées, en l'état, fractionnés, interestérifiés ou hydrogénées, animale, ou marines selon les performances souhaitées par la production. La phase grasse représente la partie la plus importante de l'émulsion (80% à 82%), à laquelle peuvent être incorporés certains additifs (émulsifiants) et des substances nutritionnelles (vitamines liposolubles, colorants, stanols...).

- **Emulsifiants**

Ils ont des fonctions hydrophiles et hydrophobes (**Apfelbaum et al.,2009**). Ce sont des substances qui ajoutées à une denrée alimentaire, permettent de réaliser ou de maintenir le mélange homogène de deux ou plusieurs phases non miscibles telles que l'huile et l'eau (**Béatrice, 2009**).

On distingue des produits naturels (lécithine de soja et de jaune d'œuf) et des produits non naturels (mono-glycérides et diglycérides) (François, 1974). Leur particularité est d'apporter à la margarine la stabilité et la texture (**Moll, 1998**).

- **Agents colorants**

La couleur de la margarine doit être voisine de celle du beurre, elle est obtenue soit par addition de l'huile de palme rouge riche en caroténoïdes, soit de  $\beta$  -carotène (Luterotti et al., 2006). On les utilise pour améliorer l'apparence des aliments (**Apfelbaum et al., 2009**).

- **Arôme**

Les arômes sont également interdits, à l'exception du diacétyle. Ce dernier, obtenu par fermentation ou par synthèse, s'emploie à dose très faible, de l'ordre de 0,1 mg pour 100g (**Français, 1974**).

- **Vitamines liposolubles**

L'ajout de vitamines permet de rehausser les propriétés diététiques de la margarine. A cette fin on utilise surtout les vitamines liposolubles telles que la vitamine A incorporée dans une proportion de 25 Unité internationales (U.I) par gramme de produit fini et la vitamine D2 à raison de 1UI par gramme de produit fini. La teneur des huiles végétales en vitamine E est en général suffisante (**Kone, 2001**).

### **II-5-1-2- Préparation de la phase aqueuse (dispersée)**

La phase aqueuse est la plus sensible des constituants de la margarine, à des contaminants microbiens, et nécessite donc une pasteurisation préalable.

La phase aqueuse est représentée par l'eau et les ingrédients hydrosolubles (sel, les antioxydants, les correcteurs de pH, le lait en poudre et les conservateurs, etc...). Ces ingrédients sont ajoutés à l'eau pour favoriser une solubilisation complète (**Borwankar et al., 1992 , Saillard, 2010** ).

La phase aqueuse est conditionnée dans une cuve séparée et chauffée à une température d'environ 60 °C (**Borwankar et al., 1992** )

**a- L'eau**

L'eau utilisée doit être pure, de bon goût et saine bactériologiquement, et doit respecter les normes de potabilité, nécessitant un processus d'adoucissement pour éliminer les ions métalliques qui peuvent catalyser l'oxydation, ainsi qu'une pasteurisation pour éliminer les microorganismes nocifs (**Faur, 1992**).

**b- Lait**

Le lait présente une triple nature : solution, suspension et émulsion. Habituellement, on recourt au lait écrémé, au lait reconstitué, ou à une combinaison des deux. Avant son utilisation, le lait doit être fermenté pour produire du diacétyle, puis pasteurisé (**Karleskind et Faur, 1992**).

**c- Les additifs hydrosolubles**

- **Le sel**

Le sel est un conservateur naturel qui empêche le développement microbien, Il est ajouté pour améliorer la sapidité (gout, saveur). En solution dans l'eau il doit donner une solution saumure limpide et claire (**Lima, 2015**).

- **Le sucre**

Le sucre est ajouté aux margarines de table à des concentrations comprises entre 0,2 et 0,3 % pour améliorer leurs qualités gustatives en apportant une note de douceur. De plus, des sucres tels que le glucose favorisent le brunissement des aliments lorsqu'ils sont cuits à la poêle (**Faur, 1992**).

- **Les conservateurs**

Les composés naturels les plus utilisées sont l'acide sorbique et les sorbates Ils sont utilisés soit sous forme d'acides soit forme de sel de sodium (E201), de potassium (E202) et calcium (E203) (**Béatrice, 2009**).

- **Les anti-oxygènes**

Ces substances sont ajoutés aux matières grasses permettent retarder l'oxydation dans la margarine qui s'oxyde par voie radicalaire (rancissement des matières grasses et modification des couleurs) (Nadeem et al., 2017 ; Han Lyn et al., 2021 ). Ils peuvent être d'origine naturelle ou de synthèse. Parmi les composés naturels, on trouve majoritairement la vitamine C (acide ascorbique) et les tocophérols (famille de la vitamine E) (Béatrice, 2009).

- **Les correcteurs de pH**

L'acide citrique, acide lactique et leurs sels de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>+</sup> sont autorisés. L'acide citrique est autorisé à la dose maximale de 1g / Kg de produit fini. Il permet de contrôler le pH de la phase aqueuse (Béatrice, 2009).

- **Les révélateurs**

L'amidon en tant que révélateur à une dose de 0,2 % permet de différencier la margarine du beurre (Wolff, 1994).

Une fois la préparation des deux phases (phases grasse et aqueuse) terminée, elles doivent être envoyées alternativement vers un bac d'émulsion.

## **II-5-2-Processus de fabrication de la margarine**

### **II-5-2-1-Emulsification**

Après chauffage et solubilisation des ingrédients dans les phases aqueuse et huileuse, ces systèmes sont dirigés vers une seule cuve de mélange à l'aide d'une pompe pour bien proportionner les deux phases. Le réservoir d'émulsification est doté d'un système de chauffage à surface raclée et d'agitateurs et est doté d'une chemise pour un débit d'eau chaude ou froide afin de permettre le contrôle de la température de l'émulsion. L'émulsion est agitée entre 10 et 15 minutes (Miskandar et al., 2002).

Après que l'émulsion préparée soit stable, elle passe dans un pasteurisateur à plaque, pour subir un traitement thermique de 82°C jusqu'à 85°C pendant 4 à 6 secondes afin d'assurer la destruction des germes tout en préservant les qualités organoleptiques (Dia et al., 2001).

### II-5-2-2 Cristallisation par refroidissement et malaxage

Après avoir quitté la cuve d'émulsification, l'émulsion semi-liquide est dirigée vers le cristallisateur. L'étape principale de la transformation des margarines est la cristallisation ou plastification, avec formation et maturation de cristaux (**Borwankar et al., 1992**).

Pour maintenir de façon durable l'émulsion sortante du pasteurisateur et compléter ainsi l'action des émulsifiants, le mélange est refroidi (à l'azote liquide souvent par échangeur de chaleur) à très basse température, ce qui permet une cristallisation de la phase grasse (**Cossut et al., 2002**).

Lorsque ce processus se déroule de manière contrôlée, les cristaux de graisse présentent la forme polymorphe  $\beta'$  qui convient aux margarines étant donné la sensation d'onctuosité lors de la consommation et la rétention de grandes quantités d'huile liquide en raison de sa nature sphérique (**Borwankar et al., 1992**).

Le malaxage est un processus au cours duquel se déroule une réduction de la taille des particules ainsi que leur fine dispersion. Le résultat étant une amélioration de la stabilité du produit en lui donnant consistance, souplesse et homogénéité (**Kone, 2001**).

### II-5-2-3-Emballage et conditionnement

L'étape de conditionnement est également considérée comme une étape de maturation (**Saillard, 2010**). Après avoir quitté le cristallisateur, la margarine est stockée dans son propre récipient et amenée à se stabiliser entre 7 et 10°C pendant environ 24 h. Les margarines doivent être emballées dans des contenants protégés contre la mécanique, la lumière et l'oxygène (**Carr et Vaisey-Genser, 2003**).

## II-6-Propriétés physiques de la margarine

Les caractéristiques des margarines résultent des ingrédients et du processus de production. La graisse définit la consistance, la plasticité et la fusion, et ces caractéristiques sont interdépendantes (**Brown, 1956**). Une bonne margarine ne devrait pas souffrir de séparation de l'huile, de durcissement, de sable, de grain, de séparation de l'eau, de décoloration ou de caractère onctueux (**Miskandar et al., 2005, Arellano et al., 2015**).

### ➤ Profil des solides et point de fusion

Le SFC définira des caractéristiques telles que l'aspect général, la facilité de conditionnement, les propriétés organoleptiques (libération de saveur et d'arôme), la tartinabilité et l'exsudation de l'huile (**Laia et al., 2000**). La margarine molle ou de table (qui peut être utilisée refroidie ou à température ambiante) a un SFC variable selon la température. Les margarines destinées à être utilisées au réfrigérateur ont des SFC **inférieurs** à celles destinées à être utilisées à température ambiante (**Laia et al., 2000**).

Les margarines en bloc doivent avoir un SFC qui les rend tartinables à température ambiante sans ramollir à 20 °C (**Sahri & Idris, 2010**).

Le point de fusion détermine les propriétés de fusion des margarines lorsqu'elles sont consommées dans les pains et biscuits ou dans les préparations alimentaires en tant qu'ingrédient. À 37 °C, les margarines doivent avoir un faible SFC (environ de 4 %) pour pouvoir fondre correctement à température corporelle (**Campos, 2005**).

### ➤ Paramètres de texture

Les principales caractéristiques des margarines perçues par le consommateur sont la consistance, la dureté et la tartinabilité (**Glibowski et al., 2008**).

Ces propriétés peuvent être évaluées par des méthodes subjectives (analyses sensorielles) ou par des méthodes instrumentales (texturomètre et pénétromètre), Ces méthodes impliquent des déformations dans la structure (**Glibowski et al., 2008**).

### ➤ Polymorphisme

Le polymorphisme consiste en une structure cristalline dans laquelle les graisses peuvent se présenter par différentes structures cellulaires résultant de divers arrangements moléculaires (**Hondoh et Ueno, 2016**).

Selon (**Marangoni et Wesdorp, 2012**), dans les lipides, trois types spécifiques de sous-cellules prédominent, qui font référence aux formes primaires :  $\alpha$ ,  $\beta'$  et  $\beta$ .

**Le polymorphe  $\beta$** , est plus stable, n'est pas souhaitable en grande quantité dans car les gros cristaux de cet arrangement donneront une texture rugueuse et granuleuse et aussi produira une margarine post-durcie, cassante, sableuse, huileuse et grasse.

**Le polymorphe  $\beta'$**  est une forme métastable avec un point de fusion intermédiaire et est plus souhaitable car il offre un arrangement fin et une grande surface de cristaux solides.

Par conséquent, nous recherchons le polymorphisme  $\beta'$  dans les margarines car il favorise la plasticité et immobilise l'huile liquide (**Nguyen et al., 2020**).

## II-7-Aspects nutritionnels de la margarine

Le profil nutritionnel de la margarine est défini par la composition de la phase lipidique **(Dadali et Elmaci, 2019)**.

Les idées reçues sur les graisses sont principalement dues à la présence de niveaux élevés d'AGT et d'AGS. Cependant, ces perceptions ont changé parallèlement aux changements progressifs dans les formulations, et il y a une forte consommation de margarines dans les régimes alimentaires du monde entier car cet aliment, en plus d'être moins cher, présente une plus grande salubrité et une plus faible athérogénicité que le beurre **(Gagliardi et al., 2010, Vucic et al., 2015)**.

La consommation de niveaux élevés d'AGT et d'AGS contribue aux épidémies mondiales liées au syndrome métabolique et aux maladies cardiovasculaires **(Estadella et al., 2013, Morenga et Montez, 2017)**.

Les effets des AGT et AGS sur la santé ont déjà été bien décrits, avec un consensus scientifique, favoriseraient l'augmentation des (LDL) lipoprotéines de basse densité, de cholestérol total et une diminution des (HDL) lipoprotéines de haute densité et de l'agrégation des plaquettes sanguines **(Brouwer, 2016, Morenga et Montez, 2017)**.

L'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI) des aliments peuvent être utilisés pour évaluer le risque de maladies cardiovasculaires. Leur calcul fait intervenir trois acides gras hautement athérogène (laurique, myristique et palmitique) et des acides gras insaturés **(Byung et al., 2008)**.

## II-8-Stabilité des margarines au cours du stockage

La margarine contenant 80 % de matières grasses a généralement une durée de conservation de 6 à 12 mois si elle est réfrigérée tout au long de la chaîne de distribution et de commercialisation. Cette période est plus courte pour les produits faibles en gras et à forte humidité et pour ceux qui ne contiennent pas de sel **(Vaisey-Genser, 2003)**.

La stabilité de la margarine dépend principalement des facteurs suivants : composition de la phase huileuse, émulsifiants, interaction entre les ingrédients, procédé de production et réseau cristallin formé **(Detry et al., 2021)**.

La stabilité de la margarine est associée à des changements dans sa texture, ses propriétés oxydatives et physiques **(Silva et al., 2021)**. Les émulsifiants, les antioxydants,

le sel, l'acide citrique, les ions métalliques ou les caroténoïdes sont des composés et ingrédients qui influencent la stabilité oxydative des margarines (**Fruehwirth et al., 2021**).

La température de stockage de la margarine doit être correctement contrôlée pour éviter les réactions oxydatives. Le stockage à 5 °C est idéal pour que ce produit conserve ses caractéristiques. Lorsque la margarine est conservée à une température de 25 °C, l'oxydation s'accélère (**Zhang et al., 2006**).

La congélation n'est pas indiquée car elle conduit à la déstabilisation de l'émulsion (**Ghosh et Rousseau, 2011**).

### II-9-Facteurs de détérioration

Ces deux caractéristiques : liaison ester et double liaison sont la cause des deux principales formes d'altération des corps gras alimentaires ; l'acidification et l'autoxydation.

- L'acidification résulte de l'hydrolyse d'une ou deux des trois liaisons esters des triglycérides. Cette hydrolyse conduit à la formation d'acides gras libres préjudiciables à la qualité du corps gras. L'inconvénient des acides gras libres tient au fait qu'ils s'oxydent plus vite que les triglycérides.
- L'autoxydation résulte de l'action de l'oxygène sur les doubles liaisons (la réaction est autocatalytique). Celle-ci est accélérée par la lumière, la température et les métaux pro-oxydants, en particulier le Cu, le Fe et le Mn (**Trémolieres, 1980**).

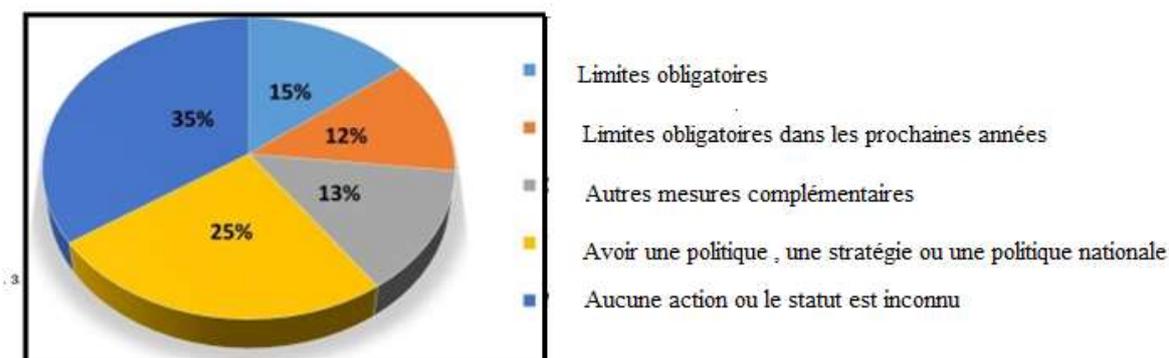
Des microorganismes présents dans la margarine sont généralement introduits par l'atmosphère ambiante, par l'appareillage de traitement insuffisamment stérilisé, par les emballages, par les contacts humains, par les insectes, par les constituants de la phase aqueuse (eau, lait), surtout en présence d'amidon et ils sont favorisés par certaines conditions de température et d'un pH du milieu supérieur à 5. L'action de ces microorganismes a pratiquement pour résultat la formation d'enzymes génératrices d'acide gras, de produit d'oxydation d'aldéhydes et des cétones. Ce qui se traduit par des modifications d'apparence, de structure, de saveur et aussi par l'apparition de toxicité dans la margarine (**François, 1974**).

