

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Physico-Chimique.
Spécialité Biochimie Appliquée.



Réf :.....

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

MASTER

Thème

Etude comparative des paramètres physico-chimique de trois types de margarines.

Présenté par :

HAID Wissam & LAHBIBEN Yanis

Soutenu le : 30/06/2024

Devant le jury composé de :

Mme. BECHEUR N.	MCA	Présidente
Mme. BENLOUKIL M.	MAA	Encadrante
Mme. BOUREBABA Y.	MCA	Examinatrice

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciement

Nous exprimons notre gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force et la patience nécessaires à la réussite de ce modeste travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à **Mme BENLOUKIL Malika** pour avoir accepté de nous encadrer. Nous sommes reconnaissantes pour ses conseils avisés et ses orientations précieuses, ainsi que pour la confiance qu'elle nous a témoignée tout au long de la réalisation de ce travail. Son soutien inestimable et sa gentillesse ont été une source d'inspiration exceptionnelle pour nous.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude aux membres éminents du jury pour leur précieuse contribution à l'évaluation de notre travail. Nos sincères remerciements vont à **Mme. BECHEUR Nacera** et **Mme. BOUREBABA Yasmina**, dont les enseignements et l'accompagnement au fil des années ont été inestimables. Leur expertise et leurs précieux conseils ont considérablement enrichi notre projet.*

*Nous sommes reconnaissants envers la société **Cevital** pour son accueil généreux et la mise à disposition des conditions nécessaires à la réalisation de ce travail. Votre soutien logistique et humain a été essentiel pour mener à bien notre projet. Nous tenons également à remercier chaleureusement les membres du laboratoire de physico-chimie pour leur collaboration précieuse et leur expertise remarquable. Nous adressons nos remerciements particuliers à **Mme Boualit S.**, chef de laboratoire, pour son encadrement et ses conseils avisés, ainsi qu'à **M. Boukhima H.**, **M. Yessad K.**, **M. Foughali F.**, et **M. Letrache A.** pour leur soutien constant tout au long de ce travail.*

Dans le but de reconnaître l'apport de chacun, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Nous souhaitons également rendre hommage aux professeurs qui ont été nos guides tout au long de notre parcours universitaire. Votre soutien et vos enseignements ont été précieux pour nous, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À ma très chère mère, la lumière qui a guidé chacun de mes pas. Je tiens à exprimer toute ma gratitude pour ton amour infini et ton soutien inconditionnel. Tu as été ma lumière, ma force et mon inspiration à chaque étape de ma vie. Merci pour tes sacrifices, ta patience et ta confiance inépuisable. Que la grâce d'Allah t'accompagne toujours. Je suis fière d'être ta fille et je m'engage à te soutenir comme tu l'as toujours fait pour moi.

À mon cher père, ta dévotion et ton amour infini ont été les piliers de ma vie. Merci pour les valeurs, l'éducation et le soutien que tu m'as donnés. Je suis fière d'être ta fille et je m'efforcerai toujours de te rendre fier. Que Dieu te bénisse et te protège toujours.

À mon grand frère et ma petite sœur, mes compagnons de route, mes complices et mes plus grands supporters. Votre présence joyeuse et votre amour inconditionnel ont rendu chaque étape de ce voyage mémorable. Ensemble, nous avons partagé des rires, des larmes et des souvenirs précieux. Vous êtes mes meilleurs alliés, et je vous suis infiniment reconnaissant(e) d'être à mes côtés à chaque instant.

Je remercie chaleureusement mes précieux amis pour leur soutien inestimable tout au long de ce parcours. Leur amitié et leurs encouragements ont été des sources de motivation et de réconfort qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

H A I D Wissam

Je dédie ce travail à :

À ma très chère mère, trouver les mots parfaits pour exprimer toute ma gratitude et mon amour envers toi est un défi. Tu es une source inépuisable d'amour, de soutien et de sagesse. Tes encouragements constants et ta tendresse infinie ont été mes compagnons tout au long de ce voyage. Ta force et ta bienveillance ont éclairé mon chemin comme des phares, et pour cela, je suis infiniment reconnaissant. Que la grâce d'Allah t'accompagne toujours.

À mon cher père, dont la détermination, la persévérance et les précieux conseils ont façonné mon chemin vers la réussite. Ta présence rassurante et ton exemple inspirant ont été mes guides, me montrant le pouvoir du travail acharné et de la détermination. Je te suis profondément reconnaissant pour tout ce que tu as fait pour moi.

À mon petit frère et ma petite sœur, mes compagnons de route, mes complices et mes plus grands supporters. Votre présence joyeuse et votre amour inconditionnel ont rendu chaque étape de ce voyage mémorable. Ensemble, nous avons partagé des rires, des larmes et des souvenirs précieux. Vous êtes mes meilleurs alliés, et je vous suis infiniment reconnaissant d'être à mes côtés à chaque instant.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude envers mes amis les plus chers. À Massinissa, Hicham, Isselam, Omar, Hilal et Lamine, vous êtes bien plus que des amis pour moi, vous êtes ma famille choisie. Vos sourires, vos rires, et votre soutien inconditionnel ont été un phare dans les moments sombres et une source de joie dans les moments de bonheur. Ensemble, vous avez rempli ma vie de souvenirs précieux et d'amour inconditionnel. Je vous suis infiniment reconnaissant et je vous aime plus que des mots ne puissent le dire.

Enfin, à tous ceux qui ont croisé ma route et ont contribué, de près ou de loin, à cette réalisation, merci du fond du cœur. Ce mémoire est dédié à chacun d'entre vous.

LAHBIBEN Yanis

Sommaire

Liste des figures
Liste des tableaux
Listes des abréviations

Introduction 1

Chapitre (I) : Revue Bibliographique

I.1	Margarine	2
I.1.1	Définition	2
I.2	Composition	2
I.2.1	Définition, origine et classification des corps gras	2
I.2.2	Composition et constituant des corps gras	3
I.2.3	Propriétés physiques des Corps Gras	7
I.2.4	Propriétés chimiques des Corps Gras	8
I.3	Différents types de la margarine	8
I.3.1	Margarines à destination des professionnels	8
I.3.2	Margarines de table à destination du consommateur	8
I.3.3	Margarines enrichies en acides gras insaturés	9
I.3.4	Margarines enrichies en stérols végétaux	9
I.4	Caractéristiques de la margarine	9
I.4.1	Caractéristiques physiques	9
I.4.2	Caractéristiques chimiques	9
I.4.3	Caractéristiques nutritionnelles	9
I.5	Facteurs d'altération de la margarine	10
I.5.1	Facteurs physiques	10
I.5.2	Facteurs chimiques.....	10
I.5.3	Facteurs bactériologiques	10
I.6	Huiles végétales utilisées dans la margarinerie	11
I.6.1	Définition	11
I.6.2	Huiles Utilisées	11
I.6.3	Raffinage	12
I.6.4	Huiles hydrogénées	12
I.7	Procédé de fabrication de la margarine	13
I.7.1	Réception et entreposage des matières premières	13
I.7.2	Raffinage des huiles et traitement de modification pour la fabrication de la margarine	14

I.7.3	Processus de raffinage des huiles	14
I.7.4	Traitements de modification pour la fabrication de la margarine	15
I.7.5	Préparation des phases	15
I.7.6	Emulsification	16
I.7.7	Pasteurisation	16
I.7.8	Refroidissement et cristallisation	16
I.7.9	Malaxage	16
I.7.10	Emballage et Conditionnement	16
I.7.11	Stockage	17

Chapitre (II) : Matériel et Méthodes

II.1	Présentation de l'organisme CEVITAL	18
II.2	Echantillonnage	18
II.2.1	Matina	18
II.2.2	Fleurial	19
II.2.3	Parisienne	19
II.3	Analyses physico – chimiques	20
II.3.1	Composition en acides gras des huiles par (CPG)	20
II.3.2	Test de poids	21
II.3.3	Analyse de la phase grasse	22
II.3.4	Analyse de la phase aqueuse	28
a.	Titre hydrotimétrique (TH)	28
b.	Titre alcalimétrique (TA)	30
c.	Titre alcalimétrique comlet (TAC)	31
d.	Dosage de chlorures	32
II.4	Analyse statistique	33

Chapitre (III) : Résultats et Discussion

III.1	Résultats de l'analyse de la composition en acides gras des huiles.....	34
III.2	Caractéristiques physico-chimiques des margarines	35
III.2.1	Poids	35
III.2.2	Teneur en eau (Humidité)	36
III.2.3	Taux de sels	37
III.2.4	Indice de peroxyde	39
III.2.5	Point de fusion	40
III.2.6	Potentiel d'Hydrogène	42

Conclusion.....	44
------------------------	-----------

Références Bibliographique	45
Annexes	51
Résumé	

Liste des figures :

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Composition de la margarine.	3
Figure 2	Principaux constituants des lipides.	4
Figure 3	Structure d'un acide gras saturé et insaturé.	5
Figure 4	Structure d'un triglycéride.	5
Figure 5	Structure d'un phospholipide.	5
Figure 6	Structure des stérols et stéroïdes.	6
Figure 7	Procédés de raffinage des huiles végétales brutes.	12
Figure 8	Comparaisons des étapes de processus et des températures pour l'interstérification chimique et enzymatique.	13
Figure 9	Diagramme de la fabrication de la margarine.	17
Figure 10	Margarine Matina.	18
Figure 11	Margarine Fleurial (A) barquette. (B) plaquette.	19
Figure 12	Margarine parisienne (feuilletage).	19
Figure 13	Principe du chromatographe en phase gazeuse	21
Figure 14	Principe simplifié d'une RMN de paillasse	27
Figure 15	Analyse en composantes principale (ACP) des huiles.	34
Figure 16	Teneur en Eau Moyenne des Différents Types de Margarine.	36
Figure 17	Taux de sel Moyen des Différents Types de Margarine.	38
Figure 18	Indice de peroxyde Moyenne des Différents Types de Margarine.	39
Figure 19	Point de fusion moyenne des différents types de Margarine.	41
Figure 20	Potentiel d'hydrogènes moyens des différents types de Margarine.	42

Listes de tableaux :

Numéro	Titre	Page
Tableau I	Les quatre familles de vitamines liposolubles.	6
Tableau II	Fruits climatériques et non climatériques et leurs principaux pigments et couleurs typiques.	6
Tableau III	Composition en acides gras et vitamine E des principales huiles végétales.	11
Tableau IV	Résultats de poids des différentes margarines.	35

Liste des abréviations :

- **AGMI** : Acides Gras Monoinsaturés.
- **AGPI** : Acides Gras Poly-Insaturés.
- **AGS** : Acides Gras Saturés.
- **CG** : Corps Gras.
- **HBO** : Huile de Soja Hydrogénée (Hydrogenated Soybean Oil).
- **HPO** : Huile de Palme Hydrogénée (Hydrogenated Palm Oil).
- **IE** : Interstérification Enzymatique.
- **PKL** : Huile de Palmiste Laurique (Palm Kernel Lauric Oil).
- **PKO** : Huile de Palmiste Oléique (Palm Kernel Oleic Oil).
- **PS** : Stéarine de palme (Palm Stearin).
- **TTC** : Toutes Taxes Comprises.
- **RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire.
- **NE** : Norme Européenne.
- **NF EN ISO** : Norme Française Européenne Internationale d'Organisation de Standardisation.
- **CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse.
- **MeqO₂/KgMG** : Milliéquivalents d'Oxygène par Kilogramme de Matière Grasse.
- **FID** : Détecteur à Ionisation de Flamme (Flame Ionization Detector).
- **FAO** : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).
- **WHO** : World Health Organization (Organisation mondiale de la santé).
- **SE** : Service Économique.
- **SD** : Standard Deviation (Écart-type).
- **ACP** : Analyse en Composantes Principales.
- **PC1** : Première Composante Principale.
- **PC2** : Seconde Composante Principale.

Introduction

Depuis plusieurs décennies, la margarine occupe une place importante dans les habitudes alimentaires de nombreuses populations à travers le monde. Les perfectionnements progressifs de l'analyse chimique ont permis une connaissance plus rationnelle des principaux composants de la nourriture, ceci conduisant à une prise de conscience de l'importance des lipides dans l'alimentation humaine. **(Leray, 2013)**. L'aspect purement calorifique des lipides (chaleur et combustion) a été établi en 1866 par le chimiste anglais Edward Frankland, qui démontra que les lipides étaient environ de deux fois plus riches en énergie que les glucides **(Leray, 2013)**.