### II-10-Aspects réglementaires et législation

- Le marché mondial de la margarine, selon **Reports and Data (2019)**, devrait atteindre 3,06 milliards de dollars en 2026. Cela est dû à la croissance de l'industrie de la boulangerie dans laquelle la margarine est fondamentale pour ses propriétés essentielles telles que l'émulsification, l'aération et la lubrification, et à la croissance

de la population végétalienne, qui opte pour la margarine au lieu du beurre (**Vucic et al., 2015**)

- En mai 2018, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a lancé une série d'actions pour aider les gouvernements à supprimer les AGT produits industriellement de l'approvisionnement alimentaire mondial d'ici 2023 (**OMS, 2019**).
- L'OMS recommande également aux pays d'élaborer et de mettre en œuvre des limites obligatoires pour les AGT, de partager leurs expériences et leurs meilleures pratiques en matière d'élimination des AGT, et d'envisager des réseaux régionaux ou internationaux pour améliorer les actions (**OMS, 2019**).
- L'élimination ou la réduction des TFA dans les margarines provoque une augmentation de la teneur en SFA, qui provient principalement des graisses interestérisées (**Garsetti et al, 2016**).
- L'OMS recommande que la reformulation des aliments à base de lipides favorise l'élimination des AGT, augmente les AGPI et diminue les AGS (**Astrup et al., 2019**). Par conséquent, il existe une recommandation de réduire la consommation d'AGS à moins de 10 % de la consommation énergétique totale et de les remplacer par des graisses polyinsaturées et monoinsaturées afin de réduire l'incidence des maladies cardiovasculaires et la mortalité qui y est associée (**Chowdhury et al., 2014**).
- L'OMS établit que la teneur en AGT dans les huiles végétales et les margarines doit être inférieure à 2 % de la teneur totale en matières grasses (**Colón-Ramos et al., 2014**).



**Figure 05 :** Pourcentage de pays dans le monde et politiques mises en œuvre pour réduire les acides gras trans dans les huiles et graisses végétales (**OMS, 2019**)

En raison des rapports négatifs associés à la consommation de margarine, de nombreux pays ont amélioré leur compréhension de la composition de cet aliment afin de proposer de nouvelles technologies pour le rendre plus sain (Silva et al., 2021). La figure 05 montre le pourcentage de pays qui ont adopté une législation et des mesures pour interdire les AGT.

**Tableau III :** Teneur en acides gras trans, saturés, monoinsaturés et polyinsaturés dans les margarines de quelques pays, à différentes périodes. Les valeurs entre parenthèses représentent la valeur moyenne.

Pays	Année	N	AGS (%)	AGT (%)	AGMI (%)	AGPI (%)	Référence
<b>Espagne</b>	2000	12	17,5-30,6 (26,8)	0,4-19,2 (5,1)	21-51,1 (31,9)	31,4-52 (41,3)	<b>Larqué et al., (2003)</b>
<b>Canada</b>	2007	29	12,4-29,1 (18,5)	0,5-42,9 (11,69)	19,7-59,2 (36,31)	3,6-53,5 (32,09)	<b>Ratnayake et al., (2007)</b>
<b>Costa Rica</b>	2007	50	17,14-37,22 (25,51)	10,83-13,25 (12,12)	24,75-32,03 (28,05)	17,5-46,62 (34,17)	<b>Baylin et al., (2007)</b>
<b>Pakistan</b>	2008	10	24,2-58,1 (49,75)	22-34,8 (19,99)	5,7-35,4 (15,44)	4,9-37,4 (14,61)	<b>Kandhro et al., (2008)</b>
<b>Grèce</b>	2009	30	11,26-61,75 (30,81)	0,6 - 0,97 (0,48)	22,98-60,37 (34,41)	12,09-56,34 (34,28)	<b>Kroustallki et al., (2011)</b>
<b>Mexique</b>	2011	20 à tartiner	18,07-29,86 (24)	0-20,66 (5,35)	18,3-28,15 (23h05)	24,66-56,51 (45,73)	<b>Hernández-Martínez et al., (2011)</b>
<b>États-Unis</b>	2013	37	10,1-38,9 (26,7)	0,1-21,7 (3,2)	20,8-58,9 -25,9	12,8-59,3 -44,3	<b>Garsetti et al. (2016)</b>
<b>Turquie</b>	2013	14	47,1-61,8 (56,15)	1-2,2 (2,2)	21,3-39,3 (30,09)	10,8-18,4 (14,23)	<b>Ergönül (2013)</b>
<b>Serbie</b>	2015	13	22,76-51,17 (33,98)	0,17-28,84 -10,14	27,28-43,95 (33,03)	8,02-49,29 (21,24)	<b>Vucic et al. (2015)</b>
<b>Slovénie</b>	2018	43	22,6-55,7 (35,3)	0,11-6,37 (0,55)	23,9-51,1 (35,4)	-	<b>Abramovi et al. (2018)</b>

# **Partie Pratique**

# **Chapitre III**

## **Matériels et Méthodes**

### III.1. Objectif du travail et présentation de l'organisme d'accueil

Notre travail pratique réalisé au niveau du laboratoire physico-chimie de CEVITAL a pour objectif :

- La caractérisation physico-chimique, oxydative, organoleptique de quelques margarines fabriquées localement.
- La détermination de la composition quantitative et qualitative de ces margarines en acides gras notamment les acides gras trans.

Le complexe CEVITAL est situé au niveau du port de Bejaïa. Les différentes unités de ce complexe se répartissent comme suit :

- Raffineries d'huiles.
- Margarinerie.
- Silos portuaires.
- 02 Raffineries de sucre.

L'industrie produit une gamme variée de margarines dont certaines sont destinées à la consommation directe telle que Matina, Fleurial plaquette et Fleurial barquette.

D'autres sont spécialement produites pour les besoins de la pâtisserie moderne ou traditionnelle, à l'exemple de la Parisienne, MEDINA « SMEN » en plus d'un Shortening pour les professionnels et industriels.

- ✓ Capacité de production : 180 000 tonnes/an.
- ✓ Part du marché national : 30%.
- ✓ Exportation d'une partie de la production vers l'Europe, le Maghreb et le Moyen-Orient.

### III-2-Echantillonnage des margarines

Quatre échantillons différents de margarines de table en barquettes (codé A, B, C, D) sont utilisés dans notre expérimentation.

Notre choix s'est basé sur les margarines les plus utilisées et les plus consommées à travers le territoire national. Ces échantillons ont été achetés le 10/03/2024 sur le marché public et conservés à basse température (4°C à 8°C) durant toute la période d'analyse.

#### III-2-1-Date de fabrication et de péremption

Le tableau représente les dates de fabrication et de péremption des différentes quatre margarines.

Le tableau IV : Date de fabrication et de péremption des différentes margarines.

Margarines	Date de fabrication	Date de péremption	Numéro du lot	Poids (g)
A	29/02/2024	28/02/2025	L1TOMTA2	500
B	26 /01/2024	25/01/2025	L1HA260124	
C	14/02/2024	14/02/2025	043	
D	04/02/2024	03/02/2025	035	

### III-2-2-Composition

Le tableau ci-dessous résume la composition mentionnée dans l'emballage des margarines (A, B, C, D) analysées.

Le tableau V : Composition des différentes margarines analysées.

Margarines	Composition
<b>A</b>	Graisses et huiles végétales raffinées, sélectionnées en l'état et <b>hydrogénées</b> (>80%), eau. Additifs à des fins alimentaires : SIN471(BPF) : émulsifiant, stabilisant et agent anti-moussant, sel (0,3%), SIN 322(BPF) : Emulsifiant antioxydant, SIN 202 (max, 1g/Kg) : Agent de conservation, stabilisant, SIN 160 a (max: 200mg/Kg), colorant, arôme artificiel de beurre.
<b>B</b>	Huiles et graisses végétales raffinées non hydrogénées (80%) (Tournesol, palme/palmiste : huile inter-estérifiée, Coprah et Palme.), eau, lait écrémé, sel (0.35g), arôme beurre artificiel, Vitamines A, D et E, Additifs alimentaires : Mono et di- glycérides d'acides gras SIN 471 BPF, esters citriques des mono et di- glycérides d'acides gras SIN 472c BPF, lécithine de soja SIN 322 BPF, Tristearates de sorbitan SIN 492) : émulsifiants, Acide lactique SIN 270 BPF : régulateur de l'acidité, (sorbate de potassium SIN202, acide sorbique SIN200) : agents de conservation, butylhydroquinone tertiaire SIN319 : antioxydant, bêta carotène SIN 160a (ii) : colorant. BPF : Bonne Pratique de Fabrication.
<b>C</b>	Huiles végétales fluides (Soya, Tournesol) huiles végétales concrètes, eau, sel 0,5%, arôme beurre artificiel, vitamines : A et D3, Additifs alimentaires : émulsifiants (SIN471, SIN322), agents de conservation (SIN 200, SIN 202), régulateur d'acidité (SIN330), colorant (SIN160a (i), Antioxydant (sin307c). 82% Matières grasses
<b>D</b>	Huile et graisses végétales raffinées, sélectionnées en l'état et <b>hydrogénées</b> (palme, palmiste, soja /tournesol), Eau, sel, Additifs à des fins alimentaires : SIN 471(BPF) : émulsifiant, stabilisant et agent anti-moussant, SIN 322(BPF) : Emulsifiant antioxydant, SIN 202 (max : 1g/Kg) : Agent de conservation, stabilisant ; SIN270(BPF), régulateurs d'acidité, antioxydant et séquestrant, arôme artificiel de beurre, SIN160a(i) (max : 200mg/Kg) : colorant (bêta carotène).

### III-3-Méthodes d'analyses

#### III-3-1-Analyses physiques

##### III-3-1-1-Détermination de point de fusion «ISO 6321,2021 »

###### ➤ Principe

Immersion d'un tube capillaire, contenant une colonne d'un corps gras cristallisé dans des conditions contrôlées, à une profondeur spécifiée dans un bain marie dont la température augmente à une vitesse donnée. Enregistrement de la température à laquelle la colonne commence à se déplacer dans le tube capillaire (**Prior, 2003**).

###### ➤ Mode opératoire

- Introduire la margarine (huile, blend) dans deux tubes capillaires en verre sur une hauteur de 1cm, les refroidir au réfrigérateur (20mn).
- Fixer les deux capillaires à un thermomètre à l'aide d'une bague en caoutchouc de telle façon que la partie basse des tubes capillaires soit au même niveau que le fond de la boule de mercure du thermomètre.
- L'ensemble est immergé dans un bêcher contenant de l'eau osmosée, ensuite, il est chauffé lentement (0,5°C/mn) en bain marie rempli d'eau.
- Observer attentivement et noter la température à laquelle les colonnes de margarine (huile) commencent à remonter dans les tubes.

###### ➤ Expression des résultats

Observation de la température d'ascension des colonnes de graisse dans les tubes. La valeur moyenne des températures des deux tubes est considérée comme point de fusion. La température notée correspond au point de fusion de la margarine (huile) exprimée en degrés Celsius (°C).

##### III-3-1-2-Détermination de la teneur en eau (humidité) « ISO 662, 2<sup>ème</sup> édition .1998 »

###### ➤ Principe

Evaporation de l'eau ainsi que les matières volatiles de la margarine sous l'effet de la chaleur, et détermination de la perte de masse (**Blanc, 1992**).

###### ➤ Mode opératoire

- Peser le bêcher à vide ( $P_0$ ) et le poids de la prise d'essai ( $P_e$ ).

- Déposer sur une plaque chauffante, en agitant soigneusement de temps en temps afin d'éviter la formation d'éclaboussures et gouttelettes d'eau aux parois du bécher.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser le bécher contenant l'échantillon, soit un poids (P1).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$H (\%) = ((P_0 + P_e) - P_1) / P_e * 10$$

D'où :

**H%** : humidité exprimée en pourcentage massique.

**P<sub>0</sub>** : poids du bêcheur vide en gramme.

**P<sub>e</sub>** : poids de la prise d'essai en gramme.

**P<sub>1</sub>** : poids du bêcheur contenant l'échantillon après chauffage.

### III-3-1-3-Détermination du pH de la phase aqueuse par la méthode potentiométrique « NE 1.2.430/1989 »

➤ **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 (**Faur, 1992**).

➤ **Mode opératoire**

- Etalonner le pH mètre par solution à pH =7 et 4.
- Introduire les électrodes dans la phase aqueuse à la température de mesure.
- Lorsque la lecture devient constante, lire la valeur du pH indiqué par le pH mètre à 0,01 unités de pH près, sur l'échelle de l'instrument.
- Introduire le thermomètre (thermomètre étalonné précis à 1°C) dans la phase aqueuse et lire la température de mesure.

➤ **Expression des résultats**

Noter la valeur mesurée de pH à 0,01unité près et à la température de mesure.

### III-3-1-4- Détermination du taux de solide par SFC (Solid Fat Content) « ISO 8292, 1995 »

#### ➤ 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.

#### ➤ Mode opératoire

- Une quantité de margarine est fondue dans un bécher à l'étuve (100°C), on obtient deux phases séparées.
- La phase grasse est filtrée à l'aide d'un papier filtre contenant une quantité de sulfate de sodium anhydre.
- À partir de la phase récupérée on remplit les tubes en verre propre et sec à 2 cm et on la place dans un bain marie
- On procède à l'analyse en utilisant la méthode standard.
- Puis on place le tube dans l'appareil RMN pour lire les valeurs en %.
- Les valeurs de SFC sont notées à chaque 30 min à des températures différentes.
- Ensuite on trace la courbe de SFC (%) en fonction de la température (°C).

#### ❖ La méthode standard :

Préparation de 04 tubes, et chacun des quatre tubes est mis à différents température :

- ❖ 30 min à 5° C ; 30 min à 10°C ; 30 min à 15°C ; 30 min à 20°C ; 30 min à 25° C ; 30min à 30°C ; 30 min à 35°C ; 30 min à 40°C (fonte de produit)

### III-3-2-Analyses chimiques

#### III-3-2-1-Détermination la teneur en sel (ISO 662, 1998)

#### ➤ Principe

Titration des chlorures avec de nitrate d'argent (0,1N), en présence de chromate de potassium, comme indicateur coloré.

#### ➤ Mode opératoire

- Peser 5g de l'échantillon dans un Erlenmeyer.
- Ajouter 100ml d'eau distillée.

- Chauffer sur une plaque chauffante jusqu'à dissolution complète de l'échantillon (margarine).
- Laisser refroidir, ajouter quelques gouttes de chromates de potassium ( $K_2CrO_4$ )
- Titrer avec la solution de nitrates d'argent ( $2AgNO_3$ ) jusqu'à obtention d'une couleur rouge brique qui persiste pendant 30 secondes.

➤ **Expression des résultats**

Le taux de sel est déterminé par l'équation suivante :

$$Ts(\%) = \frac{(V * N * Eqg(NaCl))}{(M * 1000)} * 100$$

D'où :

**Ts** : taux de sel exprimé en %.

**N** : normalité d' $AgNO_3$  (0,1N).

**V** : volume d' $AgNO_3$  utilisé pour le titrage en ml.

**M** : masse de la prise d'essai en g.

**Eqg** : équivalent gramme de NaCl = 58,5

### III-3-2-2- Détermination de l'indice de peroxyde « ISO3960, 4èmeE. 2007 »

➤ **Principe**

C'est le traitement d'une prise d'essai, en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium (KI). Titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium (**Pardo et al., 2007**).

➤ **Mode opératoire**

- Peser 5 g de l'échantillon de margarine dans une fiole conique.
- Ajouter 12 ml du chloroforme et 18 ml d'acide acétique puis 1 ml de la solution d'iodure de potassium (1 ml d'eau distillée + 0.5 g d'iodure de potassium).
- Boucher aussitôt la fiole, l'agiter durant 1 min et le laisser durant 1 min à l'abri de la lumière, à une Température  $C^\circ$  comprise entre 15 et 25  $^\circ C$ .
- Ajouter 75 ml d'eau distillée.
- En agitant vigoureusement et en présence de quelques gouttes de l'empois d'amidon, titrer avec thiosulfate de sodium  $Na_2S_2O_3$  (0,01N).

### ➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés par :

$$I_p = \frac{(V-V_0)*N}{M} * 1000$$

D'où :

**I<sub>p</sub>** : indice de peroxyde exprimé en meq.g/kg.

**V** : volume du Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub> de la chute de burette utilisé pour le titrage en ml.