Initialement développée au XIXe siècle comme une alternative économique au beurre, la margarine a connu de nombreuses transformations pour répondre aux attentes des consommateurs et aux avancées scientifiques. Sa composition a évolué, passant d'un mélange de graisses animales et végétales à des formulations plus sophistiquées, souvent enrichies en vitamines et acides gras essentiels **(Klosterbuer et al., 2015)**. Cependant, cette évolution n'a pas été sans controverse, notamment en raison des inquiétudes suscitées par la présence de graisses trans et leur lien avec les maladies cardiovasculaires **(Mensink et Katan, 1990)**.

L'étude de la margarine offre un aperçu intéressant des interactions entre science alimentaire, politique de santé publique et comportements de consommation. En effet, les décisions prises par les gouvernements concernant la régulation des ingrédients et l'étiquetage des produits ont joué un rôle crucial dans l'acceptation et la perception de la margarine par le public **(Food and Drug Administration, 2013)**. De plus, l'industrie de la margarine a dû s'adapter aux pressions croissantes pour des produits plus sains et plus durables, ce qui a conduit à une recherche continue pour améliorer ses formulations **(Glaser et al., 2011)**.

C'est dans cette optique que s'inscrit cette présente étude, dont l'objectif principal est de réaliser une caractérisation physicochimique de différents types de margarine : margarine de tables (Matina et Fleurial) et margarine pâtissière de feuilletage (Parisienne) produites au sein de l'organisme de CEVITAL. En réponse à la problématique posée, la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail consiste tout d'abord à réaliser une analyse approfondie de la matière première utilisée. Ensuite, nous examinerons le processus de production, puis nous procéderons aux analyses physico-chimiques du produit fini. Une étude statistique sera également entreprise pour évaluer la conformité de la margarine Fleurial. Les résultats obtenus seront ensuite interprétés et discutés, pour finalement conclure notre mémoire en résumant les principales conclusions de notre étude.

***Chapitre I : Revue
Bibliographique***

I.1 Margarine

I.1.1 Définition

La margarine est un substitut du beurre fabriqué à partir d'huiles végétales ou d'huiles animales hydrogénées. Elle est souvent utilisée comme alternative au beurre en raison de sa texture similaire et de sa faible teneur en matières grasses saturées. Plus formellement, la margarine est un produit alimentaire constitué principalement d'huiles végétales ou d'huiles animales hydrogénées, émulsionnées avec de l'eau et d'autres ingrédients, tels que des émulsifiants, des colorants et des arômes, pour obtenir une consistance semblable à celle du beurre. Elle est utilisée comme substitut du beurre dans la cuisine et la pâtisserie, ainsi que comme tartinaie (**Katan et al., 2003**).

I.2 Composition

En général, toutes les margarines ont une composition globale identique (Figure 1) :

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

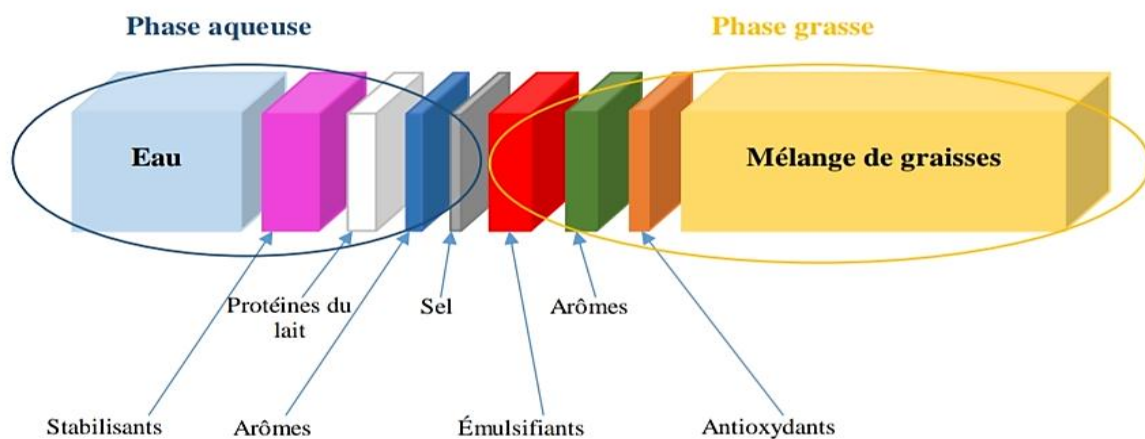


Figure 1 : composition de la margarine. (**Miroslav, 2005**).

I.2.1 Définition, origine et classification des corps gras

Les corps gras (CG), essentiels dans la nutrition humaine et la technologie alimentaire, sont insolubles dans l'eau mais solubles dans des solvants organiques comme le benzène et l'éther. Cette propriété influence leur digestion, absorption, transport sanguin et métabolisme cellulaire. Constitués principalement d'acides gras, les CG se trouvent dans les huiles, les graisses alimentaires et les réserves de graisse (**Brisson, 1982**). Ils varient en origine (animale,

végétale ou mixte), composition, texture et fonction. Les matières grasses animales comprennent le beurre, la crème et le saindoux, tandis que les matières grasses végétales incluent les huiles et les margarines (Cossut et al., 2002). Les margarines peuvent être des mélanges d'huiles végétales ou animales. La classification des CG se base sur leur origine et leur état physique (huiles liquides ou graisses solides) (Btitannica, 2024).

I.2.2 Composition et constituant des corps gras

Les corps gras sont principalement constitués de lipides (Figure 2), divisés en composés saponifiables (90 à 98 %) et insaponifiables (2 à 10 %) (Bouchoux et al., 2014).

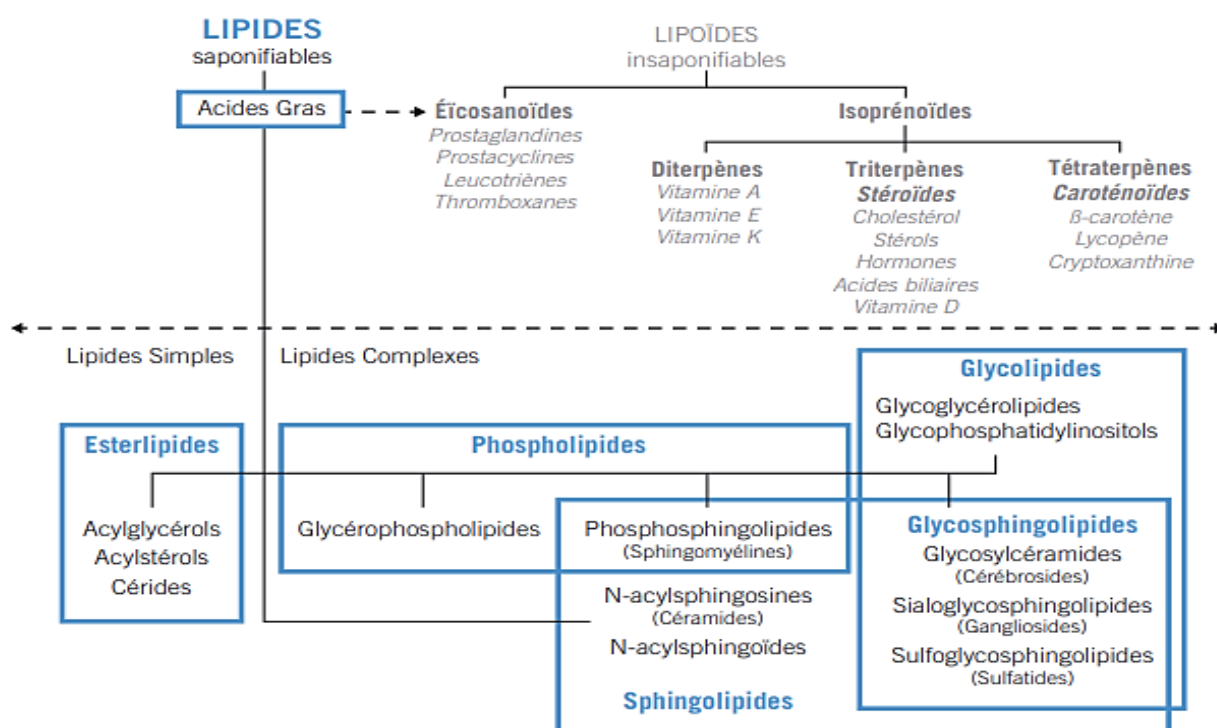


Figure 2 : principaux constituants des lipides (Ledoux, 2012).

I.2.2.1 Fraction saponifiable

- Acides gras

Composants des triglycérides, les acides gras (Figure 3) sont présents en faible quantité sous forme libre dans les matières grasses fraîches, avec une chaîne aliphatique hydrophobe. Leur notation suit le format n :m (n = nombre d'atomes de carbone, m = nombre de doubles liaisons) (Cuvelier et al., 2004).

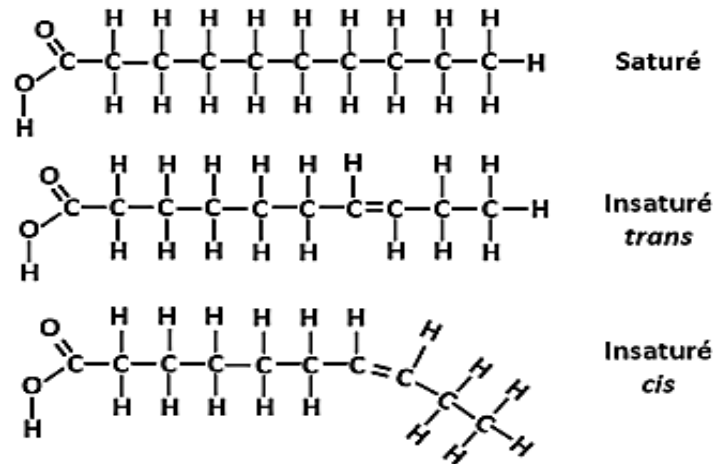


Figure 3 : structure d'un acide gras saturé et insaturé (en configuration *trans* et *cis*) (Cuvelier, 2004).

- Triglycérides

Composés de glycérol et de trois acides gras (Figure 4), les triglycérides sont des molécules très hydrophobes jouant un rôle de réserve d'énergie (Cuvelier *et al.*, 2004).

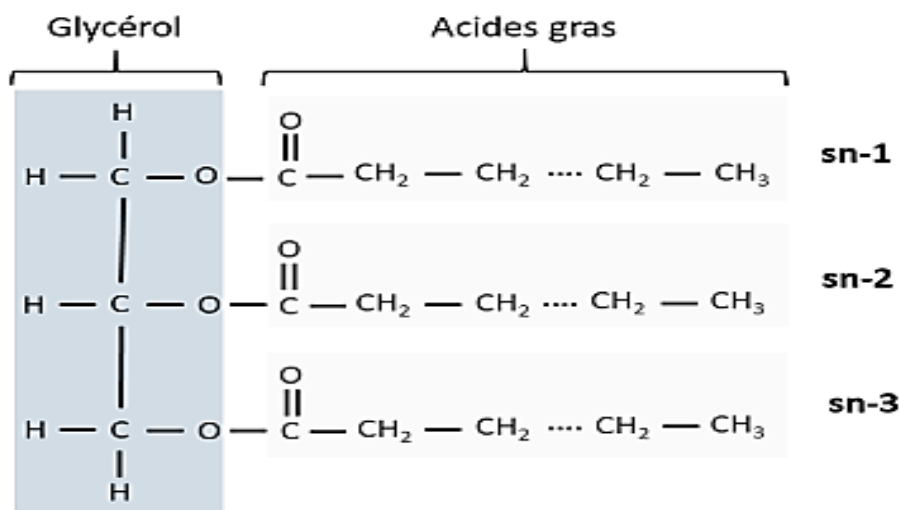


Figure 4 : structure d'un triglycéride (Sainlaud, 2021).

- Phospholipides

Ils sont composés d'un groupe phosphate hydrophile et deux chaînes d'acides gras hydrophobes (Figure 5), essentiels à la structure et à la fonction des membranes biologiques (Leventis et Grinstein, 2010).

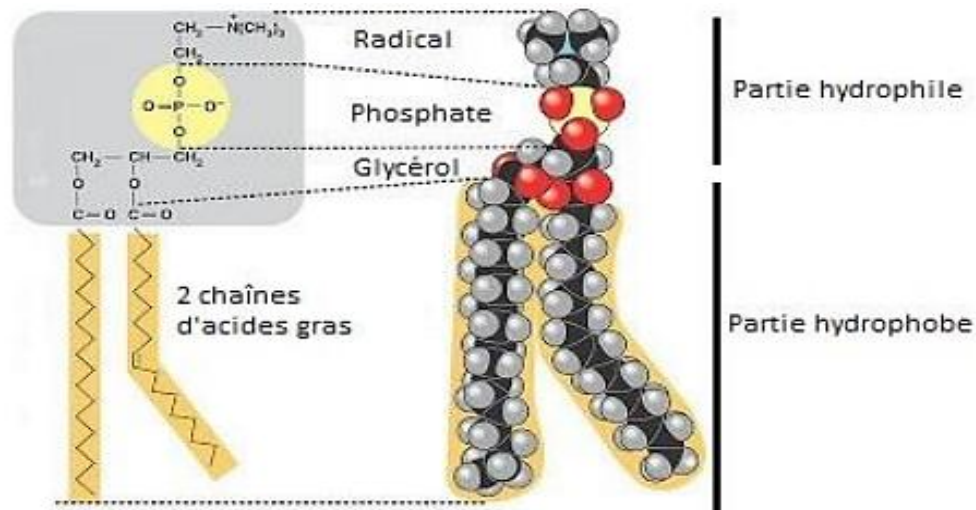


Figure 5 : structure d'un phospholipide : glycérol branche à un groupement phosphate (partie hydrophile) et deux acide gras (partie hydrophobe) (Sainlaud, 2021).

I.2.2.2 Fraction insaponifiable

- Stérols

Les stérols sont des composés présents dans les corps gras. Ils comprennent des molécules telles que le cholestérol et les phytostérols (Figure 6), qui jouent un rôle structural dans les membranes cellulaires et ont des implications importantes pour la santé humaine (Yeagle, 1985).

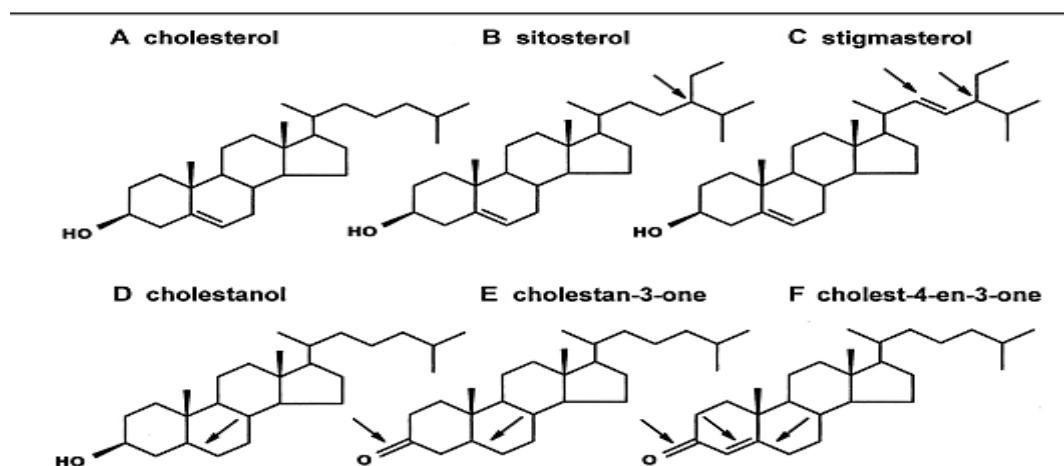


Figure 6 : Structure des stérols et stéroïdes (Behmer et al., 2013)

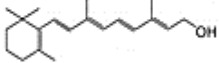
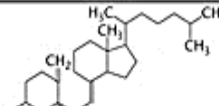
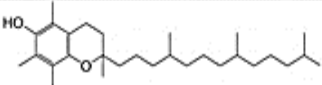
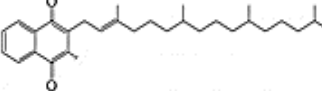
- Cires

Les cires sont des esters de longues chaînes d'acides gras avec des alcools à chaîne longue ou des hydrocarbures (Gunstone et al., 2007).

- Vitamines liposolubles

Sont des composés organiques essentiels (vitamines E, A, D et K) (Tableau I) se dissolvent dans les corps gras et sont cruciales pour divers processus biologiques (**Gunstone et al., 2007**).

Tableau I : Les quatre familles de vitamines liposolubles (**Reboul, 2011**).

Micronutriments	Forme active principale	Autres formes courantes	Sources alimentaires principales	Fonctions principales
Vitamine A	 Rétinol	Rétinyl palmitate	Foie, poissons gras, beurre, œufs, lait entier	Vision, régulation de gènes
Vitamine D	 Cholécalciférol (vitamine D ₃)	Ergocalciférol (vitamine D ₂)	Poissons gras et produits laitiers enrichis	Minéralisation et homéostasie calcique, reproduction, immunité, régulation de gènes
Vitamine E	 α -tocophérol	γ -tocophérol	Germes de graines et huiles végétales	Activité antioxydante, régulation de gènes
Vitamine K	 Phylloquinone (vitamine K ₁)	Ménaquinone-4 (vitamine K ₂)	Légumes verts à feuilles, fromages	Activité antihémorragique, métabolisme du calcium

- Pigments

Substances insolubles dans le milieu de dispersion, utilisées pour la coloration de divers matériaux (Tableau II). Exemples incluent la chlorophylle et les caroténoïdes, responsables des couleurs dans les fruits climatériques et non climatériques (**Maguy et al., 2019**).

Tableau II : Fruits climatériques et non climatériques et leurs principaux pigments et couleurs typiques. (**Garcia-Vaquero et Rajauria, 2018**).

Fruits	Classe de pigments	Exemples	Couleurs typiques
Climatère	Chlorophylle	Avocat, goyave, kiwi, pomme	Vert
	Caroténoïde	Tomate, abricot, banane, fruit à pain, mangue, papaye, pêche, fruit de passion, durian, jacquier	Orange, jaune, rose, rouge

	Anthocyanine	Figue, prune	Rouge, violet
Fruits	Classe de pigments	Exemples	Couleurs typiques
Non-climactérique	Chlorophylle	Olive, miellat	Vert
	Caroténoïde	Orange, pamplemousse, citron, ananas, citron, carambole(carambole)	Orange, jaune, rose, rouge
	Anthocyanine	Myrtille, raisin, fraise, cerise, canneberge, framboise, grenade	Violet, bleu, rouge

I.2.3 Propriétés physiques des Corps Gras

Les propriétés physiques des corps gras dépendent de facteurs tels que la longueur de la chaîne carbonée, la présence d'insaturations, et la nature des groupes fonctionnels (**Gunstone et al., 2007**).

I.2.3.1 Point de fusion

Le point de fusion dépend principalement de la longueur de la chaîne carbonée des acides gras qui les composent (**Brisson, 1982**).

I.2.3.2 Viscosité

La viscosité mesure de la résistance des liquides à l'écoulement ou au cisaillement, elle varie avec la température et la pression (**Viswanath et al., 2007**).

I.2.3.3 Densité

La densité d'un corps est une grandeur sans dimension et sa valeur s'exprime sans unité de mesure (**Mathieu et al., 1985**).

I.2.3.4 Solubilité

Capacité d'un soluté à se dissoudre dans un solvant pour former une solution homogène, mesurée en termes de solubilité massique (exprimée en g/L) et molaire (exprimée mol/L) (**Grambow et al., 2006**).

I.2.4 Propriétés chimiques des Corps Gras

I.2.4.1 Hydrogénation

Saturation des doubles liaisons insaturées dans les acides gras par l'ajout d'hydrogène, rendant les corps gras plus solides à température ambiante, ce qui est couramment utilisé dans la production d'huiles partiellement hydrogénées et de graisses pour la cuisson (**Erikson et al., 1995**).

I.2.4.2 Hydrolyse

Est la réaction de décomposition des corps gras en glycérol et en acides gras sous l'action de l'eau et des enzymes. Importante dans les processus de digestion et de transformation des lipides (**Gunstone et al., 2007**).

I.2.4.3 Saponification

Réaction chimique entre les triglycérides et l'hydroxyde de sodium ou de potassium, produisant du glycérol et du savon, essentielle pour la fabrication de savons durs et doux (**Silvia et al., 2009**).

I.3 Différents types de la margarine

Sur le marché, les margarines sont généralement classées en différentes catégories en fonction de leur composition, de leur utilisation et de leurs caractéristiques nutritionnelles (**Saillard, 2010**). Voici un aperçu des principales catégories de margarines :

I.3.1 Margarines à destination des professionnels

Utilisées principalement en boulangerie, pâtisserie et viennoiserie, ont une composition adaptée aux besoins spécifiques des applications, avec des proportions variées d'huiles pour répondre aux exigences de fonctionnalité et d'organoleptique, et sont utilisées dans les produits élaborés pour leur texture et leur stabilité à l'oxydation (**Nor Aini et Miskandar, 2007**).

I.3.2 Margarines de table à destination du consommateur

Les margarines destinées à un usage domestique sont principalement utilisées comme substitut du beurre ou de l'huile en cuisine ou sur les tartines. Elles se déclinent en différentes variantes : traditionnelles, allégées et "santé". Les margarines traditionnelles, avec plus de 55 % de matière grasse, conviennent à la cuisson et aux tartines. Les margarines allégées, avec moins de 60 % de matière grasse, sont principalement utilisées en tartine. Les margarines "santé" sont formulées avec un équilibre spécifique en acides gras insaturés ou enrichies en

nutriments fonctionnels, comme les stérols végétaux, pour favoriser la santé cardiovasculaire (Saillard, 2010).

I.3.3 Margarines enrichies en acides gras insaturés

Ces margarines sont riches en acides gras insaturés, notamment en oméga 3, 6 et 9, provenant d'huiles végétales. Elles sont recommandées pour favoriser un bon fonctionnement cardiovasculaire et la régulation du cholestérol sanguin (Haberfeld, 2023).

I.3.4 Margarines enrichies en stérols végétaux

Ces margarines sont spécialement formulées avec des stérols végétaux (phytostérols ou phytostanols) pour réduire le taux de cholestérol sanguin. Elles sont destinées aux personnes ayant un taux de cholestérol élevé et sont utilisées en tant que substitut du beurre ou de l'huile dans l'alimentation quotidienne (Saillard, 2010).

I.4 Caractéristiques de la margarine

I.4.1 Caractéristiques physiques

La margarine est généralement une substance semi-solide à température ambiante. Elle peut avoir une texture lisse et homogène. Sa couleur peut varier en fonction des ingrédients utilisés, allant du blanc au jaune pâle (Reese, 1983).

I.4.2 Caractéristiques chimiques

La margarine est principalement composée de graisses végétales hydrogénées ou partiellement hydrogénées. Pour stabiliser sa structure, des émulsifiants peuvent être ajoutés. De plus, certains additifs, comme les antioxydants, peuvent être incorporés pour prolonger sa durée de conservation (Hamilton, 2001).

I.4.3 Caractéristiques nutritionnelles

La margarine peut être enrichie en vitamines telles que la vitamine A et la vitamine D. Elle contient souvent des acides gras insaturés, qui peuvent être bénéfiques pour la santé cardiovasculaire. La teneur en matières grasses et en calories peut varier selon les marques et les formulations (Mozaffarian et al., 2006).

I.5 Facteurs d'altération de la margarine

I.5.1 Facteurs physiques

- Température de stockage : La chaleur peut accélérer les réactions chimiques et biologiques, notamment l'oxydation (**Cuvelier et Maillard, 2012**).
- Humidité : La présence d'eau peut favoriser les réactions d'hydrolyse et affecter la stabilité du produit (**Zaeromali et al., 2014**). La perte d'humidité peut entraîner des problèmes de texture et de couleur, comme la formation de zones foncées sur la surface de la margarine (**Hui et al., 2007**).
- Exposition à la lumière : La lumière peut altérer la qualité de la margarine, notamment en provoquant des saveurs altérées (**Girard et Brévans, 1889**).
- Composition des acides gras : Les différentes structures moléculaires des acides gras peuvent influencer la texture et la fonte de la margarine (**Zaeromali et al., 2014**).

I.5.2 Facteurs chimiques

- Oxydation des graisses : L'oxydation est une réaction chimique qui altère la qualité de la margarine, entraînant une odeur et un goût indésirables (**Wolf et Martin, 1933**).
- Décomposition des antioxydants : La dégradation des antioxydants peut réduire la capacité de la margarine à résister à l'oxydation (**Sturza et al., 2006**).
- Emballage : La composition des matériaux d'emballage peut avoir un impact sur la qualité de la margarine, en permettant par exemple la migration de substances indésirables (**Hui et al., 2007**).

I.5.3 Facteurs bactériologiques

- Contrôle microbiologique : La présence de moisissures et de levures peut altérer la qualité de la margarine et présenter un risque pour la sécurité alimentaire (**Hui et al., 2007**).
- Activité des émulsifiants : Les émulsifiants peuvent influencer la stabilité microbiologique de la margarine en affectant la croissance bactérienne (**Zaeromali et al., 2014**).