**V<sub>0</sub>** : volume du Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub> utilisé pour l'essai à blanc.

**M** : masse de la prise d'essai en g.

**N** : normalité du Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub> utilisé pour le titrage (0,01N).

### III-3-2-3- Détermination de l'acidité « ISO 660, 4èmeE.2020)

#### ➤ Principe

Après séparation de la matière grasse par fusion de la margarine et dissolution de celle-ci dans un mélange d'éthanol et d'oxyde d'éthylique, puis titrage des acides gras libres avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ou de potassium en présence d'un indicateur coloré phénolphtaléine.

#### ➤ Mode opératoire

- Préparer dans un Erlenmeyer une solution de 75 ml d'alcool neutralisée (éthanol + quelques gouttes de phénolphtaléine qui est un indicateur coloré, titrer le NaOH jusqu'à apparition d'une coloration rose).
- Ajouter 10g de l'échantillon à analyser.
- Faire dissoudre en portant sur une plaque chauffante.
- Procéder à un deuxième titrage des AGL par NaOH à 0,1N jusqu'à apparition de la couleur rose persistante (10 secondes).
- Noter la chute de la burette.

#### ➤ Expression des résultats

$$A(\%) = \frac{V*N*256}{m*10}$$

D'où :

**A (%)** : Acidité exprimée en pourcentage

**M** : masse molaire d'acide palmitique = 256g/mol

**N** : normalité de NaOH à 0,1N

**m**: la masse en g de la prise d'essai.

**V** : volume en ml de NaOH utilisé pour le titrage.

### III-4- Détermination de la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La Chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique de séparation de différents types de mélange gazeux ou vaporisés dans un four à une température contrôlée. Elle se base sur la diffusion des composants des mélanges entre une phase mobile (gaz porteur) et une phase stationnaire. L'appareil utilisé comporte plusieurs éléments, comme indiqué sur le schéma ci-dessous :

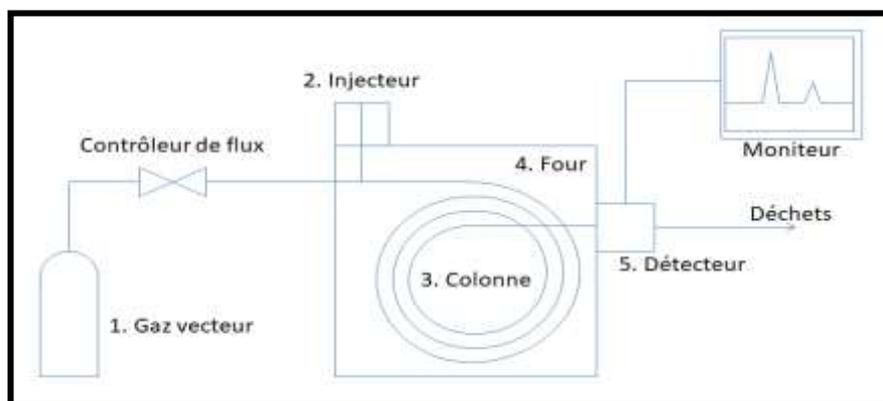


Figure 06 : Schéma d'un chromatographe (Chaturvedi et Nanda, 2010)

#### ❖ Méthylation des acides gras (UICPA n°2.301.1979)

- Peser 05 grammes de margarine fusionnée, puis les dissoudre dans 5ml d'hexane.
- Ajouter 0,5 ml de solution KOH méthanolique (1,3g dans 10ml de méthanol).
- Agiter pendant 3 minutes avec agitateur électrique, puis laisser décanter pendant 20 minutes.
- Après la décantation : avoir deux composés ester méthylique +hexane et Matière grasse.
- Avec une pipette prélever quelques gouttes de l'échantillon (esters méthyliques), mettre dans une Vial puis compléter avec l'hexane.
- Injecter l'échantillon.

### ❖ Paramètres caractéristiques de la CPG Chrompack CP 9002

- **Colonne capillaire** : DB- 23 ; (50% Cyanopropyl) de 30 m de longueur, de 0,32 mm de diamètre interne et de 0,25 µm d'épaisseur.
- **Gaz vecteur** : Azote (N<sub>2</sub>).
- **Injecteur** : Split1/1100 (250°C).
- **Quantité injectée** : 0,1 µl.
- **La température du four** : suivant un gradient 150°C (+3°C/min).
- **Détecteur** : FID (Détecteur à Ionisation de Flamme), température 250°C.

### III-5-Détermination d'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI)

L'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI) des aliments peuvent être utilisés pour évaluer le risque de maladies cardiovasculaires. Leur calcul fait intervenir trois acides gras hautement athérogènes (laurique, myristique et palmitique) et des acides gras insaturés. Dans l'ensemble, les effets du TFA sur les profils lipoprotéiques plasmatiques sont au moins aussi défavorables que ceux du SFA (Byung et al., 2008).

- L'IA et le TI sont calculés par les équations suivantes (Vucic et al., 2015) :

$$AI = \frac{[C12:0 + 4*(C14:0) + C16:0 + TFA]}{MUFA + (n-6) + (n-3)}$$

$$TI = \frac{(C14:0 + C16:0 + C18:0) + TFA}{[0,5 * MUFA + 0,5 * (n-6) + 3 * (n-3) + (\sum n-3/n-6)]}$$

D'où :

- **MUFA** : sont des acides gras monoinsaturés (AGMI), à l'exception des TFA.
- **TFA** : acides gras trans, et tous les AG sont inclus en % des AG totaux. Sont ajoutés aux équations car ils sont également considérés comme ayant un potentiel athérogène élevé.
- **(C14:0)** : L'acide miristique (AGS) a un coefficient de **4**, car il est considéré comme le plus athérogène des acides gras.
- **(C12:0)** : Acide laurique (AGS)
- **(C16:0)** : Acide palmitique (AGS)
- **(C18:0)** : Acide stéarique (AGS)
- **(n-6)** : Les Oméga-6 acide linoléique (AGPI) les moins athérogènes, a un coefficient de 0,5.
- **(n-3)** : les Oméga-3 acides alpha linoléique (AGPI), a un coefficient de 3.

- Les AGMI et les AG polyinsaturés n-6 (AGPI) ont été affectés de coefficients de 0,5 car ils sont moins altérageènes que les AGPI n-3, auxquels a été attribué un coefficient de 3 (Pikul *et al.*, 2008).

### III-6-Test d'oxydation accélérée (Test au Rancimat) (ISO 6886, 2006)

#### ➤ Principe

Ce test consiste à vieillir prématurément les matières grasses par décomposition thermique à 99°C, sous un bullage intensif d'air. 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, dans laquelle est immergée une électrode de mesure de la conductivité. L'électrode est connectée à un dispositif de mesure de l'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 d'acides gras volatils produits au cours de l'oxydation (ISO 6886, 2006).

#### ➤ Mode opératoire

- Chauffer le bloc de l'appareil (Rancimat 743) à une température voulue (99°C dans les conditions opératoires de notre travail)
- Remplir les quatre cellules de mesure avec 65ml d'eau distillée
- Prélever une petite quantité de chaque échantillon (A, B, C et D) de margarine et mettre chacune dans un bécher
- Mettre les béchers sur une plaque chauffante et régler la température afin de faire fondre les margarines.
- Peser 3g de chaque échantillon (A, B, C et D) de margarine et les introduire dans les flacons d'oxydation à l'air
- Régler le débit d'air à 10 l/h
- Relier les tubes de sortie et d'arrivée d'air aux cellules de mesure et aux flacons d'oxydation à l'aide des tubes de raccordement
- Mettre les flacons d'oxydation dans le bloc correspondant de l'appareil une fois que la température a atteint les 99°C. Démarrer l'enregistrement automatiquement et vérifier le barbotage au niveau des récipients (cellules de mesure) ;
- L'enregistrement s'arrête d'une façon automatique lorsque la conductivité se met à augmenter rapidement.



**Figure 07** : Photographie du Rancimat Metrohm 743, du complexe agroalimentaire CEVITAL

### **III-7-Analyse organoleptique**

En plus des analyses physico-chimiques, ces différents échantillons ont été soumis à une analyse organoleptique (gout, odeur, texture, couleur). Ces analyses organoleptiques ont été effectuées au sein de l'entreprise par le personnel du laboratoire et de la chaîne de production de façon anonyme.

### **III-8-Analyse statistique**

Le traitement statistique des résultats des analyses physico-chimiques (point de fusion, indice de peroxyde, acidité, teneur en sel, humidité et ph) est réalisé par l'utilisation du logiciel STATISTICA 5.5. Le degré de signification est pris à la probabilité  $p < 0.05$ .

# **Chapitre IV**

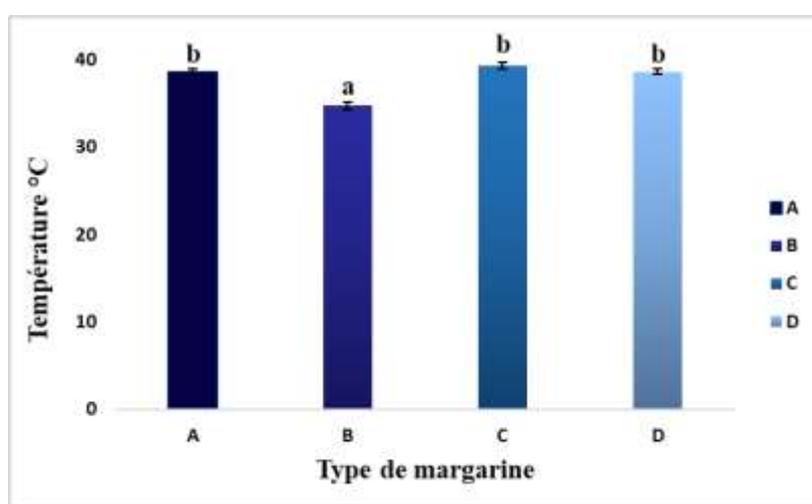
## **Résultats et discussions**

## IV-1-Analyses physiques

### IV-1-1-Point de fusion

D'après **Prior (2003)**, le point de fusion est influencé par plusieurs paramètres liés à la structure des triglycérides, ces paramètres sont : la longueur de la chaîne carbonée, nombre de doubles liaisons (**Norris, 2007**), l'isométrie géométrique (le point de fusion des configurations cis est plus bas que celui des configurations trans) (**Morin, 2008**).

Le point de fusion doit être inférieur à 37°C pour des margarines tartinables (**Prior, 2003**). Les valeurs obtenues de point de la fusion des quatre margarines (A, B, C et D) sont rapportées dans la figure ci-dessous :



**Figure 08** : Point de fusion des différents types de margarines.

L'analyse statistique a révélé : Des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ )

Il est important de fixer le point de fusion de la margarine pour qu'elle reste fondante dans la bouche mais aussi plastique à température ambiante pour résister au travail mécanique lors de la tartinabilité.

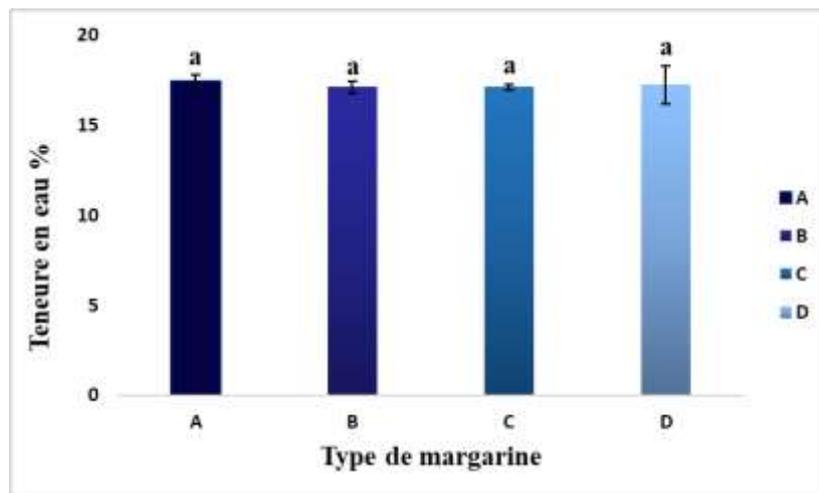
La margarine B présente une valeur conforme aux normes d'entreprise 34-37 °C. En revanche, les margarines A, C et D dépassent la température de 37°C.

Le point de fusion de ces margarines est élevé en raison de la teneur élevée en AGS et/ou AGT, ou de la structure cristalline ou bien de l'ajout d'additifs.

### IV-1-2-Teneur en eau (humidité)

À forte teneur, l'humidité favorise l'hydrolyse enzymatique et l'oxydation de la margarine. Pour toutes les margarines, le taux d'humidité ne doit pas dépasser 18%.

La teneur en eau des différentes margarines analysées est illustrée dans la figure suivante :



**Figure 09** : Humidité des différents types de margarines.

L'analyse statistique a révélé : Des lettres identiques indiquent aucune différences significatives ( $p < 0,05$ )

Les résultats obtenus montrent que les quatre échantillons A, B, C, et D ont une teneur en eau (humidité) presque identique et conforme à la norme (**ISO 662, 1998**) dont la teneur en eau est fixée au maximum 18%.

L'accroissement de la quantité d'eau favorise la croissance des micro-organismes et la décomposition enzymatique ou l'oxydation de la margarine. En revanche, la réduction de la quantité d'eau affecte l'uniformité de la margarine, en d'autres termes, la manière dont l'eau se disperse efficacement dans la partie grasse.

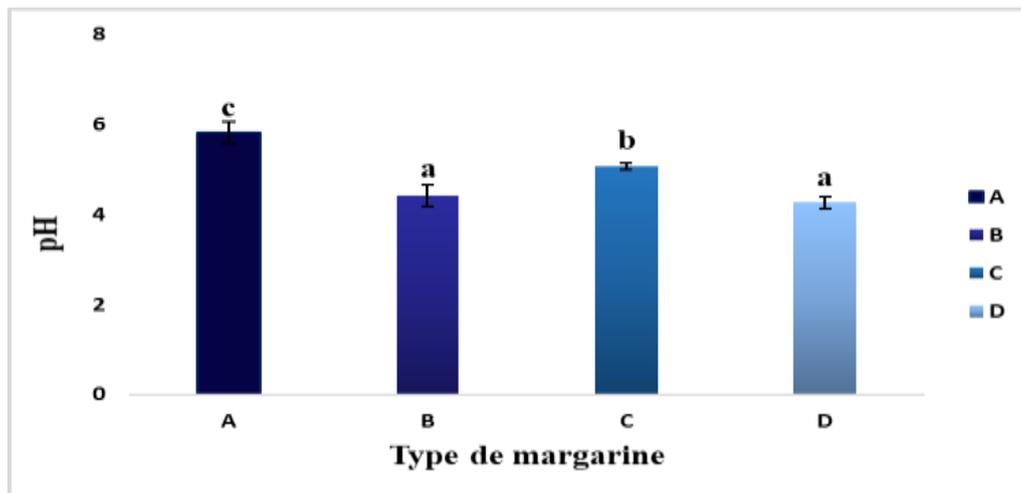
### IV-1-3- pH de la phase aqueuse

Cette mesure a été effectuée sur la phase aqueuse de la margarine. C'est un paramètre très important à connaître car il permet de prévenir le risque de contamination microbienne.

On favorise une valeur basse de ce dernier pour freiner la croissance de la majorité des microorganismes (**Faur, 1992**).

La valeur de pH est corrigée par addition d'un correcteur qui peut être les sels de l'acide citrique, l'acide lactique ainsi que leurs sels de sodium et de calcium (**Codex Alimentarius, 1992**).

Le pH des différentes margarines est illustré dans la figure ci –après :



**Figure 10** : pH des différents types de margarines.

L'analyse statistique a révélé : Des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ )

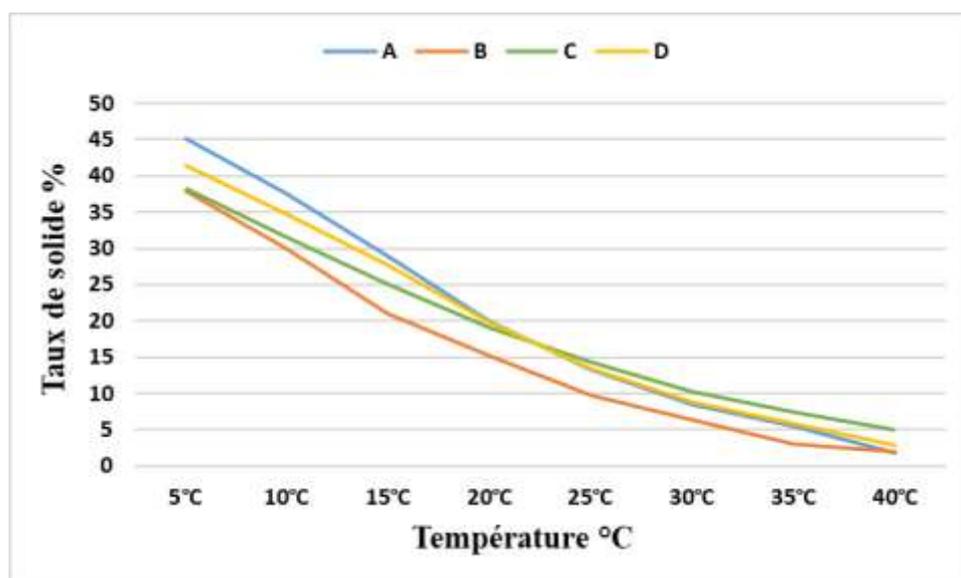
Les résultats de la figure indiquent que le pH de la phase aqueuse des margarines B, C et D se situent dans l'intervalle des normes (3,5- 5,5), Cela nous informe sur la fraîcheur des trois margarines, ce qui témoigne du bon suivi du pH lors de la production.

Contrairement à ce qui a été constaté pour la margarine A, elle va au-delà des normes (3,5-5,5), ce qui peut entraîner des contaminations particulièrement des germes entraînant une altération lipolytique (Champignons).

#### **IV-1-4- Taux de solide par SFC (Solid Fat Content)**

L'indice SFC se rapporte au pourcentage des matières grasses qui sont solides à des températures différentes. C'est un facteur essentiel à déterminer, car il est responsable de plusieurs caractéristiques du produit, y compris son aspect général, l'exsudation d'huile et les propriétés organoleptiques (**Noor Lida et al., 2002**). En fait, à chaque type de margarine (feuilletage, à tartiner, de cuisine...) correspond un type de courbe de solide déterminé. Pour les margarines à tartiner, le SFC ne doit pas dépasser 40 % à 5 °C et pas plus de 6 % à 37 °C (**De Greyt et Huyghebaert, 1993**).

Les résultats obtenus de suivi des taux de solide des différentes margarines étudiées en fonction de la température sont représentés dans la figure ci-après :



**Figure 11 :** Les variations de taux de solide en fonction de la température des différents types de margarines.

Selon l'apparence des courbes, on observe une baisse rapide des taux de solides avec l'élévation de la température. À 37°C, le taux de solide est presque nul, ce qui montre une tendance à la fonte prononcée, ce qui suggère que les quatre margarines fondent facilement dans la bouche. En termes de comparaison :

- ✓ Les valeurs les plus basses en SFC sont observées chez la margarine B, et on remarque qu'au voisinage de la température buccale le solide non fondu est inférieur à 5% , ceci s'explique par l'utilisation d'huiles riches en AGI et en AG à courtes chaînes (l'huile de coprah, palmiste ...etc.) qui fondent rapidement avec l'élévation de la température, C'est pour cette raison que la margarine a une excellente texture fondante et une meilleure facilité à tartiner.
- ✓ La margarine C est caractérisée par des valeurs élevées en SFC, c'est la raison pour laquelle sa texture est dure et cassante (SFC résiduel à 40°C voisin de 6%), ce qui témoigne de la richesse en AGS des huiles utilisées pour la fabrication de cette margarine.
- ✓ Il y a une réduction des SFC des margarines A et D par rapport à celle de la Margarine C ; cela est dû au fait que les deux margarines contiennent moins d'acides gras saturés par rapport à la margarine C.

Enfin, toutes les courbes de solides sont proches de 40°C, température à laquelle la teneur en solide est pratiquement nulle, en se basant sur le classement suivant : SFC C > SFC D > SFC A > SFC B.

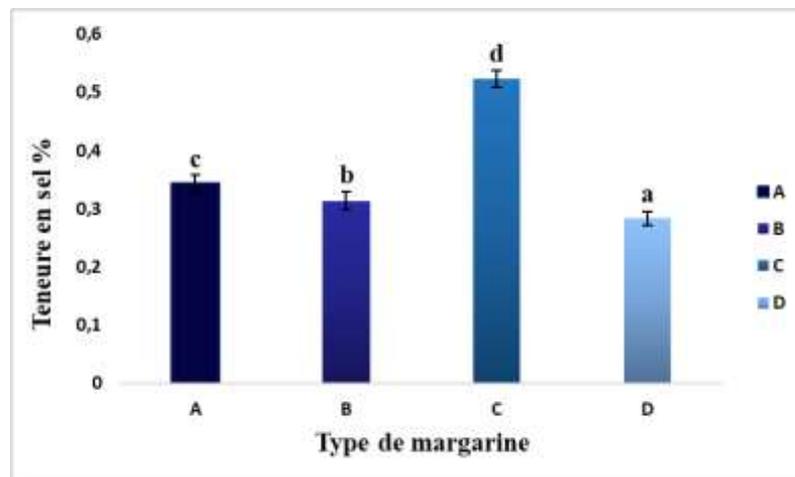
## IV-2-Analyses chimiques

### IV-2-1-Détermination la teneur en sel

Le sel est un additif important, qui à travers ses propriétés bactériostatiques peut contribuer à la protection du produit contre les dégradations microbiologiques, ce qui permet le prolongement de la durée de conservation, et en même temps améliorer la sapidité du produit à la consommation.

La quantité de sel ajoutée dépend de l'utilisation de la margarine et la catégorie de consommateur visée (Faur, 1992 ; Kone, 2001).

Les résultats de la teneur en sel des quatre margarines sont illustrés dans la figure ci-dessous :



**Figure 12 :** Teneur en sel des différents types de margarines analysées

L'analyse statistique a révélé : Des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ )

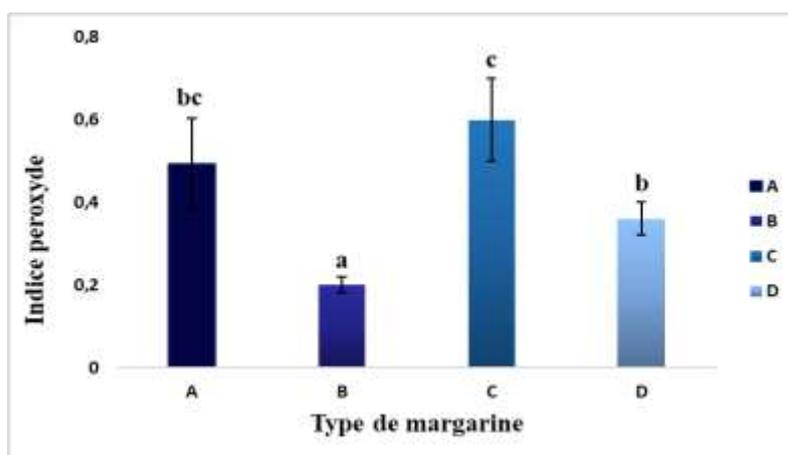
Par rapport à la norme (0,3 à 0,4 %), les résultats obtenus pour les margarines A, B sont conformes. On note une teneur en sel supérieure à la norme pour l'échantillon C (0,52 %) et une teneur inférieure pour la margarine D (0,28 %)

Il est probable que cela est dû à un mauvais dosage du sel dans la phase aqueuse en raison d'un matériel de dosage industriel défaillant avec un risque de contamination microbienne.

### IV-2-2- Détermination de l'indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est un critère qualitatif qui renseigne sur l'état d'oxydation de la margarine, utile et d'une sensibilité satisfaisante pour apprécier les premières étapes de détérioration oxydative (Frérot et Vierling, 2001).

L'indice de peroxyde des différentes margarines sont représentés dans la figure ci-après :



**Figure13** : L'indice de peroxyde des quatre margarines.

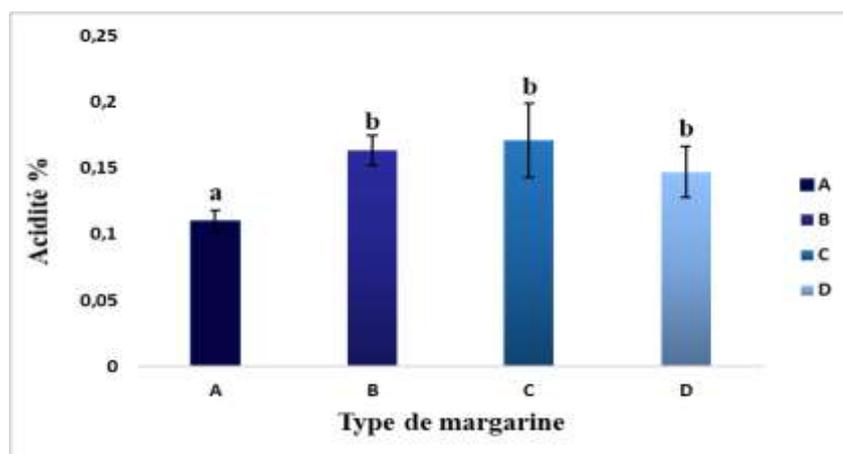
L'analyse statistique a révélé : Des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ )

Les résultats obtenus sont conformes à la norme internationale de commercialisation qui est de 10 meq O<sub>2</sub>/Kg corps gras).

En comparaison, les margarines B et D présentent des indices de peroxyde les plus faibles, cela s'explique par l'utilisation d'huiles concrètes riches en AGS qui résistent à l'oxydation.

#### IV-2-3- Détermination de l'acidité

L'acidité nous renseigne sur le degré d'hydrolyse des triglycérides constituant la margarine pendant la période de stockage, ou de leur teneur initiale. Ainsi l'indice pourrait refléter le degré d'altération de celle-ci (ISO 660,1996).



**Figure 14** : Indice d'acide des différentes quatre margarines

L'analyse statistique a révélé : Des lettres différentes indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ )

L'acidité est relativement faible pour tous les échantillons il est dessous de la norme (0,6 mgKOH/gCG). Ceci montre une faible teneur en acides gras libres, ce qui plutôt positif pour toutes les margarines testées.

### IV-3-Résultats de la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) :

La Chromatographie en phase gazeuse a donné les résultats suivant :

**Tableau VI :** Composition moyenne en acides gras des différentes margarines (en % des acides gras totaux).

Acides Gras	Pourcentage des acides gras des différentes margarines (%)			
	A	B	C	D
C6 :0	0,017	0,032	-	-
C8 :0	0,235	0,468	0,023	0,089
C10 :0	0,198	0,428	-	0,075
C12 :0	<b>2,294</b>	<b>6,157</b>	<b>0,122</b>	<b>0,925</b>
C14 :0	<b>1,364</b>	<b>2,587</b>	<b>0,613</b>	<b>0,092</b>
C14 :1	0,037	0,029	0,033	0,034
C16 :0	<b>34,63</b>	<b>26,747</b>	<b>30,65</b>	<b>33,064</b>
<b>C16 :1 trans</b>	<b>0,022</b>	-	<b>0,018</b>	<b>0,02</b>
C16 :1	0,124	0,096	0,108	0,114
C17 :0	0,094	0,065	0,088	0,1
C17 :1	0,03	0	0,04	0,034
C18 :0	<b>5,42</b>	<b>4,062</b>	<b>4,174</b>	<b>5,13</b>
<b>C18 :1 trans</b>	<b>0,505</b>	<b>0,000</b>	<b>0,056</b>	<b>0,429</b>
C18 :1	<b>31,464</b>	<b>27,164</b>	<b>29,43</b>	<b>30,268</b>
C18 :1	1,058	1,031	1,22	1,09
C18 :2 trans	<b>0,053</b>	-	-	<b>0,06</b>
<b>C18 :2 trans</b>	<b>0,093</b>	<b>0,117</b>	<b>0,26</b>	<b>0,151</b>
<b>C18 :2 trans</b>	<b>0,079</b>	<b>0,097</b>	<b>0,216</b>	<b>0,128</b>
C18 :2 cis	<b>19,378</b>	<b>29,81</b>	<b>29,781</b>	<b>23,575</b>
C20 : 0	0 ,353	0,29	0,385	0,379
<b>C18 :3 trans</b>	<b>0,081</b>	-	<b>0,204</b>	<b>0,152</b>
<b>C18 :3 trans</b>	<b>0,081</b>	-	<b>0,211</b>	<b>0,153</b>
C18 :3	<b>2,008</b>	<b>0,246</b>	<b>1,591</b>	<b>2,581</b>
C20 :1	0,166	0,128	0,205	0,194
C22 :0	0,133	0,306	0,296	0,183
<b>Total AGT</b>	<b>0,914</b>	<b>0,214</b>	<b>0,965</b>	<b>1,093</b>
A GS	<b>44,738</b>	<b>41,142</b>	<b>36,351</b>	<b>40,037</b>
AGMI	<b>32,879</b>	<b>28,448</b>	<b>31,036</b>	<b>31,734</b>
AGPI	<b>21,386</b>	<b>30,056</b>	<b>31,372</b>	<b>26,156</b>

- **Sur le plan qualitatif**

Les acides gras présents dans les quatre margarines sont présents en différents nombres de carbones, allant de 6 à 20 carbones.

On constate la présence d'acides gras à chaîne courte (AGCC) à 6 carbones dans les margarines A, B et D. On peut attribuer la présence de ce type d'acides gras à l'origine de la matière première utilisée dans la fabrication de la margarine : coprah, palmiste, palme.

L'acide laurique ( $C_{12:0}$ ) est présent à faible concentration dans les margarines C et D (moins de 1%), mais à une concentration notable dans la margarine A (2,294%) et la margarine B (6,157%). L'acide laurique est le principal acide gras de l'huile de coprah (huile du cocotier), dont il constitue environ 50 % des acides gras.

L'acide myristique ( $C_{14}$ ) est présent dans toutes les margarines, avec des concentrations faibles variant de 0,092% (margarine D) à 2,587 (margarine B). On le trouve en particulier dans l'huile de coprah, l'huile de palmiste et la matière grasse laitière,

Les acides gras à longue chaîne (AGLC) : l'acide palmitique, oléique, linoléique et linoléinique sont présents dans toutes les margarines. La forme trans est notée pour les acides gras suivants  $C_{16} : 1$ ,  $C_{18} : 1$ ,  $C_{18} : 2$  et  $C_{18} : 3$ . Le  $C_{18} : 1$  trans est présent dans les margarines A et D, alors que les margarines B et C contiennent la forme trans du  $C_{18} : 2$ .

- **Sur le plan quantitatif**

Nous remarquons que les acides palmitique ( $C_{16} : 0$ ), oléique ( $C_{18} : 1$ ) et linoléique ( $C_{18} : 2$ ) représentent le plus grand pourcentage et représente l'essentiel de la composition en acides gras des quatre margarines différentes (tableau VI).

L'acide palmitique  $C_{16} : 0$  est trouvé en proportions élevées dans les margarines A, C et D, avec des teneurs d'environ 34,63%, 30,65% et 39,064% respectivement. Tandis que sa teneur est légèrement moindre dans la margarine B (26,747%). La présence élevée de cet acide est due à l'utilisation des huiles de palme dans la fabrication de la margarine. L'huile de palme a des propriétés physico-chimiques intéressantes et notamment sa très faible oxydabilité, et donc sa stabilité, ainsi que sa résistance au chauffage. Elle représente une alternative pour certains usages technologiques (**Lecerf, 2013**).

Nos résultats ont également montré que les quatre margarines étudiées sont de bonnes sources d'acide oléique ( $C_{18} : 1$ ) qui varie de 27,16% (B) à 31,464% (A) des acides gras totaux. Cette teneur élevée est due à l'utilisation des huiles d'arachide, de Colza, et de Tournesol. Des études expérimentales et épidémiologiques ont établi un lien entre

l'augmentation de la consommation d'acide oléique à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2, d'obésité et d'hypertension (**Lopez-Miranda et al., 2010**).