I.6 Huiles végétales utilisées dans la margarinerie

I.6.1 Définition

Les huiles végétales brutes, aussi appelées "huiles de pression" ou "huiles d'extraction", possèdent diverses caractéristiques chimiques influençant leur goût, aspect et usages spécifiques. Elles se divisent en deux catégories : les huiles fluides (comme le soja, le colza, le tournesol, l'arachide et l'olive), qui restent liquides à température ambiante et ont un point de fusion bas, et les huiles concrètes (comme le coprah, la palme et le palmiste), solides dans les climats tempérés avec un point de fusion plus élevé (Argenson, 2007).

I.6.2 Huiles Utilisées

L'utilisation d'huiles joue un rôle essentiel dans la fabrication de différents produits. Le (tableau III) est un aperçu des huiles utilisées, mettant en évidence leurs aspects, compositions et points de fusion :

Tableau III : Composition en acides gras et vitamine E des principales huiles végétales (Institut Pasteur de Lille et CHRU de Lille, 2011).

Huiles	Palme	Palmiste	Coprah	Soja	Tournesol	Colza
AGS (%)	44-55	82	94	11-21	10-16	6-8
Chaînes courtes (%)	0	7	18,3	-	-	-
Acide laurique (%)	0	47,5	47,5	-	-	-
Acide myristique (%)	0,5-2	16,5	18,1	-	-	-
Acide palmitique (%)	39,3-47,5	8,5	8,8	8-13	5-8	4-5
Acide stéarique (%)	3,5-6	2,4	2,6	3-6	4-6	1-2
AGMI (%)	38-45	15-16	6,2	17-27	15-26	57-65
Acide oléique (%)	36-44	15,3	6,2	17-26	15-25	55-62
AGPI (%)	9-12	2,5	1,6	54-72	62-70	26-32
Acide linoléique (%)	9-12	2,4	1,6	50-62	62-70	18-22
acide alpha-linolénique (%)	<0,5	0,1	-	4-10	<0,2	8-10
Vitamine (E) (%)	13	-	-	10-40	45-110	20-40

I.6.3 Raffinage

Le raffinage des huiles végétales assure leur qualité et sécurité à travers quatre étapes principales (Figure 7): le dégommage, la neutralisation alcaline, la décoloration et la désodorisation (pages et *al.*, 2010).

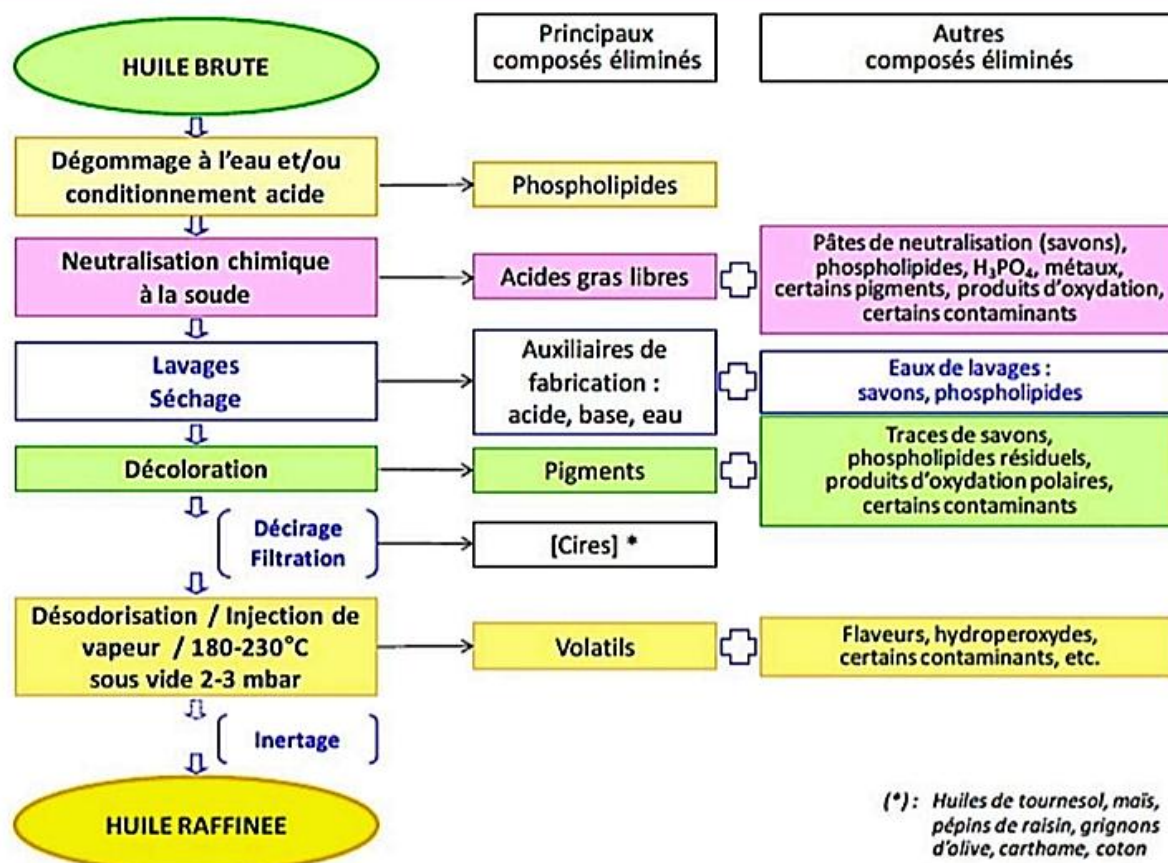


Figure 7 : Procédés de raffinage des huiles végétales brutes (Regis et *al.* 2016).

I.6.4 Huiles hydrogénées

I.6.4.1 Définition

Les huiles hydrogénées sont des huiles végétales transformées par hydrogénation, un processus où de l'hydrogène est ajouté aux doubles liaisons des acides gras pour produire des graisses semi-solides. Ce processus implique de mélanger l'huile avec un catalyseur (comme le nickel), de chauffer le mélange et d'ajouter de l'hydrogène sous haute pression (Akoh et Min, 2002). Toutefois, l'hydrogénation convertit souvent les acides gras cis en acides gras trans, augmentant le risque de troubles cardiovasculaires (Zaera, 2009). Les huiles hydrogénées couramment utilisées comprennent la stéarine (PS), l'huile de palmiste oléique (PKO), l'huile de palmiste laurique (PKL), l'huile de palme hydrogénée (HPO) et l'huile de soja hydrogénée (HBO).

I.6.4.2 Interstérification enzymatique

L'interstérification (IE) est un processus utilisé pour modifier les propriétés des graisses et huiles en réorganisant les acides gras des triglycérides (**Institute of Shortenings and Edible oils, 2006**). Ce procédé, utilisé pour ajuster des caractéristiques comme le point de fusion et la plasticité, permet de convertir des huiles en produits solides ou semi-solides, répondant ainsi à des besoins spécifiques de l'industrie alimentaire (**Costales-Rodriquez et al., 2009**).

I.6.4.3 Procédé de interstérification

Le processus de l'interstérification est illustré dans la figure ci dessous :

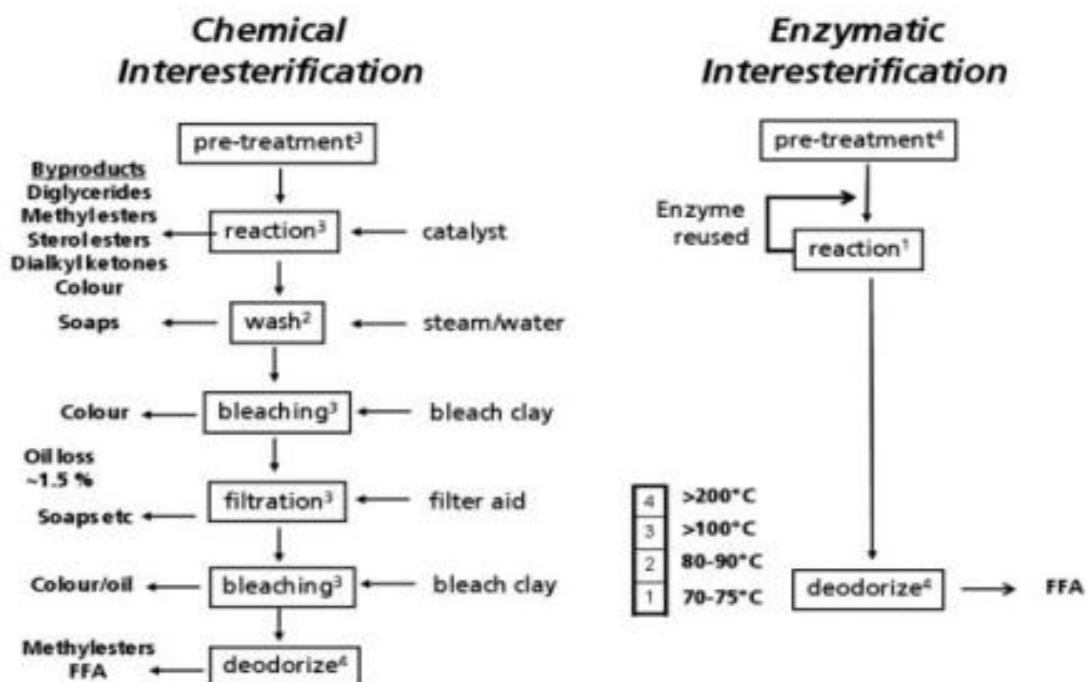


Figure 8 : comparaisons des étapes de processus et des températures pour l'interstérification chimique et enzymatique (**Regis et al., 2016**).

I.7 Procédé de fabrication de la margarine

La fabrication de la margarine (Figure 9) implique les étapes suivantes :

I.7.1 Réception et entreposage des matières premières

Les huiles importées sont hydrogénées, raffinées, puis stockées dans des réservoirs (**Saillard, 2010**)

I.7.2 Raffinage des huiles et traitement de modification pour la fabrication de la margarine

Les huiles importées, telles que l'huile de soja et l'huile de palme, subissent un processus de raffinage (Saillard, 2010)

I.7.3 Processus de raffinage des huiles

I.7.3.1 Démucilagination (dégommage)

Cette étape élimine les cires et les mucilages pour prévenir la formation de dépôts dans les récipients et la mousse lors de la friture. La démucilagination est effectuée par lavage de l'huile avec de l'eau légèrement acidulée ou additionnée de phosphate (Morin et al., 2012).

I.7.3.2 Neutralisation alcaline

Ce processus est généralement réalisé en ajoutant une solution alcaline (Gunstone, 2004). Elle vise à ajuster le pH des huiles végétales pour les rendre plus neutres, ce qui contribue à améliorer la stabilité chimique, la texture et la saveur de la margarine finale. En outre, cela permet d'éliminer les impuretés acides et d'autres contaminants potentiellement indésirables présents dans les huiles végétales (Hamilton, 2004).

I.7.3.3 Lavage et séchage

Un à deux lavage(s) à l'eau chaude permettent d'éliminer la quasi-totalité des traces de savons résiduels, et les dernières impuretés présentes dans l'huile neutralisée. Puis l'huile est séchée pour éliminer l'humidité par pulvérisation sous vide à environ 90°C (Cossut et al., 2002).

I.7.3.4 Décoloration

Cette opération vise principalement à éliminer les pigments colorés de l'huile en utilisant un agent d'adsorption (Pagés et al., 2012).

I.7.3.5 Décirage

Cette étape vise à éliminer les cires naturelles présentes dans l'huile de tournesol, qui sont solubles à 47°C mais peu solubles à température ambiante. La présence de ces cires entraîne divers défauts visuels tels que des turbidités, des dépôts et des flocons, altérant ainsi l'aspect du produit final. Pour garantir une cristallisation complète des cires, l'huile doit être refroidie à environ 5°C. Ensuite, les cires cristallisées sont séparées de l'huile par centrifugation et filtration (Cossut et al., 2002).

I.7.4 Traitements de modification pour la fabrication de la margarine

En plus du raffinage, trois traitements autorisés par la législation modifient la composition et les propriétés des corps gras, permettant d'obtenir des propriétés spécifiques pour des applications alimentaires et industrielles (**Saillard, 2010**).

I.7.4.1 Interstérification

Est un processus clé de l'industrie alimentaire, modifiant la structure des graisses pour ajuster leur point de fusion, par réaction chimique ou enzymatique. Son but est d'adapter les graisses à des applications spécifiques comme la fabrication de margarine, en altérant leurs propriétés de fusion et de cristallisation pour obtenir des caractéristiques précises, répondant aux besoins variés des produits alimentaires (**Morin et Pagès, 2012**).