Les quatre margarines contiennent des quantités significatives d'acide linoléique C18 : 2 variant de 19,37 à 29,81 %, et présentent des faibles teneurs en acide linoléique C18 : 3 avec un intervalle 0,246-2,581%. Donc ces margarines sont riches en C18 : 2 mais pauvres en C18 : 3.

La teneur en AGPI varie de 21,38 à 31,37%. Des auteurs ont noté des variations plus importantes ; **Hernández-Martínez et al., (2011)** en Mexique (24,66 à 56,51%), **Garsetti et al., (2016)** aux États-Unis (26,2 à 60,6%).

Les acides linoléique et linoléique alimentaires sont les précurseurs des séries n-6 et n-3 et sont donc nécessaires à de nombreux processus dans le corps humain, tels que la croissance et le développement, les fonctions cardiovasculaires, la régulation du système nerveux central et la régulation du système immunitaire, la régulation de la pression artérielle et des taux de lipides plasmatiques (**Wijendran et Hayes, 2004, Vucic, 2013**).

- **Présence d'acides gras Trans (AGT)**

Des études sur l'homme ont établi une association positive entre la consommation d'acides gras trans industriels et le développement de maladies cardiovasculaires, ce qui a conduit plusieurs pays à promulguer des lois limitant la présence d'acides gras trans industriels dans les produits alimentaires (**Oteng et Kersten, 2020**). Nos résultats montrent que nos margarines contiennent des acides gras trans principalement la forme trans des C16 : 1, C18 : 1, C18 : 2 et C18 : 3.

Les quatre échantillons présentent des teneurs en acides gras trans différentes d'une margarine à l'autre et conformes aux normes internationales (2 % de la teneur totale en matières grasses).

Les résultats obtenus indiquent que la margarine B présente la teneur la plus basse en AGT (0,214), cela s'explique par l'utilisation d'huiles riches en AGS et des méthodes modernes industrielles, comme l'inter-estérification des huiles, pour la production de cette margarine tartinable.

La plupart des acides gras trans sont générés lors de la transformation industrielle par hydrogénation partielle des huiles végétales riches en AGPI. La quantité d'acides gras trans dans les huiles végétales partiellement hydrogénées peut atteindre 60 %, avec différentes

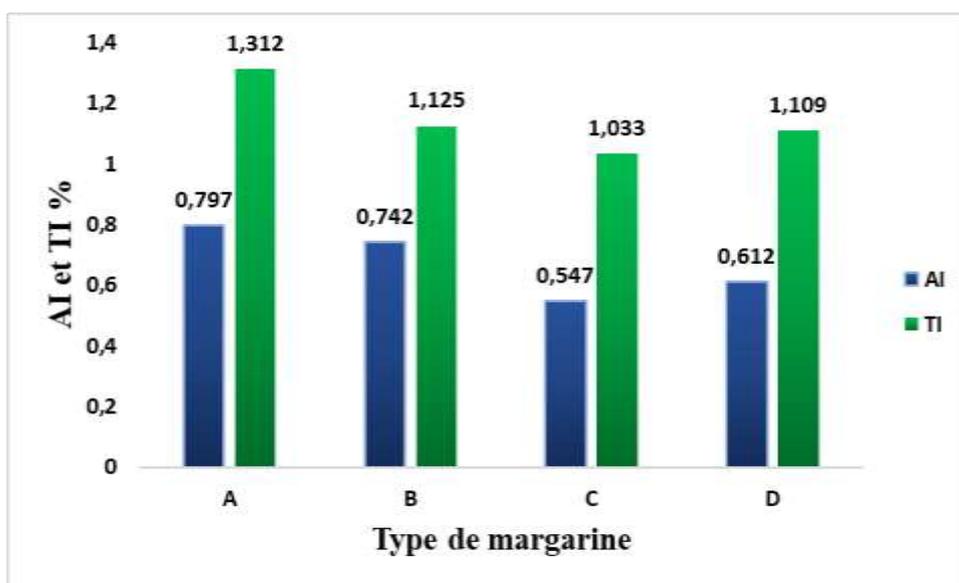
formes d'acide trans-octadécénoïque (trans 18 : 1) représentant 80 à 90 % de la teneur totale en acides gras trans (**Kuhnt *et al.*, 2011**). Les trois valeurs relevées pour les margarines A (0,914%), C (0,965) et D (1,093%), peuvent s'expliquer par une utilisation des huiles végétales partiellement hydrogénées qui renferment des taux d'AG trans relativement faibles. La littérature rapporte des taux très élevés dans les margarines consommées dans certains pays, comme la Serbie : 10,14% (**Vucic *et al.*, 2015**) ou 19,2% aux Etats Unis (**Garsetti *et al.*, 2016**), alors que dans d'autres pays, elle est inférieure comme en Slovénie 0,55% (**Abramovi *et al.*, 2018**), et 0,48% en Grèce (**Kroustallaki *et al.*, 2011**).

L'indication des acides gras trans dans l'étiquetage nutritionnel devrait être obligatoire pour les teneurs supérieures à 0,1 g/100 g dans les produits de boulangerie et les produits laitiers, et à 0,1 % pour les huiles végétales, les margarines et le beurre (**Léger *et al.*, 2005**).

#### **IV-4-Détermination d'indice athérogène (AI) et l'indice de thrombogénicité (TI)**

Afin d'évaluer les effets potentiels des AG sur l'incidence des phénomènes pathogènes, tels que l'athérome et/ou la formation de thrombus, nous avons calculé les indices athérogènes et thrombogènes dans les quatre margarines. Le calcul indices AI et TI fait intervenir trois acides gras hautement athérogènes (laurique, myristique, palmitique) et des acides gras insaturés (forme cis et trans). L'acide miristique (C14 :0) a un coefficient de 4, car il est considéré comme le plus athérogène des acides gras (**Silva *et al.* 2021**).

D'après les résultats de la figure ci-dessous (17), on observe que la margarine c'est moins athérogène et aussi moins thrombogène, suivie de margarines D, B et A respectivement.



**Figure 15** : Indice athérogène (AI) et Indice de thrombogénicité (TI) des quatre margarines analysées

Les quatre margarines à tartiner présentaient des indices athérogènes (AI) relativement bas, variant entre 0,547 et 0,797, ces résultats étant comparables aux intervalles de valeurs (0,23 à 0,63) observés pour les margarines molles étudiées en Serbie par **Vučić *et al.*, (2015)**. En revanche, leurs indices thrombogènes (TI), se situant entre 1,033 et 1,312, étaient plus élevés que ceux mesurés pour les margarines en Serbie, qui variaient entre 0,44 et 0,97. La margarine A ayant enregistré la valeur la plus élevée se caractérise par la teneur la plus élevée en acides gras saturés, la plus faible teneur en AGPI et teneur de 2,29% d'acide laurique et 1,63 % en acide myristique.

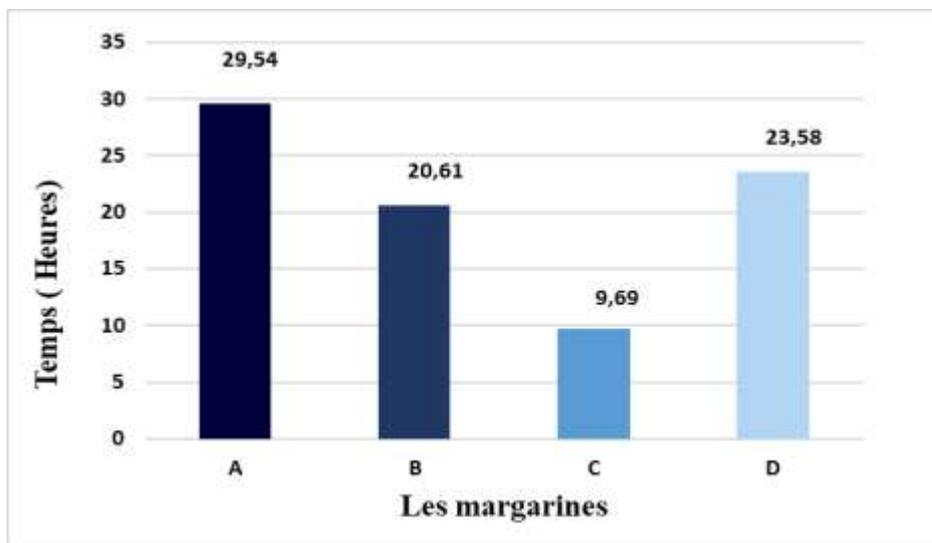
Ces résultats suggèrent que la composition en AG des margarines devrait être améliorée en remplaçant les AGT et AGS athérogènes par des acides gras bénéfiques, afin d'éviter les effets néfastes sur la santé.

Selon **Silva *et al.* (2021)**, pour éviter ces effets néfastes, la consommation de graisses saturées devrait représenter moins de 10 % de la consommation énergétique totale, et l'apport d'AGT devrait être inférieur à 1 % de la consommation énergétique totale (**OMS, 2018**).

#### IV-5- Résultats du Test d'oxydation accéléré (Test au Rancimat)

La mesure de la stabilité oxydative des matières grasses peut être évaluée par différentes méthodes et l'une de ces méthodes est le test au Rancimat qui peut répondre à plusieurs objectifs, tels que : l'évaluation de l'efficacité des antioxydants, la résistance d'une matière grasse à l'oxydation, la conformité à un cahier de charges, la détermination de la durabilité d'un corps gras (**Judde, 2004**).

Les données obtenues lors de l'analyse des quatre échantillons de margarine sont schématisés sous forme de graphes représentant le temps d'induction en fonction de la conductivité en annexe II (figure 02, 03, 04 et 05) et résumées dans la figure qui suit :



**Figure16** : Diagramme des résultats du test d'oxydabilité accélérée (Teste au Rancimat).

Le test au Rancimat offre l'avantage de suivre plusieurs échantillons en parallèle, avec des durées d'analyse réduites (**Rahmani, 2007**). D'après les résultats, on observe une variation de la durée d'induction d'une margarine à l'autre.

À titre comparatif, le temps d'induction le plus court (9,69h) a été relevé pour la margarine C, ceci signifie que cette dernière présente une moindre stabilité oxydative responsable de l'odeur de rance qui la caractérise. Elle est la plus riche en AGI et la moins riche en AGS.

La margarine B présente un temps d'induction important (20,61h), mais inférieur au temps d'induction de la margarine D et A respectivement de 23,58 et 29,54h. Cela est dû au processus de modification des huiles utilisées pour fabriquer la margarine et qui permet de préserver les acides gras polyinsaturés présents dans ces huiles. Les huiles et graisses végétales raffinées non hydrogénées (comme c'est mentionné sur l'étiquetage) destinées à la fabrication de la margarine A sont riches en AGS.

## IV-6-Analyses organoleptiques

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire physicochimique et les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau VII** : Résultats des analyses organoleptiques des quatre margarines analysées.

	<b>Margarines</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Date de fabrication</b>	29/02/2024	26 /01/2024	14/02/2024	04/02/2024
<b>Date de péremption</b>	28/02/2025	25/01/2025	14/02/2025	03/02/2025
<b>Numéro du lot</b>	L1TOMTA2	L1HA260124	043	035
<b>Texture</b>	Dure	Bonne et fondante	Bonne et fondante	Bonne et fondante
<b>Goût et odeur</b>	Caractéristique Au produit	Caractéristique Au produit	Caractéristique Au produit	Caractéristique Au produit
<b>Couleur</b>	jaunâtre	Crème jaunâtre	Crème jaunâtre	jaunâtre

D'après les résultats du tableau VII :

La texture des quatre margarines est bonne et tartinable, résultant d'une bonne cristallisation et au bon processus de fabrication à l'exception de la margarine A qui est un peu dure.

Les margarines présentent une odeur et un goût satisfaisant qui caractérise le produit (surtout la margarine B), cela est probablement dû à l'utilisation de quantités adéquates d'ingrédients et d'arômes.

Chaque margarine se distingue par sa couleur caractéristique. Les margarines A et D sont jaunâtres, tandis que celles de type B et C ont une teinte crème jaunâtre. Cette coloration est vraisemblablement due à l'ajout approprié de bêta-carotène.

# **Conclusion et perspectives**

Pour répondre aux attentes croissantes des consommateurs, toute industrie agroalimentaire visant à conquérir le marché et à fidéliser ses clients doit impérativement innover en proposant de nouveaux produits et en améliorant ceux existants.

Notre recherche a pour but d'étudier les propriétés physico-chimiques et d'évaluer la teneur en acides gras trans (AGT) de quatre margarines de table en barquettes, produites localement et désignées par les codes A, B, C et D.

Les résultats obtenus des analyses physicochimiques (point de fusion, humidité, pH, SFC, teneur en sel, indice de peroxyde et indice d'acidité), la stabilité oxydative (test au Rancimat), et l'analyse organoleptique (texture, couleur, odeur et goût) nous révèlent :

- Les points de fusion pour (A, C et D), le pH pour (B, C et D), le taux de sel pour (C et D) dépassent les normes. On note une meilleure stabilité oxydative, une texture dure et cassante pour la margarine A, alors la margarines B se caractérise par une meilleure tartinabilité.
- Des différences importantes sont notées dans la stabilité oxydative des phases grasses de ces margarines qui sont en relation étroite avec la composition en acides gras. À titre comparatif, le temps d'induction le plus court (9,69h) a été relevé pour la margarine C alors que le plus élevé est noté pour la margarine D (29,54h).

L'analyse chromatographique (CPG) a montré que le profil en acides gras majoritaires est presque similaire pour tous les échantillons avec juste des variations au niveau de leurs pourcentages respectifs. Ceci implique l'utilisation des mêmes huiles végétales, en partie ou en totalité. L'analyse a permis de mettre en évidence la richesse des deux margarines C et B en AGPI, alors que les margarines les deux margarines A et B sont plus riches en acides gras saturés.

La teneur en AGT (en pourcentage des AG totaux) des différentes margarines est faible (0,21- 1,09 %) et inférieure à la limite établie (2 % de la teneur totale). Les quatre margarines à tartiner présentaient des indices athérogènes (AI) relativement bas, variant entre 0,547 et 0,797. En revanche, leurs indices thrombogènes (TI), se situant entre 1,033 et 1,312. La margarine A ayant enregistré la valeur la plus élevée pour se caractérise par la teneur la plus élevée en acides gras saturés, la plus faible teneur en AGPI, une teneur de 2,29% en acide laurique et 1,63 % en acide myristique. Ces résultats suggèrent que la composition en AG des

margarines devrait être améliorée en remplaçant les AGT et AGS athérogènes par des acides gras bénéfiques, afin d'éviter les effets néfastes sur la santé. La législation concernant ces acides gras devient de plus en plus restrictive, obligeant les industries à modifier les graisses disponibles. Le fractionnement et l'inter-estérification représentent des alternatives certaines à l'hydrogénation qui est toujours pratiquée.

Il serait souhaitable d'étaler ce travail aux différents types de margarines (confiserie, boulangerie...), des produits assimilés et des mélanges tartinables. Une attention doit être aussi accordée à l'évaluation de l'influence de paramètres tels que la teneur en matières solides, le point de fusion, le polymorphisme et la consistance des graisses dans les margarines pendant le stockage.