I.7.4.2 Fractionnement

Le fractionnement implique la division des éléments des matières grasses selon leur point de fusion, séparant ceux à point de fusion élevé de ceux à point de fusion bas. Cette opération vise à obtenir de nouveaux produits, liquides et solides, ou à éliminer des éléments indésirables comme les cires (**Saillard, 2010**).

I.7.5 Préparation des phases

La préparation de la phase aqueuse et de la phase grasse varie selon la recette et le type de margarine à produire.

I.7.5.1 Préparation de la phase grasse

La phase grasse est composée de corps gras et d'additifs solubles dans les huiles, tels que l'émulsifiant, les vitamines, les arômes et le colorant. Ces additifs sont dissous dans un mélange de corps gras raffiné chauffé à environ 50-55°C pendant quelques minutes, produisant ainsi une phase grasse limpide et complète (**O'brien, 2008**).

I.7.5.2 Préparation de la phase aqueuse

Pour les margarines sans lait, la phase aqueuse est constituée d'eau et d'additifs solubles tels que les conservateurs, les correcteurs de pH, le sucre et le sel. Ces ingrédients sont mélangés pour assurer la conservation et la régulation de l'acidité (**O'brien, 2008**).

I.7.5.3 Préparation de l'émulsion

Elle consiste en un mélange des deux phases grasse et aqueuse qui se fait en deux étapes:

Mélange (pré-émulsion) : La phase grasse complète chauffée et la phase aqueuse (sans sel) sont mélangées pendant 3 à 4 minutes pour former une pré-émulsion (**McClements, 2016**).

Emulsion : Cette étape réalise un mélange homogène des deux phases non miscibles, réduisant la taille des gouttelettes d'émulsion grâce à des émulsifiants (**McClements, 2016**).

I.7.6 Emulsification

L'émulsification vise à garantir l'homogénéité des phases dans la margarine, contrôlant la distribution et la taille des particules. Un système d'émulsification hermétique empêche toute intrusion d'air, assurant ainsi l'absence d'oxydation pendant la production et dans le produit final. Un système de dosage complet, incluant des dispositifs de régulation, des convertisseurs de fréquence, des pompes et des débitmètres, offre une flexibilité de dosage, une mesure précise et une surveillance continue des paramètres, renforçant la sécurité (**Kernou, 2018**).

I.7.7 Pasteurisation

D'après le texte, la pasteurisation est un processus qui consiste à chauffer et maintenir une émulsion à une température spécifique (généralement entre 75 et 85°C) pendant une durée déterminée (dans ce cas, 16 secondes). Ensuite, l'émulsion est refroidie à une température désirée (entre 45 et 55°C). Ce processus vise à réduire le nombre de bactéries et d'autres micro-organismes présents dans le produit, améliorant ainsi sa stabilité microbiologique et sa sécurité alimentaire (**SPX Corporation, 2012**).

I.7.8 Refroidissement et cristallisation

Ces deux phases sont souvent associées car elles se complètent mutuellement après la formation de l'émulsion pour stabiliser le produit. Ce refroidissement, souvent réalisé avec de l'azote liquide, favorise la cristallisation des matières grasses, renforçant ainsi la cohésion de la margarine et améliorant sa stabilité (**Cossut et al., 2002**).

I.7.9 Malaxage

Le produit sort du cristallisateur sous forme de film et est acheminé vers un malaxeur qui lui donne consistance, souplesse et homogénéité, éliminant également les mauvaises odeurs (**Ahmad et Clyde, 2002**).

I.7.10 Emballage et Conditionnement

Une fois refroidie et cristallisée, la margarine est pompée à l'aide de pompes haute pression, puis elle est conditionnée. Il existe deux méthodes de conditionnement pour la

margarine : en barquettes PVC ou en papier aluminium. Chaque méthode de conditionnement nécessite un équipement spécifique. De plus, c'est à cette étape que les échantillons de produit sont prélevés pour le contrôle qualité du produit fini (Cossut et al., 2002).

I.7.11 Stockage

La margarine conditionnée est stockée quelques heures en salle de conditionnement, à la température de 10 à 13°C (pour éviter une cristallisation brusque), ensuite les produits finis jugés conformes sont stockés en chambre froide entre 5 et 7°C (Kernou, 2018).

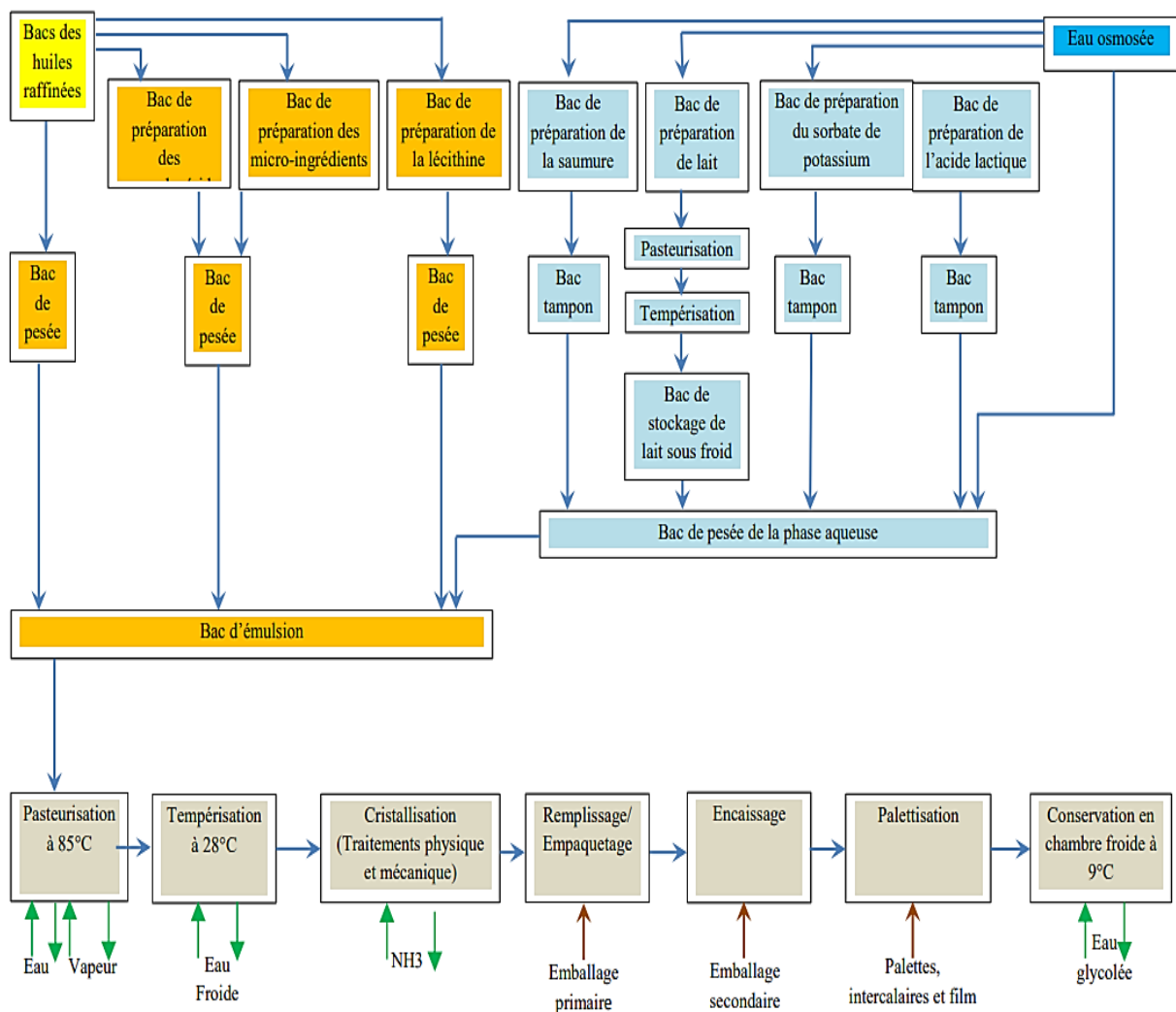


Figure 9 : diagramme de la fabrication de la margarine (Originale).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1 Présentation de l'organisme CEVITAL

CEVITAL s'est constitué autour de l'idée forte de bâtir un ensemble industriel intégré, concentré en première partie dans le secteur de l'agroalimentaire, dont le raffinage d'huile et de sucre, produits dérivés, négoce de céréales, distribution de produits destinés à l'alimentation humaine et animale. L'ensemble industriel a connu une croissance importante et a consolidé sa position de Leader dans le domaine agroalimentaire et entend poursuivre sa croissance et exploiter les synergies en poussant l'intégration des activités agroalimentaires et en développant des activités dans le secteur à fort potentiel de croissance du verre plat. CEVITAL a réalisé un chiffre d'affaires de près de 40 milliards dinars en 2004 et un résultat net de 7,6 milliards de dinars. Pour les 10 premiers mois de 2005 (du 1er janvier 2005 au 31 octobre 2005) CEVITAL a réalisé un chiffre d'affaires de 42 milliards (TTC) et un résultat brut de 7,5 milliards de dinars.

II.2 Echantillonnage

Notre étude est portée sur trois types de margarine produite par le complexe CEVITAL. Voici une synthèse de chaque type de margarine :

II.2.1 Matina

- Composition : 50% beurre et 50% margarine, avec une phase grasse représentant 70% et une phase aqueuse représentant 30%, riche en vitamines A et D (Figure 10).
- Utilisation : Principalement pour les tartines.
- Durée de conservation : 6 mois.



Figure 10 : Margarine Matina (photographie originale).

II.2.2 Fleurial

- Composition : 100% végétale, à base d'un mélange d'huiles et de graisses végétales (Figure 11), avec une phase grasse représentant 82% et une phase aqueuse représentant 16% (lait/eau), riche en vitamines A, D, E et en Omega 6.
- Utilisation : Pour les cuissons, les tartines et les gâteaux.
- Durée de conservation : 1 an.



Figure 11 : Margarine Fleurial. (A) barquette. (B) plaquette (photographie originale).

II.2.3 Parisienne

- Composition : Margarine de feuilletage à base d'un mélange d'huiles et de graisses végétales (Figure 12), avec une phase grasse représentant 82% et une phase aqueuse représentant 16% (eau).
- Utilisation : Pour les préparations à base de pâte feuilletée et les produits de pâtisserie.
- Durée de conservation : 1 an.



Figure 12 : Margarine parisienne (photographie originale).

Les échantillons sont prélevés aléatoirement à partir des différents lots de chaque type de margarine dès leur sortie de la chaîne de production. Trois échantillons sont pris :

- Un échantillon est conservé dans le réfrigérateur comme témoin pour les réclamations des clients.
- Un échantillon est destiné à l'analyse organoleptique (couleur, odeurs, goût).
- Un échantillon est destiné à l'analyse physico-chimique.

II.3 Analyses physico – chimiques

Notre étude porte sur la comparaison des analyses physico-chimiques des margarines, essentielles pour garantir leurs qualités et leurs conformités aux normes réglementaires. Les différentes analyses comprennent le test de poids pour assurer l'intégrité du produit final, la détermination de la teneur en eau et du point de fusion pour évaluer sa stabilité, l'indice de peroxyde et l'acidité pour détecter toute altération des matières grasses, ainsi que la mesure du taux de sel et des solides par RMN pour examiner sa composition. Enfin, le potentiel hydrogène (pH) de la phase aqueuse est évalué pour déterminer son acidité ou son alcalinité. Ces analyses combinées offrent une vue exhaustive de la margarine, garantissant sa qualité et sa sécurité pour les consommateurs.

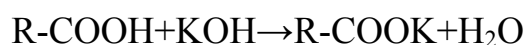
Les résultats présentés dans cette étude sont le fruit d'une analyse méticuleuse effectuée sur une période de 23 jour consécutive. Chaque jour, des séries d'échantillons ont été prélevées et soumises à un processus d'analyse rigoureux. Il convient de souligner que les données présentées sont des moyennes obtenues à partir de ces séries d'échantillons, garantissant ainsi une représentation fidèle et robuste des tendances observées.

II.3.1 Composition en acides gras des huiles par (CPG)

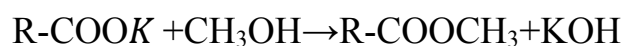
❖ Principe

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique analytique fondamentale pour séparer et quantifier les composants d'une phase liquide ou gazeuse homogène. Elle repose sur les équilibres de concentration entre une phase stationnaire et une phase mobile, permettant la séparation des composés en fonction de leur vitesse d'entraînement par la phase mobile (Figure 13). La CPG est largement utilisée dans les laboratoires d'analyse en raison de sa grande applicabilité (George, 2017). Dans ce contexte, la cascade de réactions ci-dessous se produisent :

- **Reaction de saponification**



- **Réaction de méthylation**



❖ Mode opératoire

Le mode opératoire commence par la méthylation des acides gras. On pèse 0,5 g de corps gras que l'on dissout dans 5 ml d'hexane (2N). Ensuite, on ajoute 0,5 ml de solution de KOH méthanolique et on agite pendant 30 secondes. Après centrifugation, on prélève 1 à 2 gouttes de surnageant que l'on place dans une fiole avec 4 ml d'hexane (E). L'échantillon est ensuite placé, et après avoir attendu la stabilité du logiciel, on appuie sur « start ». Pour les conditions de chromatographie en phase gazeuse (CPG), on utilise une colonne capillaire de 60 m de longueur, 0,25 mm de diamètre, et 0,25 μm d'épaisseur de film. Le gaz vecteur est de l'hydrogène, avec une pression de 14,84 psi et un débit de 1 ml/min. L'injecteur est réglé à une température de 270°C en mode split en programmation, avec un débit split de 49,9 ml/min et un volume injecté de 1 μl . Le four a une température maximale de 320°C. Le détecteur est un FID (Flame Ionization Detector) avec des débits de gaz de make-up N₂ (azote) à 45 ml/min, H₂ (hydrogène) à 40 ml/min, et de l'air à 450 ml/min.

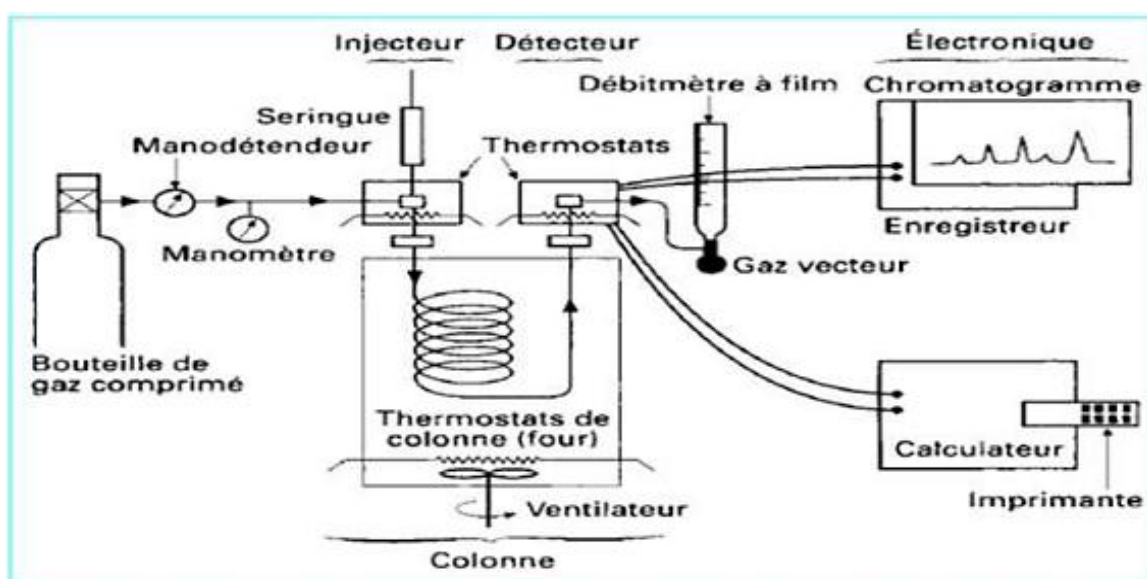


Figure 13 : Principe du chromatographe en phase gazeuse (Tranchant, 1999).

II.3.2 Test de poids

Il s'agit d'une étape cruciale pour garantir l'intégrité du produit final et éviter toute fraude. Ce test consiste à peser le produit fini à l'aide d'une balance précise. La pesée permet de vérifier que le produit correspond à la quantité attendue et spécifiée sur l'emballage. Cela

contribue à assurer la conformité aux normes réglementaires et à maintenir la confiance des consommateurs.

II.3.3 Analyse de la phase grasse

II.3.3.1 Détermination de la teneur en eau (Humidité)

❖ Principe

La teneur en eau est déterminée selon la norme **NE 1.2-47 (1985)**. Ce test évalue la perte de masse subie par le produit chauffé à 103 ± 2 °C dans des conditions spécifiques d'évaporation de l'eau et des matières volatiles de la margarine sous l'effet de la chaleur.

❖ Mode opératoire

Le mode opératoire débute par la pesée du bécher vide (P0) ainsi que la pesée de la prise d'essai de margarine, d'un poids de 5 g (PE). Ensuite, on chauffe le bécher contenant la prise d'essai sur une plaque chauffante en agitant périodiquement jusqu'à ce que le produit devienne limpide, indiquant la disparition totale de l'eau. Pendant cette étape, il est important d'éviter la formation d'éclaboussures et de gouttelettes d'eau sur les parois du bécher. Enfin, après refroidissement dans un dessiccateur, on pèse le bécher contenant la margarine (p).

❖ Expression des résultats

L'humidité, exprimée en pourcentage, est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Humidité (H\%)} = \frac{(P0+PE)-P}{PE} \times 100$$

Où :

- (H%) : Humidité exprimée en pourcentage massique.
- (P0) : Poids du bécher sec et vide en grammes (g).
- (PE) : Poids de la prise d'essai en grammes (g).
- (P) : Poids en grammes (g) du bécher contenant l'échantillon après chauffage et refroidissement.

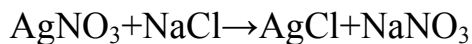
II.3.3.2 Taux de sel

❖ Principe

La teneur en chlorures de sodium (NaCl) est déterminée selon la norme **NE.1.2.429 (1989)**. Il s'agit de la quantité de sel présente dans la margarine, mesurée en titrant les chlorures présents dans la prise d'essai avec une solution de nitrate d'argent (AgNO₃) en présence d'un

indicateur coloré (chromate de potassium) selon la méthode de Mohr. Les réactions suivantes se produisent au cours du titrage :

- **Réaction du titrage**



- ❖ **Mode opératoire**

Commencer par peser 5 g de margarine. Ajouter ensuite, avec précaution, 100 ml d'eau distillée préalablement chauffée. Agiter le mélange d'eau distillée chauffée et de margarine, puis laisser refroidir pendant 20 minutes. Ajouter quelques gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4) tout en agitant soigneusement. Enfin, titrer avec une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) en agitant jusqu'à l'apparition d'un précipité de couleur rouge brique.

- ❖ **Expression des résultats**

Le taux de sel est exprimé comme suit :

$$\text{taux de sels (Ts\%)} = \frac{V \times N \times \text{Eq. g (NaCl)}}{P \times 10}$$

Où :

Ts : Taux ou teneur en sel exprimé en pourcentage.

N : Normalité d' AgNO_3 utilisé (0.1N).

V : Volume en ml d' AgNO_3 utilisé pour le titrage.

Eq. g (NaCl) : Équivalent grammes de NaCl égal à 58.5 g.

P : Prise d'essai en g.

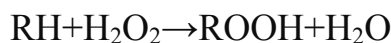
II.3.3.3 Détermination de l'indice de peroxyde

- ❖ **Principe**

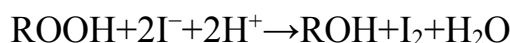
L'indice de peroxyde est déterminé selon la norme **NE 1.2.98 (1988)**. Il représente la quantité de peroxyde présente dans l'échantillon, exprimée en milliéquivalents d' O_2 actif par 1kg de matière grasse, dans les conditions opératoires décrites. Cette méthode implique le traitement d'une prise d'essai en solution d'acide acétique et de chloroforme avec une solution

d'iodure de potassium (KI), suivi d'un titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium. La chaîne de réactions suivantes se produisent au cours de ce procédé :

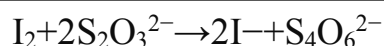
- **Réaction d'oxydation des doubles liaisons insaturées par le peroxyde d'hydrogène**



- **Réaction d'oxydation des ions iodure par les peroxydes formés**



- **Réaction de titrage de l'iode formé avec la solution de thiosulfate de sodium**



❖ **Mode opératoire**

Pour la procédure d'analyse, commencez par faire fondre une quantité de margarine dans une étuve à 75 °C et filtrez le mélange pour récupérer la phase grasse. Ensuite, pesez 5 g de l'échantillon dans un ballon bien séché. À l'abri du contact avec l'air, ajoutez 12 ml de chloroforme, 18 ml d'acide acétique et une solution d'iodure de potassium à l'échantillon pesé. Bouchez le ballon, agitez pendant une minute puis mettez-le à l'abri de la lumière pendant une minute. Ajoutez ensuite 75 ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon comme indicateur coloré. Si le mélange reste transparent, cela signifie que la réaction est complète et aucun titrage n'est nécessaire. Si le mélange devient noir, cela indique la présence d'iode non réagi, nécessitant un titrage avec une solution de thiosulfate de sodium à 0,01N.

❖ **Expression des résultats**

L'indice de peroxyde est exprimé en milliéquivalents d'O₂ actif par 1Kg de matière grasse ; par la formule suivante :

$$I_p = V(\text{Chute}) \times 2$$

Où :

- I_p : Indice de peroxyde en milliéquivalents d'O₂ actif par 1Kg de matière grasse (MeqO₂/KgMG)

- V(Chute) : Volume de la chute de la burette.

II.3.3.4 Détermination du point de fusion

❖ Principe

Le point de fusion est déterminé selon la norme **NE 1.2.91 (1988)**. Il s'agit de la température à laquelle une matière grasse, placée dans un tube capillaire, fond et remonte dans le tube. Cette méthode est basée sur la transition de la matière grasse de l'état solide à l'état liquide sous l'effet de la chaleur.

❖ Mode opératoire

Commencez par faire fondre une quantité de margarine dans une étuve à 70 °C et filtrez le mélange. Introduisez ensuite la margarine dans deux tubes capillaires en verre sur une hauteur d'un centimètre. Refroidissez les tubes au réfrigérateur pendant 20 minutes. Fixez les tubes à un thermomètre à l'aide d'une bague en caoutchouc, de sorte que les parties basses des tubes soient au même niveau que le fond de la boule de mercure du thermomètre. Plongez l'ensemble dans un bécher contenant de l'eau osmosée. Chauffez lentement à un taux de 0,5°C/min à l'aide d'une plaque chauffante agitatrice, contenant un barreau magnétique. Observez attentivement à quelle température les colonnes de margarine remontent dans les tubes.

❖ Expression des résultats

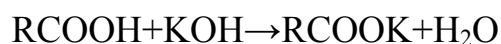
La température notée correspond au point de fusion de la margarine, exprimée en degrés Celsius (°C).

II.3.3.5 Acidité et indices d'acide

❖ Principe

L'acidité est déterminée selon la norme **NE.1.2.97 (1988)**. Elle correspond à l'acidité grasse libre, exprimée en acide oléique ou palmitique. L'indice d'acide représente le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 g de corps gras. Le principe repose sur le traitement d'une prise d'essai de margarine par un mélange d'éthanol et d'oxyde de diéthylénique, suivi d'un titrage des acides gras libres avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. Les réactions suivantes se produisent au cours du titrage :

- **Réaction de titrage**



- ❖ **Mode opératoire**

Commencez par mesurer 75 ml d'éthanol dans un erlenmeyer. Ajoutez quelques gouttes de l'indicateur coloré, phénophtaléine, puis titrez avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante pendant 10 secondes. Ensuite, pesez et ajoutez 10 g d'huile dans l'erlenmeyer. Chauffez l'erlenmeyer contenant la prise d'essai sur une plaque chauffante. Enfin, titrez de nouveau avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante pendant 10 secondes.

- ❖ **Expression des résultats**

L'acidité du corps gras est déterminée comme suit :

- Pour l'acide palmitique :

$$A = \frac{V \times N \times 256}{P \times 10}$$

- Pour l'acide oléique :

$$A = \frac{V \times N \times 282}{P \times 10}$$

Où :

- A : Acidité exprimée en pourcentage.
- N : Normalité du KOH utilisé (0.1 N).
- V : Volume du KOH utilisé (ml).
- 282g/mole : Équivalent gramme de l'acide oléique (Eq.g).
- 256 g/mole : Équivalent gramme de l'acide palmitique (Eq.g).
- P : Masse de la prise d'essai (g).

II.3.3.6 Détermination du taux de solide par RMN

La détermination de la teneur en corps gras solides est effectuée selon la norme **NF EN ISO 8292 (1995)** à l'aide d'un spectromètre de résonance magnétique nucléaire (RMN) pulsée basse résolution. La teneur en solide d'une phase grasse est un élément important pour la connaissance des propriétés rhéologiques d'une graisse. Cette méthode repose sur la mesure, par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire à basse résolution et à onde pulsée, de la teneur en composés liquides contenant de l'hydrogène (Figure 14).