# **Références Bibliographiques**

**A**

- Andersen, AJC et Williams, PN (2016). Margarine. Elsevier
- Abramovič, H., Vidrih, R., Zlatič, E., Kokalj, D., Schreiner, M., Žmitek, K., ... & Pravst, I. (2018). Trans fatty acids in margarines and shortenings in the food supply in Slovenia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 74, 53-61.
- Apfelbaum, M., Romon-Rousseaux, M., Romon, M., & Dubus, M. (2009). Diététique et nutrition. (DEPRECIATED).
- Arellano, M., Norton, I. T., & Smith, P. (2015). Specialty oils and fats in margarines and low-fat spreads. In *Specialty oils and fats in food and nutrition* (pp. 241-270). Woodhead Publishing.
- Astrup, A., Bertram, H. C., Bonjour, J. P., De Groot, L. C., de Oliveira Otto, M. C., Feeney, E. L., ... & Soedamah-Muthu, S. S. (2019). WHO draft guidelines on dietary saturated and trans fatty acids: time for a new approach?. *Bmj*, 366.
- Abramovič, H., Vidrih, R., Zlatič, E., Kokalj, D., Schreiner, M., Žmitek, K., ... & Pravst, I. (2018). Trans fatty acids in margarines and shortenings in the food supply in Slovenia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 74, 53-61,

**B**

- Baylin, A., Siles, X., Donovan-Palmer, A., Fernandez, X. et Campos, H. (2007). Composition en acides gras des aliments du Costa Rica, y compris la teneur en acides gras trans. *Journal de composition et d'analyse des aliments*, 20 (3-4), 182-192.
- Béatrice, D. R. (2009). Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires (4e ed.). Lavoisier.
- Berthoud L et Real M. (2008). Pourquoi se méfier des acides Gras Trans ? Haute école de santé Genève, pp 1-6.
- Besson M et Garneau I. (2003). Avec du beurre, c'est bien meilleur ? Expo-journal, rapport interne, programme des sciences de la nature. Cégep de Saint-Félicie, pp 1-13.
- Bhardwaj, S., Passi, SJ et Misra, A. (2011). Aperçu des acides gras trans : biochimie et effets sur la santé. *Diabète et syndrome métabolique : recherche et revues cliniques*, 5 (3), 161-164.
- Birouk, A., Boukraa, I., & Lahouel, M. E. (2007). Contrôle de qualité des corps gras par la détermination de l'indice de peroxydation" MDA" (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

- Blanc M. (1992). Analyse des tourteaux oléagineux in « Karleskind ». Manuel des corps gras. Tome 2. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris, pp 1332-1341.
- Borwankar, RP, Frye, LA, Blaurock, AE et Sasevich, FJ (1992). Caractérisation rhéologique de la fonte des margarines et des pâtes à tartiner. Dans Rhéologie des aliments (pp. 55-74). Elsevier.
- Brisson, G. (1982). Lipides et nutrition humaine : analyse des données récentes sur les corps gras alimentaires. Presses Université Laval.
- Brouwer, I. A., & World Health Organization. (2016). Effect of trans-fatty acid intake on blood lipids and lipoproteins: a systematic review and meta-regression analysis. World Health Organization.
- Brown, L. C. (1956). Margarine production. Journal of the American Oil Chemists' Society, 33(10), 506-512.

### C

- Campos, R. (2005). Experimental methodology. A.G. Marangoni (Ed.), In Fat crystal networks Marcel Dekker, New York (pp. 267-349).
- Cansell, M. (2005). Impact de la cristallisation des corps gras sur les propriétés des produits finis. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 12(5-6), 427-431.
- Carr, R. A., & Vaisey-Genser, M. (2003). MARGARINE | Methods of Manufacture. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 3709–3714.
- Chaturvedi. K.K, Nanda R.K. (2010). Review on Hyphenated Gas Chromatography. International Journal of Pharmaceutical Sciences Research and Review; 5(3) ,18- 27
- Cheftel, J. C., & Cheftel, H. (1977). Introduction a la Biochimie et a la Technologie Alimentaire, vol. 1. Lavoisier in Paris, France, 381.
- Chowdhury, R., Warnakula, S., Kunutsor, S., Crowe, F., Ward, H. A., Johnson, L., ... & Di Angelantonio, E. (2014). Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: a systematic review and meta-analysis. Annals of internal medicine, 160(6), 398-406.
- Clark, P. (1986). The marketing of margarine. European Journal of Marketing, 20(5), 52-65.
- Colón-Ramos, U., Monge-Rojas, R., & Campos, H. (2014). Impact of WHO recommendations to eliminate industrial trans-fatty acids from the food supply in Latin America and the Caribbean. Health Policy and Planning, 29(5), 529-541.

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

### D

- Dadalı, C., & Elmacı, Y. (2019). Characterization of volatile release and sensory properties of model margarines by changing fat and emulsifier content. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(6), 1900003.
- Detry, R., Van Hoed, V., Sterckx, J., Deledicque, C., Sato, K., Blecker, C., & Danthine, S. (2021). Physicochemical properties of palm oil-based puff pastry model margarines related to their baking performance in long-term storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(1), 2000155.
- Dia K, Munier et Vandredeuil D. (2001). Autres valorisations de la matière grasse laitière. In : Valorisation de la matière grasse laitière. Université de Lille, pp 1-19
- De Greyt W-O et Huyghebaert A. (1993). Food and non-food applications of milk fat. *Lipid Technology* 5, pp 138-140

### E

- Ergönül, P. G. (2013). Solid fat contents and instrumental textural attributes of margarines sold in Turkish market. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5(2), 157-161.
- Estadella, D., da Penha Oller do Nascimento, C. M., Oyama, L. M., Ribeiro, E. B., Damaso, A. R., & de Piano, A. (2013). Lipotoxicity: effects of dietary saturated and trans fatty acids. *Mediators of inflammation*, 2013(1), 137579.

### F

- Faur, L. (1992). Transformation des corps gras à des fins alimentaires. *Manuel des corps gras*, 883-937
- Faur L. (1992). Technologie des margarines In « Karleskind ». Manuel des corps gras.(2).Edition Tech & Doc : Lavoisier, Paris, pp 938-988.
- François R. (1974). Les industries des corps gras : biochimie, extraction, raffinage,
- FRANÇOIS. Rouger. Industrie des corps gras. Ed : Tec et Doc. Lavoisier, 1974. p (32-51), p (283-291). ISBN : 2.88020.007.5.
- Frénot M et Vierling E. (2001). Les lipides. In Biochimie des aliments : diététique du sujet bien portant. Dion, Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, pp 79-105.

- Fruehwirth, S., Egger, S., Kurzbach, D., Windisch, J., Jirsa, F., Flecker, T., ... & Pignitter, M. (2021). Ingredient-dependent extent of lipid oxidation in margarine. *Antioxidants*, 10(1), 105.
- Faur L. (1992). Technologie des margarines In « Karleskind ». Manuel des corps gras.(2).Edition Tech & Doc : Lavoisier, Paris, pp 938-988.

## G

- Gagliardi, A. C. M., Maranhão, R. C., De Sousa, H. P., Schaefer, E. J., & Santos, R. D. (2010). Effects of margarines and butter consumption on lipid profiles, inflammation markers and lipid transfer to HDL particles in free-living subjects with the metabolic syndrome. *European journal of clinical nutrition*, 64(10), 1141-1149.
- Garcia, R. D. K. D. A., Granda, K. M. B., & Arellano, D. B. (2013). Development of a zero trans margarine from soybean-based interesterified fats formulated using artificial neural networks.
- Garsetti, M., Balentine, D. A., Zock, P. L., Blom, W. A., & Wanders, A. J. (2016). Fat composition of vegetable oil spreads and margarines in the USA in 2013: a national marketplace analysis. *International journal of food sciences and nutrition*, 67(4), 372-382.
- Ghosh, S., & Rousseau, D. (2011). Fat crystals and water-in-oil emulsion stability. *Current opinion in colloid & interface science*, 16(5), 421-431.
- Glibowski, P., Zarzycki, P., & Krzepkowska, M. (2008). The rheological and instrumental textural properties of selected table fats. *International Journal of Food Properties*, 11(3), 678-686.

## H

- Hanani, ZN & Lyn, FH, Tan, CP, Zawawi, RM, (2021). Propriétés physicochimiques des films composites d'oxyde de chitosane/graphène et leurs effets sur la stabilité au stockage de la margarine à base d'huile de palme. *Hydrocolloïdes alimentaires* , 117 , 106707.
- Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2016). Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 52-58.

- Hernández-Martínez, M., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2011). Fatty acid profile including trans fatty acid content of margarines marketed in Mexico. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(10), 1485-1495.
- Hondoh, H., & Ueno, S. (2016). Polymorphism of edible fat crystals. *Progress in crystal growth and characterization of materials*, 62(2), 398-399.
- Hu, P., Xu, X., & Yu, L. L. (2017). Effect of fatty acid chain length on the crystallization behavior of trans-free margarine basestocks during storage. *Journal of Oleo Science*, 66(4)

### I

- ISO 662. (1998). *Corps Gras d'Origines Animale et Végétale – Détermination de la teneur en eau et en matières volatiles*. (2), pp 1-7.
- ISO NORME INTERNATIONALE. 2006. Méthode ISO 6886:2006 (F). *Corps gras d'origines animale et végétale – détermination de la stabilité à l'oxydation (essai d'oxydation accéléré)*. Ed : 2.

### J

- Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (1992). *Codex alimentarius*. Food & Agriculture Org..
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33 14 Ramadhan 1440 19 mai 2019 contenant l'Arrêté interministériel du 12 Rabie Ethani 1440 correspondant au 20 décembre 2018 portant règlement technique relatif aux spécifications de la margarine, des produits assimilés et des mélanges tartinables.

### K

- K. N., & Zaliha, O. (2018). Influence of enzymatic and chemical interesterification on crystallisation properties of refined, bleached and deodorised (RBD) palm oil and RBD palm kernel oil blends. *Food research international*, 106, 982-991.
- Kadhum, A. A. H., & Shamma, M. N. (2017). Edible lipids modification processes: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(1), 48-58.

- Kandhro, A., Sherazi, S. T. H., Mahesar, S. A., Bhangar, M. I., Talpur, M. Y., & Rauf, A. (2008). GC-MS quantification of fatty acid profile including trans FA in the locally manufactured margarines of Pakistan. *Food Chemistry*, 109(1), 207-211.
  - Karleskind A et Wolff J-P. (1992). Manuel des corps gras. Tome 1. Ed. Tech & Doc, Paris. (08) : 1579p.
  - Karlskind A., 1992. Manuel des corps gras. Edition : Tech et Doc. Lavoisier. Paris, ISBN : 2-85-206-662-9 .
  - KELLENS, M. et G. CALLIAUW. 2013, Oil Modification Processes, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 978- 1-4443-3684-9. 5, 11, 13
  - Kim, B. H., Lumor, S. E., & Akoh, C. C. (2008). Trans-free margarines prepared with canola oil/palm stearin/palm kernel oil-based structured lipids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(17), 8195-8205.
  - KONE S., 2001. Fabrication artisanale de margarine. Information technique. Agence allemande de coopération technique.
  - Kroustallaki, P., Tsimpinos, G., Vardavas, C. I., & Kafatos, A. (2011). Fatty acid composition of Greek margarines and their change in fatty acid content over the past decades. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(7), 685-691.
  - Kuhnt K, Baehr M, Rohrer C and Jahreis G. (2011). Trans fatty acid isomers and the trans-9/trans-11 index in fat containing foods. *European Journal of Lipid Science and*
- L**
- Laia, O. M., Ghazalia, H. M., Cho, F., & Chong, C. L. (2000). Physical and textural properties of an experimental table margarine prepared from lipase-catalysed transesterified palm stearin: palm kernel olein mixture during storage. *Food chemistry*, 71(2), 173-179.
  - Li, Y., Zhao, J., Xie, X., Zhang, Z., Zhang, N., & Wang, Y. (2018). A low trans margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. *Food Chemistry*, 255(January), 405–413.
  - Larque, E., Zamora, S. et Gil, A. (2001). Acides gras trans alimentaires au début de la vie : une revue. *Développement humain précoce*, 65, S31-S4.

- Larqué, E., Garaulet, M., Pérez-Llamas, F., Zamora, S., & Tebar, F. J. (2003). Fatty acid composition and nutritional relevance of most widely consumed margarines in Spain. *Grasas y Aceites*, 54(1), 65-70.
- Lecerf, J. M. (2011). Les huiles végétales: particularités et utilités: Vegetable oils: Particularities and usefulness. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(3), 257-262
- Li, C. (2019). Global surveillance of trans-fatty acids. *Preventing Chronic Disease*, 16.
- Lima, J. F. F. L. (2015). Aplicação e definição de metodologias para melhoria contínua no processo de produção na área das margarinas.

### M

- Marangoni, A. G., & Wesdorp, L. H. (2012). Structure and properties of fat crystal networks. CRC Press.
- Miskandar, M. S., Che Man, Y. B., Yusoff, M. S. A., & Abdul Rahman, R. (2002). Effect of emulsion temperature on physical properties of palm oil-based margarine. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(12), 1163-1168.
- Miskandar, M. S., Man, Y. C., Yusoff, M. S. A., & Rahman, R. A. (2005). Quality of margarine: fats selection and processing parameters. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 14(4), 387.
- Moll M et Moll N. (1998). Additifs alimentaires et auxiliaires technologiques. 2ème Edition: DONOD. Paris, pp 89-96.
- Morin O.(2008). Huiles végétales, margarines et phases grasse industrielles : Les solutions technologiques à la réduction des acides gras Trans (AGT). Institut des corps Gras, Bordeaux, pp 1-32.

### N

- Noor Lida H-M-D, Sundram K, Siew W-L, Aminah A et Mamot S. (2002). TAG composition and solid fat content of palm oil, sunflower oil, and palm kernel olein blends before and after chemical interesterification. *Journal American Oil Chemistry and society* 79, 1137-1144
- Nadeem, M., Imran, M., Taj, I., Ajmal, M., & Junaid, M. (2017). Omega-3 fatty acids, phenolic compounds and antioxidant characteristics of chia oil supplemented margarine. *Lipids in health and disease*, 16, 1-12.

- Nguyen, V., Rimaux, T., Truong, V., Dewettinck, K., & Van Bockstaele, F. (2019). Granular crystals in palm oil based shortening/margarine: A review. *Crystal Growth & Design*, 20(2), 1363-1372
- Nor Aini, I., & Miskandar, M. S. (2007). Utilization of palm oil and palm products in shortenings and margarines. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 422-432.
- Norris, S. (2007). *Les gras trans: le fardeau pour la santé*. Service d'information et de recherche parlementaires, Bibliothèque du Parlement Nuissances et réglementation. Tek & Doc-Lavoisier. Paris, pp 59-288.

### O

- O'Brien, RD (2009). *Graisses et huiles : formulation et traitement pour les applications*, troisième édition (3e éd.). Presse CRC
- OMS, (2019). *Compte à rebours jusqu'en 2023 : rapport de l'OMS sur l'élimination mondiale des graisses* Organisation mondiale de la santé, Genève.
- Oteng, A. B., & Kersten, S. (2020). Mechanisms of action of trans fatty acids. *Advances in nutrition*, 11(3), 697-708.

### P

- Pande, G., & Akoh, C. C. (2013). Enzymatic synthesis of trans-free structured margarine fat analogs with high stearate soybean oil and palm stearin and their characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 232-239.
- Patel, A. R., Nicholson, R. A., & Marangoni, A. G. (2020). Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*, 33, 61-68.
- Pikul, J., Wojtowski, J., Dankow, R., Kuczynska, B., & Lojek, J. (2008). Fat content and fatty acids profile of colostrum and milk of primitive Konik horses (*Equus caballus gmelini* Ant.) during six months of lactation. *Journal of Dairy Research*, 75(3), 302–309.
- PRIOR E, 2003 .Usage des corps gras alimentaire dans différents secteurs de la technologie alimentaire. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. Pp 147- 179

## R

- Rahmani M. (2007). Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. Les Technologies de laboratoire, 2 :18-21.
- Rajah, K. K. (2014). Spreadable products. *Fats in Food Technology* 2e, 213-252.
- Ratnayake, W. M. N., Gagnon, C., Dumais, L., Lillycrop, W., Wong, L., Meleta, M., & Calway, P. (2007). Trans fatty acid content of Canadian margarines prior to mandatory trans fat labelling. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(9), 817.

## S

- Sahri, M. M., & Idris, N. A. (2010). Palm stearin as low trans hard stock for margarine. *Sains Malaysiana*, 39(5), 821-827.
- Saillard, M. (2010). Margarines et matières grasses tartinables. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(5), 274-280.
- Silva, T. J., Fernandes, G. D., Bernardinelli, O. D., da Rosa Silva, E. C., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Organogels in low-fat and high-fat margarine: A study of physical properties and shelf life. *Food Research International*, 140, 110036.
- Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. *Food Research International*, 147, 110486.
- Sivakanthan, S., & Madhujith, T. (2020). Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. *Lwt*, 132, 109880.

## T

- Te Morenga, L., & Montez, J. M. (2017). Health effects of saturated and trans-fatty acid intake in children and adolescents: Systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 12(11), e0186672.
- Trémolières J., serville Y. Jaquot R et Dupin H. 1980.Les aliment. In « Manuel d'alimentation humaine » Tome 2.Ed.8. European Science Foundation.Paris.2-7101-0069-X : 208-248.

## V

- Vaisey-Genser, M. (2003). MARGARINE| types and properties.
- Vučić, V., Arsić, A., Petrović, S., Milanović, S., Gurinović, M., & Glibetić, M. (2015). Trans fatty acid content in Serbian margarines: urgent need for legislative changes and consumer information. *Food chemistry*, 185, 437-440.

## W

- WHO. (2020). Countdown to 2023: WHO report on global trans-fat elimination .
- Wolff, R. L. (1994). Les isomères 18: 1 trans dans l'alimentation des Européens. Evaluations quantitative et qualitative. *Oleagineux, Corps Gras, Lipides*, 3, 209-218.
- World Health Organization. (2019). Healthy diet (No. WHO-EM/NUT/282/E). World Health Organization. Regional Office for the Eastern Mediterranean

## X

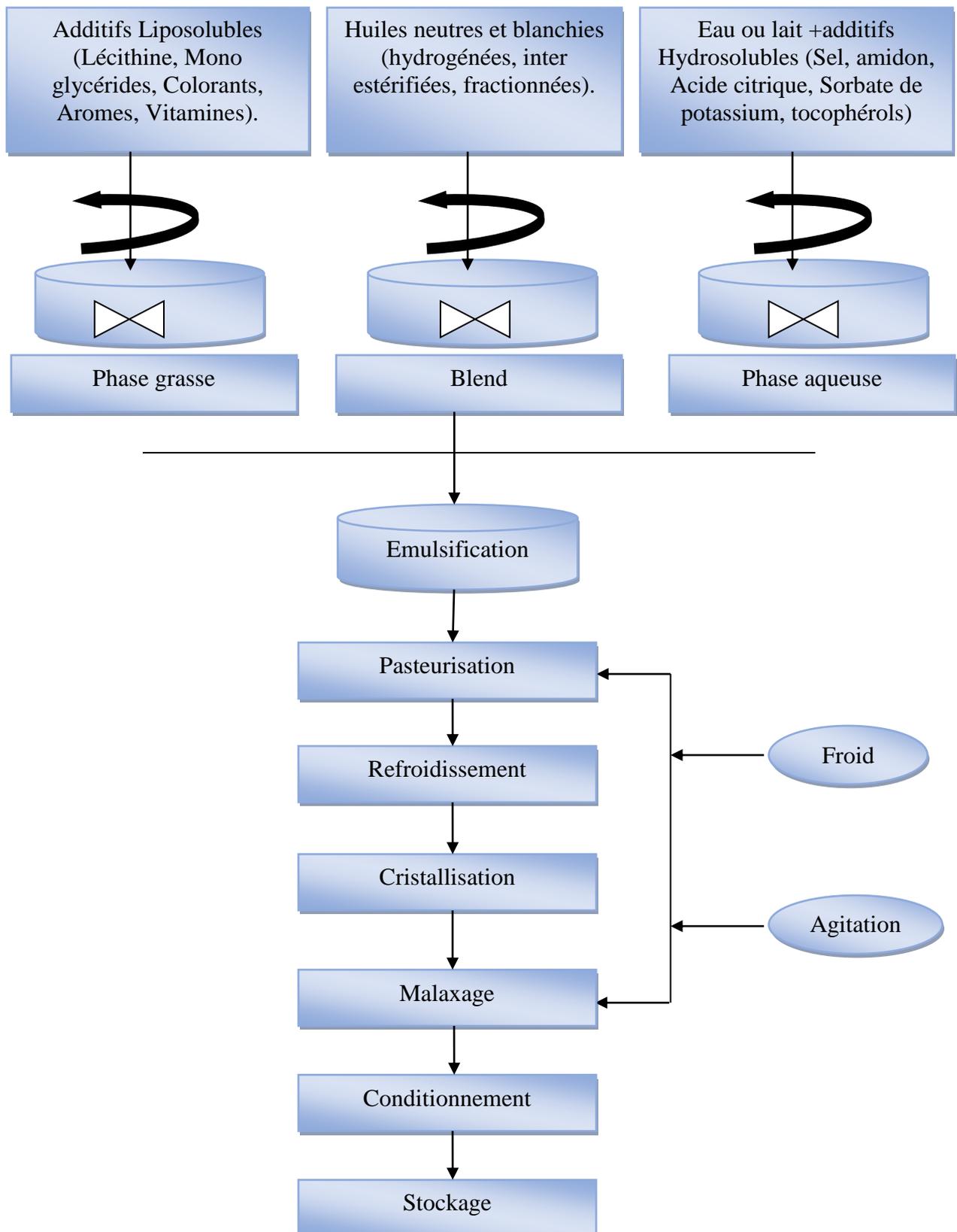
- Xavier PAGÈS-XATART-PARÈS (10 déc. 2008) Ingénieur-chimiste - Responsable du département Technologie et environnement de l'ITERG (Institut des corps gras).

## Z

- Zhang, H., Jacobsen, C., Pedersen, LS, Christensen, MW, & Adler-Nissen, J. (2006). Stabilité au stockage des margarines produites à partir de graisses interestérifiées par voie enzymatique comparées à celles préparées par des méthodes conventionnelles – Propriétés chimiques. *Revue européenne des sciences et technologies des lipides* , 108 (3), 227-238.
- Zhang, H., Smith, P., & Adler-Nissen, J. (2004). Effects of degree of enzymatic interesterification on the physical properties of margarine fats: solid fat content, crystallization behavior, crystal morphology, and crystal network. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4423-4431.
- Zhang, Z., Lee, W. J., & Wang, Y. (2021). Evaluation of enzymatic interesterification in structured triacylglycerols preparation: a concise review and prospect. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(19), 3145-3159.