La RMN est une méthode rapide et non destructrice, mais elle nécessite de connaître la nature de la matière grasse, car l'appareil doit être calibré avec un corps gras identique à celui que l'on veut doser. Elle ne peut s'appliquer à des composés contenant des corps gras inconnus présents dans les graines oléagineuses, préalablement séchées à 103 ± 2 °C (annexe 1).

L'échantillon est tempéré dans un état stable à une température spécifique, puis chauffé et stabilisé à la température de mesure. Les températures de mesure sont : 10, 20, 30, 40 °C. Après équilibrage électromagnétique dans le champ magnétique statique du spectromètre RMN et l'application d'une impulsion de radiofréquence à 90°, la phase liquide unique est mesurée et les corps gras solides sont calculés en référence à un échantillon étalon constitué uniquement de corps gras liquides

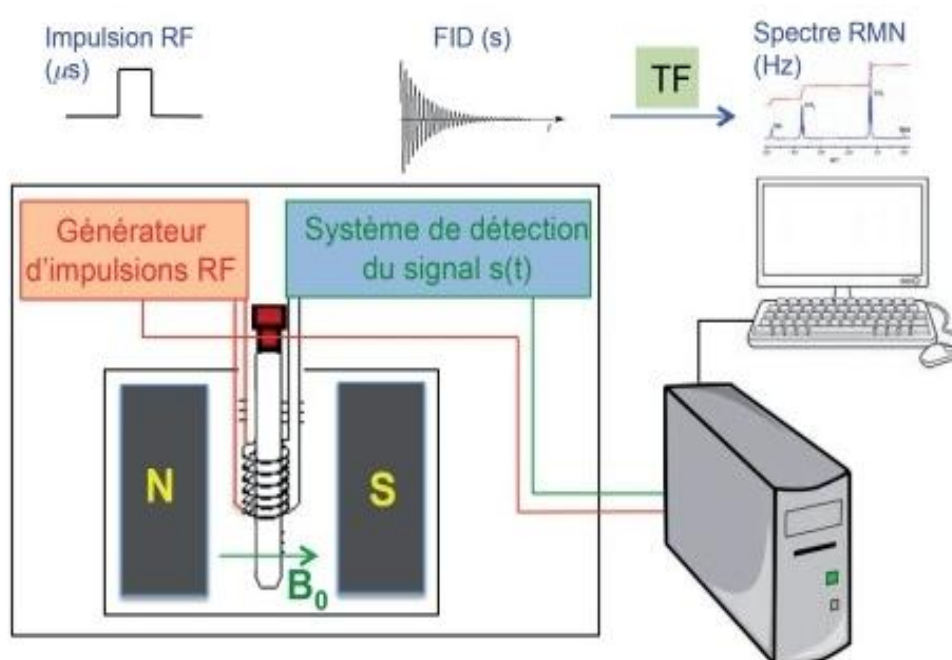


Figure 14 : Principe simplifié d'une RMN de paillasse (Bruker Corporation, 2015).

❖ Mode opératoire

Le processus débute par la fusion de la margarine à 100°C dans une étuve jusqu'à l'obtention de deux phases distinctes. La phase grasse (PG) est ensuite filtrée à travers un papier filtre préalablement sécher pour obtenir un produit purifié. Trois tubes en verre propres sont remplis jusqu'à 2 cm de leur capacité et placés dans une étuve selon un programme spécifique : 15 minutes à 100°C pour stabiliser la température, suivies de 5 minutes à 60°C pour éviter le choc thermique, puis 60 minutes à 0°C dans un bain-marie pour un refroidissement progressif. Après ce processus, les tubes sont transférés dans un environnement à 5°C pendant 30 minutes pour stabiliser la température avant d'être placés dans l'appareil de RMN. Les premières valeurs en pourcentage (%) sont relevées à 5°C, suivies de lectures à des intervalles de 30 minutes à des températures augmentant de 5°C jusqu'à atteindre 40°C.

❖ Expression des résultats

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

II.3.4 Analyse de la phase aqueuse

II.3.4.1 Détermination du potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une grandeur sans unité qui représente la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Ce paramètre est un indicateur de l'acidité lorsque le pH est inférieur à 7 et de l'alcalinité lorsque le pH est supérieur à 7 (**Petrucci et al., 2002**).

❖ Mode opératoire (ISO 7238)

Pour isoler la phase aqueuse de la margarine, commencez par faire fondre une quantité de margarine dans une étuve à 105°C afin de séparer la phase aqueuse de la phase grasse. Utilisez une micropipette pour récupérer la phase aqueuse et laissez-la refroidir. Insérez ensuite les électrodes d'un pH-mètre dans le récipient contenant la phase aqueuse. Une fois que les valeurs affichées sur le pH-mètre se sont stabilisées, relevez la valeur du pH indiquée.

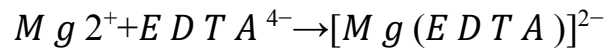
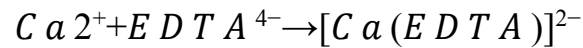
II.3.4.2 Analyses de l'eau

a. Titre hydrotimétrique (TH)

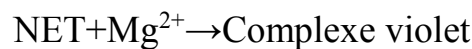
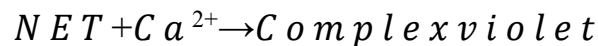
Le titre hydrotimétrique est une mesure de la minéralisation de l'eau en cations divalents alcalino-terreux, qui ont tendance à précipiter sous forme d'incrustations calcaires. Cette minéralisation est principalement due aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) (**Ministère**

de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2022). La cascade de réactions ci-dessous se produisent au cours de la détermination du TH :

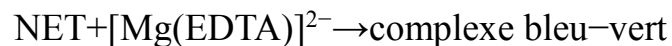
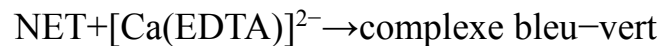
- **Formation des complexes métalliques avec l'EDTA**



- **Formation du complexe avec l'indicateur NET (Noir Eriochrome T)**



- **Changement de couleur à la fin du titrage**



❖ Mode opératoire

D'abord, 100 ml d'eau à analyser sont pris dans un erlenmeyer. Pour stabiliser le pH pendant le processus de titrage, 8 gouttes de solution tampon ammoniacale sont ajoutées au mélange. Ensuite, quelques gouttes de N.E.T. (Noir Eriochrome T) sont introduites et le contenu est soigneusement mélangé. L'observation de la couleur obtenue après l'ajout de N.E.T. guide l'interprétation des résultats : une coloration bleue indique un TH nul ($TH = 0^{\circ}f$), tandis qu'une teinte violette révèle la présence d'ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Le titrage est ensuite effectué avec une liqueur hydrométrique d'EDTA (sel tétrasodique de l'acide éthylènediamine tétra-acétique) à 0,04N, jusqu'au changement de la couleur violette en bleu-vert. Cette transition marque la fin du titrage et permet de calculer précisément le titre hydrotimétrique de l'eau analysée.

❖ Expression des résultats

Le TH est calculé en utilisant la formule :

$$TH \text{ total} (^{\circ}f) = 2 \times V_{ml}$$

Où :

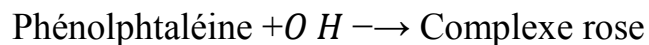
- TH total : Titre hydrotimétrique total.
- °f : Degrés français (1°f = 10 mg/l de CaCO₃).
- V : Volume de la chute de la burette en ml

b. Titre alcalimétrique (TA)

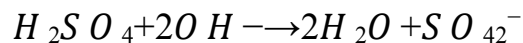
❖ Principe

Le TA est déterminé en mesurant la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour faire passer le pH d'une solution à 8,3, en utilisant de la phénolphtaléine comme indicateur. Le TA est exprimé en degrés français (**Vogel, 1989**). Les réactions en chaîne suivantes se déroulent au cours de ce processus :

- **Réaction de la phénolphtaléine (indicateur)**



- **Réaction de titrage avec l'acide sulfurique (H₂SO₄)**



❖ Mode opératoire

La méthode commence par prélever 100 ml d'eau dans un erlenmeyer. Deux gouttes de phénolphtaléine sont ensuite ajoutées et le mélange est agité. Si la solution reste incolore, cela indique un TA nul (TA = 0), signalant un pH inférieur à 8,3. En présence d'une coloration rose, cela révèle un pH supérieur à 8,3, nécessitant alors un titrage avec une solution d'acide sulfurique standard à 0,04 N. Le titrage est poursuivi jusqu'à la disparition complète de la couleur rose, marquant la fin du processus et permettant de déterminer précisément le titre alcalimétrique de l'eau analysée.

❖ Expression des résultats

Le TA est calculé en utilisant la formule :

$$TA (\text{°f}) = V_{\text{ml}} \times 2$$

Où :

- TA : Titre alcalimétrique.

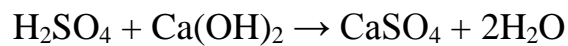
- °f : Degrés français (1°f = 10mg/1 de CaCo3).
- V : Volume de la chute de la burette en ml.

c. Titre alcalimétrique complet (TAC)

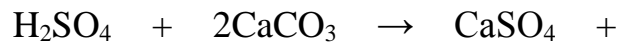
❖ Principe

Le TAC est la mesure de la teneur en alcalis dans une solution, déterminée par l'ajout d'acide sulfurique jusqu'à ce que le pH atteigne 4,3, en utilisant le méthylorange ou l'hélianthine comme indicateur coloré. Le TAC est exprimé en degrés français (Skoog et al., 2013). Dans ce cadre, la cascade de réactions suivantes aura lieu :

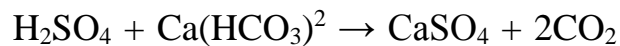
- Réaction avec les hydroxydes



- Réaction avec les carbonates



- Réaction avec les bicarbonates



❖ Mode opératoire

En utilisant le même échantillon que celui prélevé pour l'analyse du titre alcalimétrique (TA). Deux gouttes d'indicateur coloré tel que l'hélianthine ou la méthylorange sont ajoutées, ce qui génère une coloration jaune caractéristique. Ensuite, la solution est titrée avec une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) de même concentration que celle utilisée précédemment. Le titrage est poursuivi jusqu'à ce que la coloration jaune vire à l'orange, indiquant la fin du processus de titrage.

❖ Expression des résultats

Le TAC est calculé en utilisant la formule :

$$\text{TAC } (^\circ\text{f}) = (V'' - 0,1)\text{ml} \times 2$$

Où :

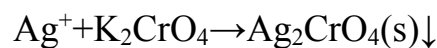
- TAC : Titre alcalimétrique complet en degrés français.
- V'' : Volume de la chute de la burette en ml.

d. Dosage de chlorures

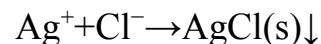
❖ Principe

Le test des chlorures vise à déterminer la concentration de ces ions dans une solution. Les ions chlorure réagissent avec les ions argent pour former des chlorures d'argent insolubles qui précipitent quantitativement. En ajoutant un léger excès d'ions argent, on forme du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates ajoutés comme indicateur de fin de réaction (Harris, 2010). Dans ce contexte, la chaîne de réactions ci-dessous se produisent :

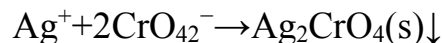
- **Formation du complexe avec le chromate de potassium (K_2CrO_4) comme indicateur**



- **Précipitation des chlorures sous forme de chlorure d'argent ($AgCl$)**



- **Formation du chromate d'argent (Ag_2CrO_4) comme indicateur de fin de réaction**



❖ Mode opératoire

Pour analyser la concentration de chlorures dans l'eau, commencez par prélever un échantillon de 100 ml dans un erlenmeyer. Ajoutez ensuite 5 gouttes de chromate de potassium comme indicateur, ce qui produit une coloration rose pour marquer le début du titrage. Ensuite, titrez l'échantillon avec une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) à 0,04 N. Le nitrate d'argent réagit en précipitant les chlorures présents sous forme de chlorures d'argent. Pendant le titrage, agitez doucement le mélange jusqu'à ce qu'une teinte rouge brique apparaisse. Ce changement de couleur indique la fin de la réaction, signalant que tous les chlorures ont réagi avec l' $AgNO_3$.

❖ Expression des résultats

Le calcul de la concentration en chlorures se fait en utilisant la formule :

$$Cl (\%) = V \text{ ml}$$

II.4 Analyse statistique

Les résultats des huiles ont été analysés en réalisant une (ACP) grâce au logiciel R. Les résultats des trois types de margarine ont été analysés à l'aide du logiciel IBM SPSS (version 20) afin de comparer statistiquement les moyennes et les écarts types. L'analyse statistique des données physico-chimiques a été réalisée en utilisant une analyse de la variance (ANOVA), avec un seuil de signification fixé à une probabilité de $P < 0.05$.