# **ANNEXES**

## Annexe I



**Figure 01 :** Diagramme de processus de fabrication et du conditionnement de la margarine (Karleskind, 1992).

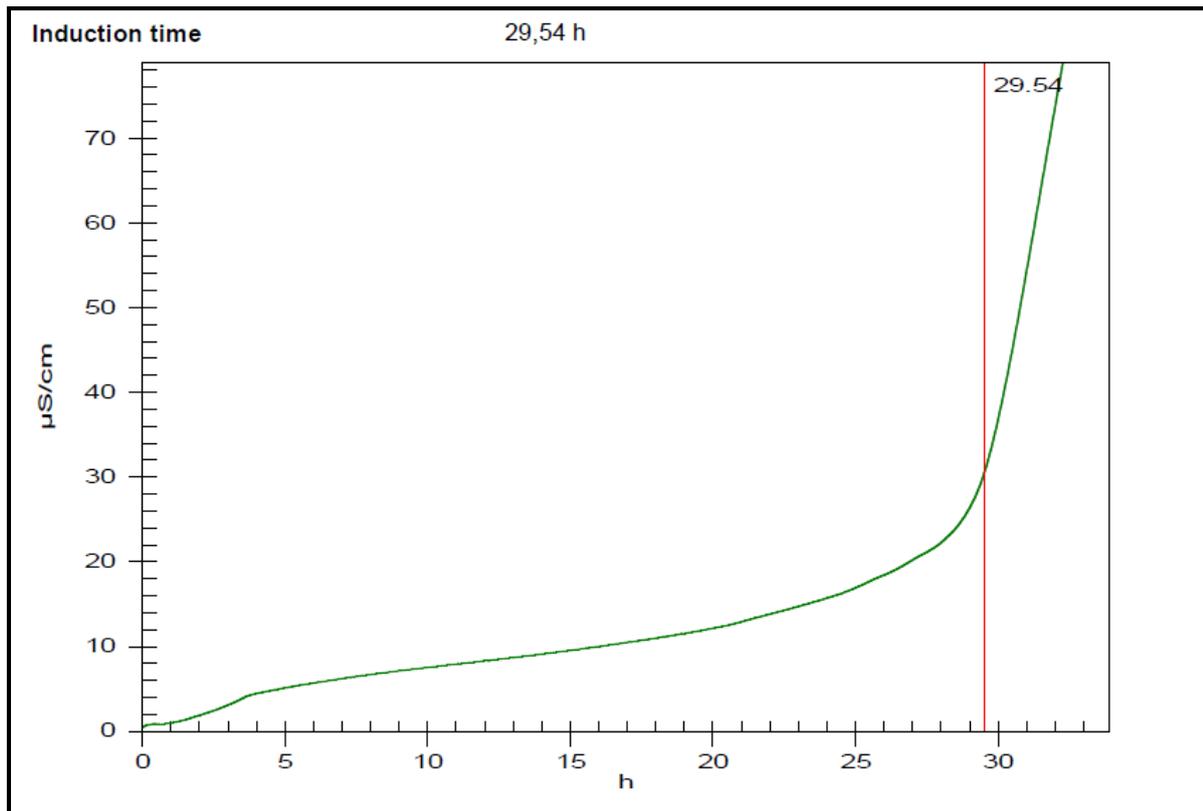


Figure 02 : Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine A

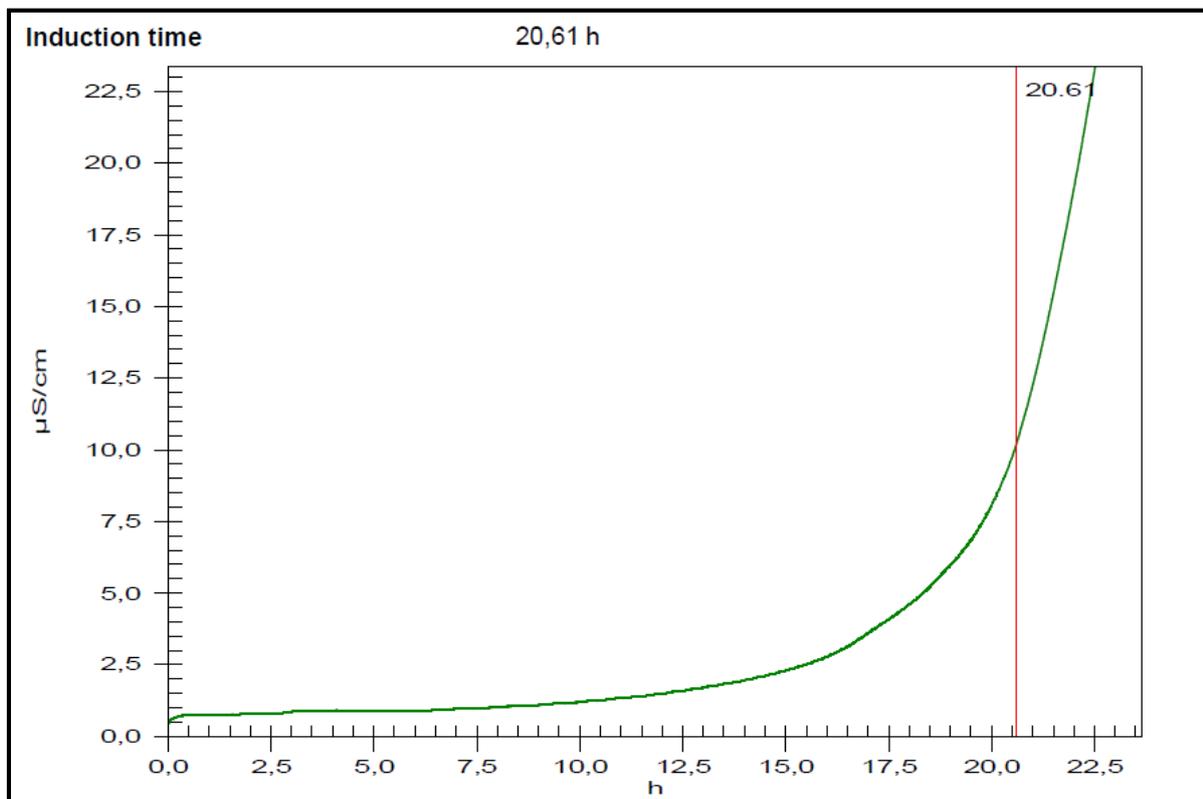


Figure 03 : Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine B

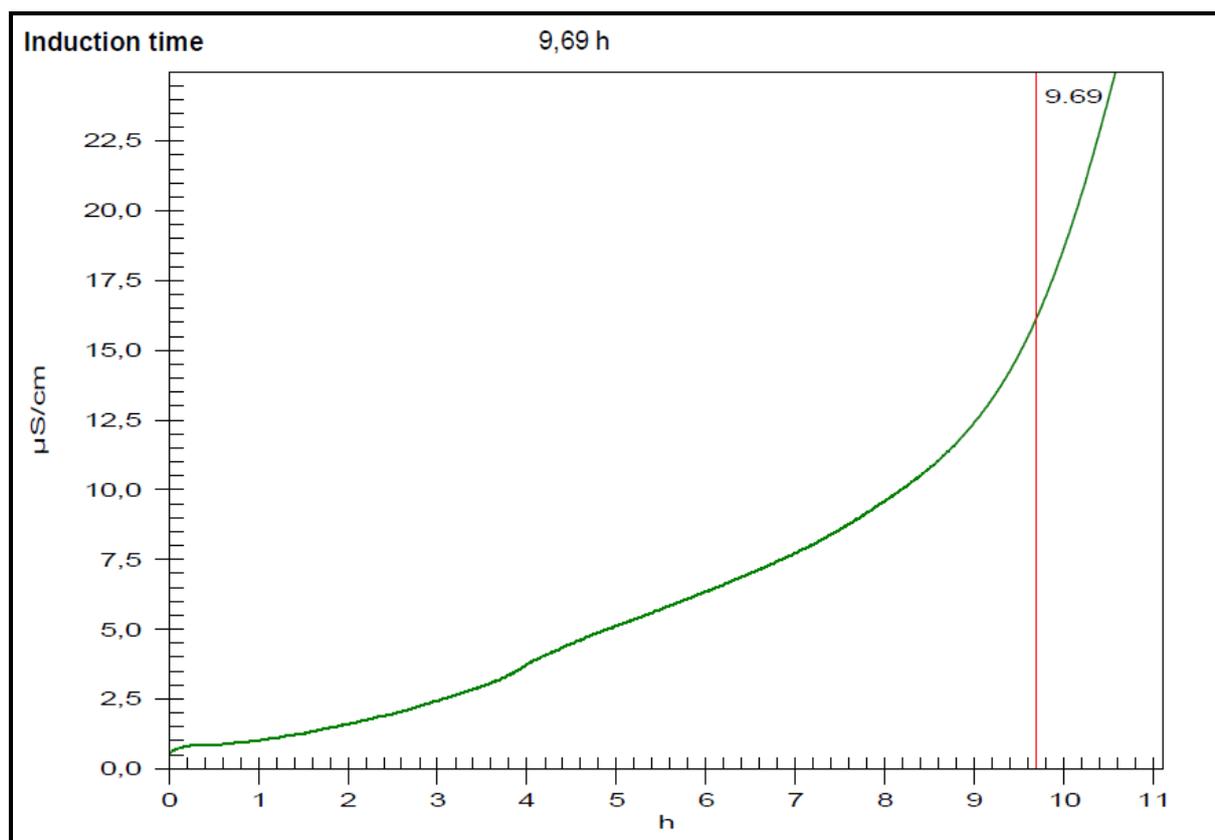


Figure 04 : Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine C

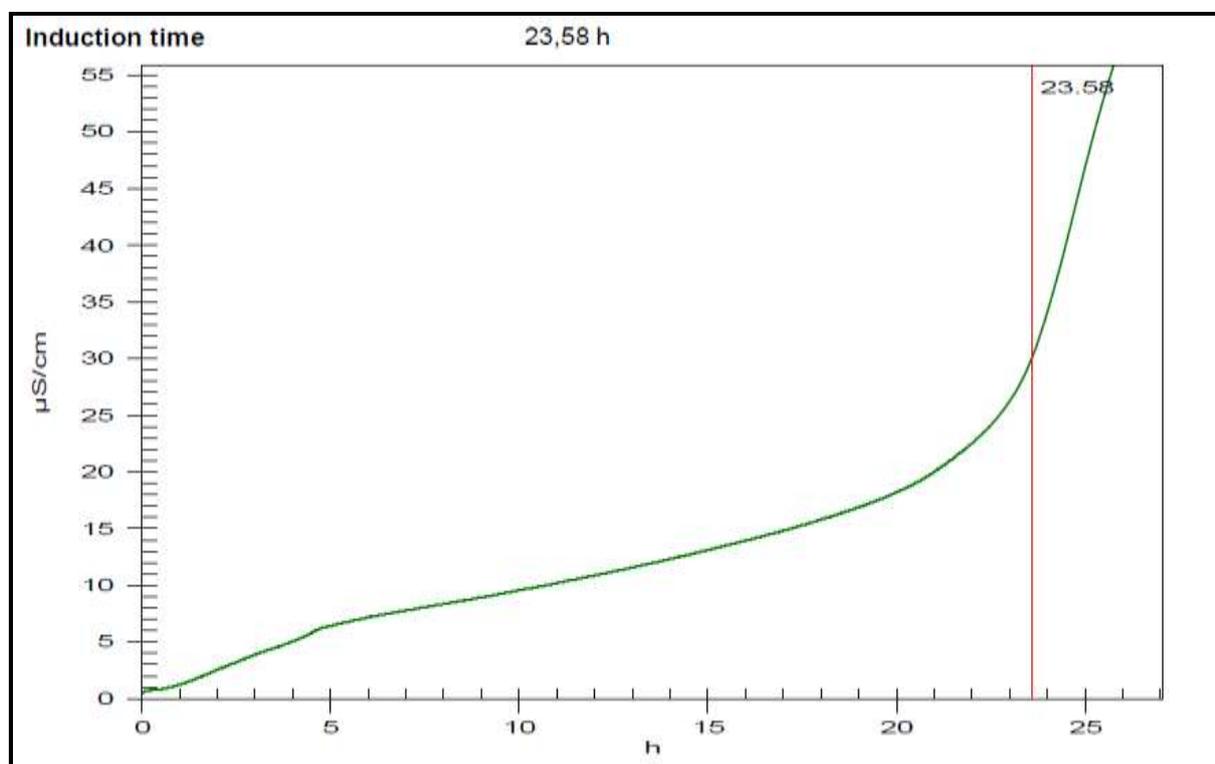


Figure 05 : Courbes de la stabilité oxydative au test Rancimat de la margarine D

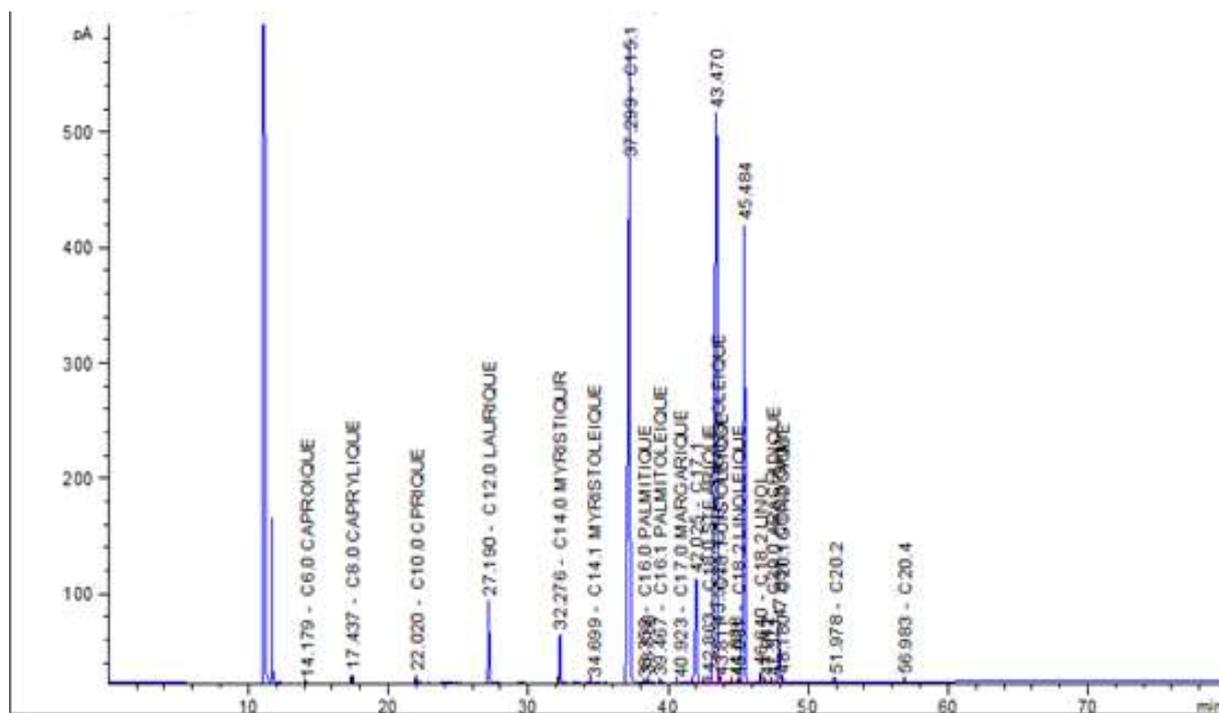


Figure 06 : Chromatogramme de l'échantillon A

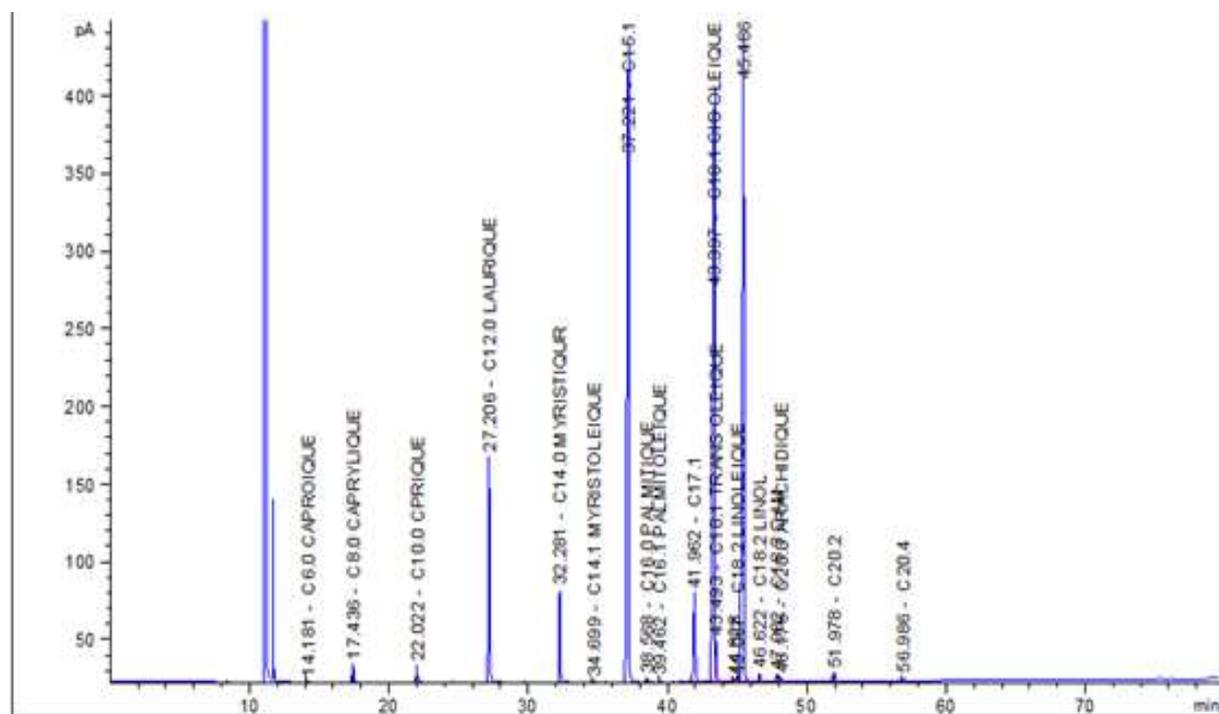


Figure 07 : Chromatogramme de l'échantillon B

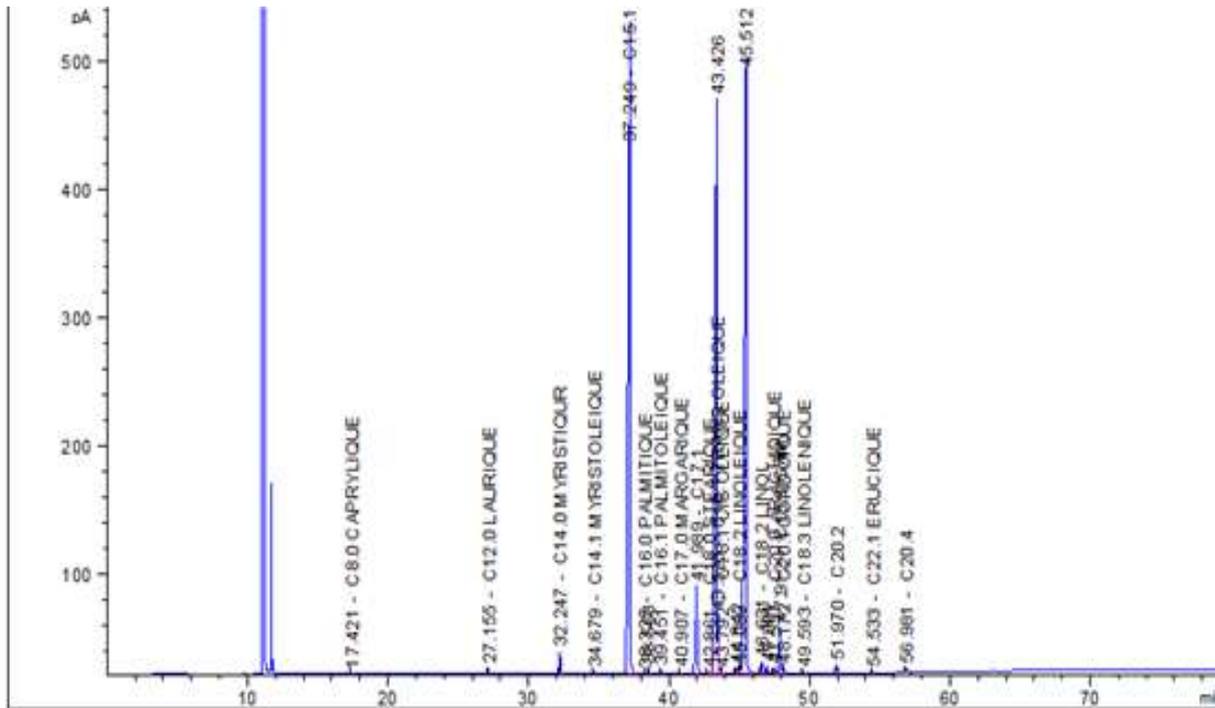


Figure 08 : Chromatogramme de l'échantillon C

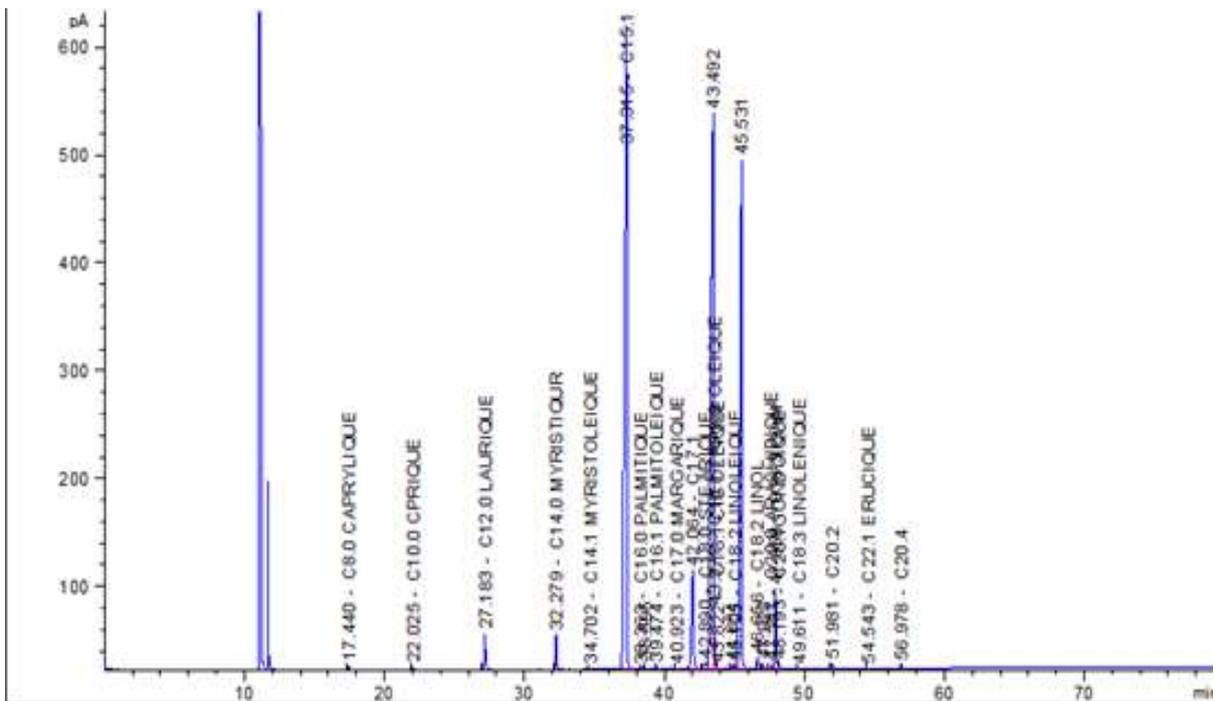


Figure 09 : Chromatogramme de l'échantillon D

## Annexe IV

---

**Figure 10 :** photographie de quelques échantillons et quelques matériels utiliser dans laboratoire



## Résumé

L'objectif de cette étude est l'estimation de la qualité de la matière grasse dans certaines margarines de table commercialisées en Algérie. Un intérêt particulier a été accordé à l'estimation de leur stabilité oxydative et à la détermination de leur composition en acides gras. Les paramètres physico-chimiques (teneur en eau, pH, teneur en sel, acidité, taux de solides, point de fusion) ont révélé que les produits analysés ne répondent pas pour la plupart aux normes en vigueur. Les résultats organoleptiques différents d'une margarine à une autre. En donnant La détermination de leur composition en acides gras a montré que pratiquement tous les produits analysés sont très riches en AGS. Ceci confirme l'utilisation de grandes proportions d'huiles hautement saturés tels que l'huile de palme, coprah, palmiste. Le profil en acides gras a également révélé la présence d'acides gras trans en faible quantités conforme aux normes dans les quatre échantillons.

**Mots clés :** Margarine, rancimat, profil en acide gras, AGS, AG trans.

## Abstract

The objective of this study is to assess the quality of fat in certain table margarines commercialized in Algeria. Special attention was given to estimating their oxidative stability and determining their fatty acid composition. Physico-chemical parameters (water content, pH, salt content, acidity, solid content, melting point) revealed that most of the analyzed products do not meet current standards. Organoleptic results varied from one margarine to another. The determination of their fatty acid composition showed that practically all analyzed products are very rich in SFA (Saturated Fatty Acids). This confirms the use of large proportions of highly saturated oils such as palm oil, coconut oil, and palm kernel oil. The fatty acid profile also revealed the presence of trans fatty acids in small quantities, compliant with regulations in all four samples.

**Keywords :** Margarine, rancimat, fatty acid profile, SFA, trans FA.

## الملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو تقدير جودة الدهون في بعض أنواع سمن المائدة المسوقة في الجزائر. وقد تم إيلاء اهتمام خاص لتقدير ثباتها التأكسدي وتحديد تركيب الأحماض الدهنية. كشفت المعلمات الفيزيائية الكيميائية (المحتوى المائي، الأس الهيدروجيني، محتوى الأملاح، الحموضة، المحتوى الصلب، درجة الذوبان) أن معظم المنتجات التي تم تحليلها لا تفي بالمعايير الحالية. تختلف النتائج الحسية من سمن نباتي إلى آخر. وأظهر تحديد تركيبة الأحماض الدهنية أن جميع المنتجات التي تم تحليلها كانت غنية جدًا بالحمض الدهني الصلب. وهذا يؤكد استخدام نسب كبيرة من الزيوت عالية التشبع مثل زيت النخيل والكوبرا وزيت نواة النخيل. كما كشف ملف الأحماض الدهنية أيضًا عن وجود الأحماض الدهنية المتحولة بكميات صغيرة، بما يتماشى مع المعايير، في جميع العينات الأربع.

الكلمات المفتاحية: السمن النباتي، الرانسيمات، خصائص الأحماض الدهنية، الأحماض الدهنية غير المشبعة بالسكر، الأحماض الدهنية المتحولة.