Chapitre III :
Résultats et
Discussion

III.1 Résultats de l'analyse de la composition en acides gras des huiles

L'analyse en composantes principales (ACP) offre une méthode puissante pour explorer la structure des données multidimensionnelles et identifier les tendances et les relations entre les échantillons analysés. La figure 15 présente les résultats de l'ACP :

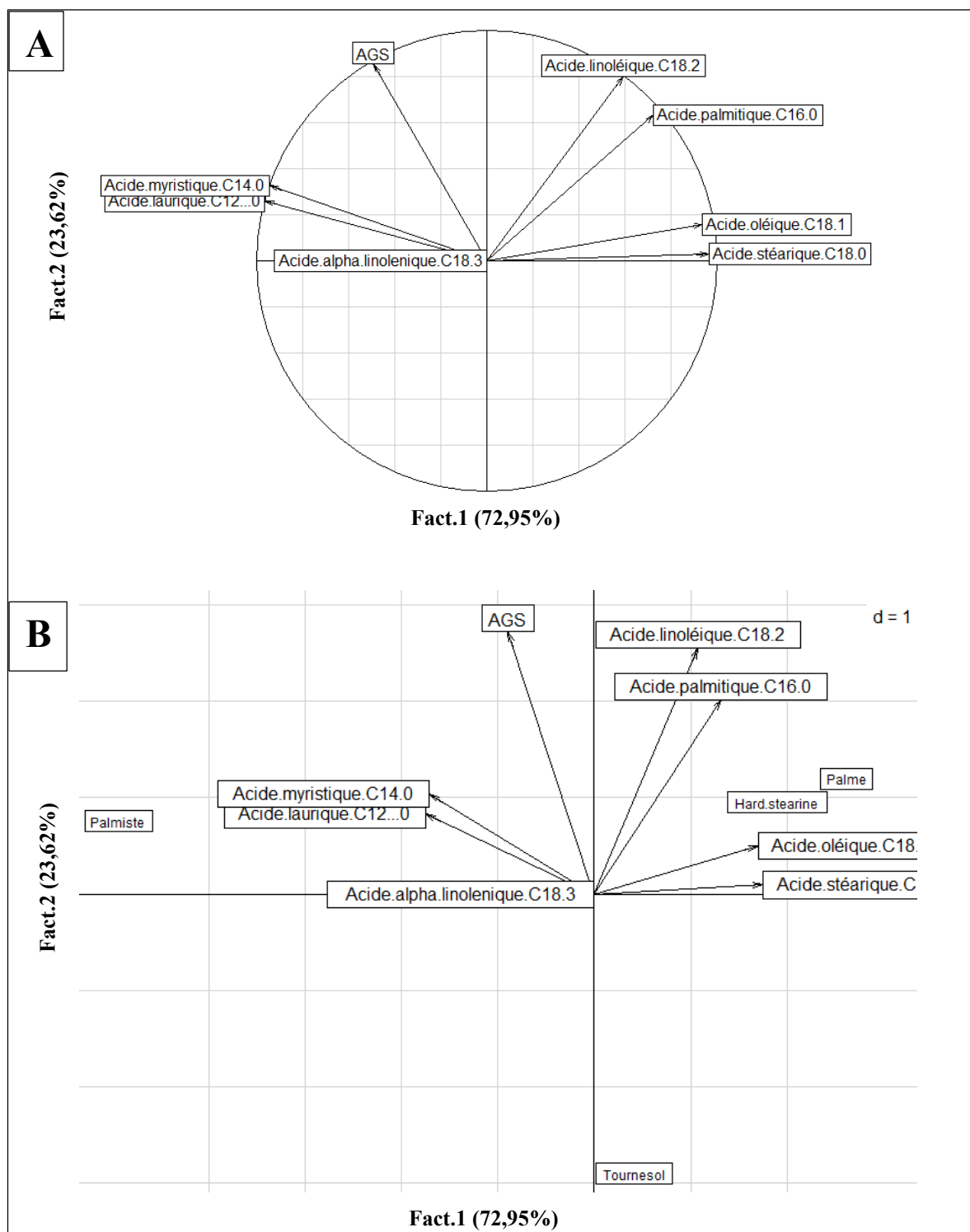


Figure 15 : Analyse en composante principale (ACP) des huiles.

Le graphique du cercle des corrélations (figure 15 A) montre la projection des variables originales (acides gras) sur le plan formé par les deux premières composantes principales de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Les acides gras saturés (AGS) se regroupent près de l'origine, suggérant qu'ils ne contribuent pas significativement à la variance capturée par ces deux composantes principales. En revanche, l'acide oléique (C18:1) et l'acide stéarique (C18:0) sont fortement corrélés avec la première composante principale (PC1), qui explique 72.95% de la variance. L'acide linoléique (C18:2) est fortement corrélé avec la seconde composante principale (PC2), qui explique 23.61% de la variance, portant la variance cumulative à 96.57% (annexe 3).

Le graphique de projection des individus (figure 15 B) montre la projection des différents types d'huiles sur le plan formé par les deux premières composantes principales. L'huile de palme et le hard stéarine sont situés du côté droit du graphique, indiquant qu'elles sont caractérisées par des niveaux élevés d'acide palmitique (C16:0) et d'acide oléique (C18:1). L'huile de palme a 44.4% (annexe 2) d'acide palmitique et 40.9% d'acide oléique, tandis que le hard stéarine en a respectivement 55.6% et 30.9% (annexe 2). L'huile de palmiste se distingue par ses niveaux élevés d'acide laurique (47.1%) et d'acide myristique (16.3%) (annexe 2). L'huile de tournesol, est caractérisée par des niveaux élevés d'acide linoléique (27.94%). Ces visualisations confirment que les deux premières composantes principales expliquent une grande partie de la variance des données, permettant de différencier efficacement les types d'huiles en fonction de leur composition en acides gras.

III.2 Caractéristiques physico-chimiques des margarines

III.2.1 Poids

Il est crucial de peser la margarine pour éviter les fraudes, car même un léger manque ou excès de poids peut se traduire par une perte ou un gain financier significatif. En pesant les échantillons, on peut détecter toute déviation par rapport aux normes établies par l'entreprise pour chaque produit.

Tableau IV : Résultats de poids des différentes margarines

Margarine	Le poids
Matina	400 ± 5,66 g
Fleurial	500 ± 0,94 g
Parisienne	500 ± 1,05 g

Les résultats de pesée des échantillons de margarine, révélant des poids moyens de $400 \pm 5,66$ g pour Matina, $500 \pm 0,94$ g pour Fleurial et $500 \pm 1,05$ g pour Parisienne (Tableau IV), sont conformes aux normes établies par l'entreprise. Cette conformité renforce la confiance des consommateurs dans les produits de l'entreprise et dissuade les pratiques frauduleuses en assurant transparence et fiabilité dans la quantité de produit fournie. Ainsi, l'entreprise démontre son engagement envers des normes élevées de qualité et d'intégrité, ce qui garantit la satisfaction des clients et la pérennité de ses activités.

III.2.2 Tenor en eau (Humidité)

L'analyse de l'humidité est cruciale pour produire une margarine avec une teneur en eau optimale, assurant ainsi la qualité, la sécurité et la satisfaction des consommateurs. Les résultats illustrés dans le graphique ci-dessous montrent les teneurs en eau moyennes, sous forme d'un diagramme en bâtons pour trois types de margarine : Fleurial, Matina, et Parisienne.

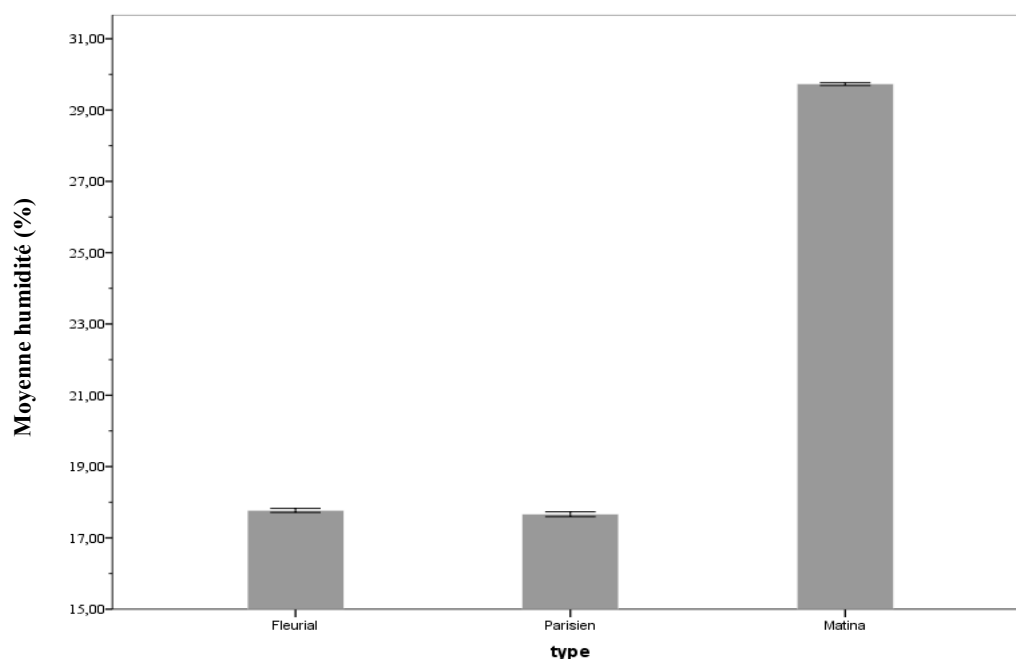


Figure 16 : Teneur en Eau Moyenne des Différents Types de Margarine.

Les valeurs moyennes de la teneur en eau pour Fleurial $17,7717\% \pm 0,02839$ et Parisienne $17,6639\% \pm 0,03421$. Ces résultats se situent dans la plage normée de 16 à 18%. La faible variabilité suggère une bonne consistance et un contrôle de qualité efficace dans le processus de production. Matina présente une teneur en eau moyenne de $29,7309\% \pm 0,02043$,

ce qui respecte également sa norme spécifique de 29 à 30%. La faible variabilité indique une homogénéité remarquable (**Kernou, 2018**).

Matina présente une teneur en eau significativement plus élevée ($P=0,005\%$), offrant ainsi une texture plus souple et une meilleure étalabilité remarquable (**Kernou, 2018**). Ces caractéristiques sont particulièrement appréciées par les consommateurs recherchant une margarine facile à étaler (**Maleysson, 2009**). Par contre Fleurial et Parisienne, avec leurs teneurs en eau plus faibles, sont plus fermes et stables, adaptées à des applications telles que la pâtisserie et la cuisson où une texture plus solide est nécessaire (**Chougui, 2015**).

Les teneurs en eau conformes aux normes pour toutes les margarines indiquent que les produits répondent aux attentes de qualité et de performance. Une teneur en eau plus élevée pour Matina correspond à plusieurs bienfaits, mais peut aussi réduire sa durée de conservation en augmentant le risque de croissance microbienne. C'est pourquoi sa durée de conservation ne dépasse pas les 6 mois. En revanche, les teneurs en eau plus faibles pour Fleurial et Parisienne indiquent une formulation favorisant une texture plus ferme, tout en augmentant leurs durées de conservation jusqu'à 12 mois.

Un taux de teneur en eau supérieur à la norme peut améliorer la souplesse et l'étalabilité (**Maleysson, 2009**), mais peut entraîner une séparation de phase, diminuant la stabilité du produit, et peut réduire la durée de conservation à cause de la croissance microbienne accrue, ce qui augmente le risque de maladies d'origine alimentaire. Des microorganismes pathogènes comme Salmonella, Listeria ou Escherichia coli peuvent provoquer des infections alimentaires graves, particulièrement chez les enfants, les personnes âgées et celles ayant un système immunitaire affaibli (**De Man, 2018; Fellows, 2017**). À l'inverse, une teneur en eau inférieure à la norme offre une texture plus ferme et prolonge la durée de conservation grâce à une moindre probabilité de croissance microbienne (**Fellows, 2017**), bien qu'elle puisse rendre la margarine moins agréable à consommer en raison d'une texture trop dure et moins facile à tartiner (**De Man, 2018**).

III.2.3 Taux de sels

Le contrôle du taux de sel, permet d'assurer le maintien des propriétés sensorielles et gustatives du produit tout en veillant à la santé publique en évitant une consommation excessive

de sel. Le graphique ci-dessous représente les taux de sel moyen des différents types de margarines.

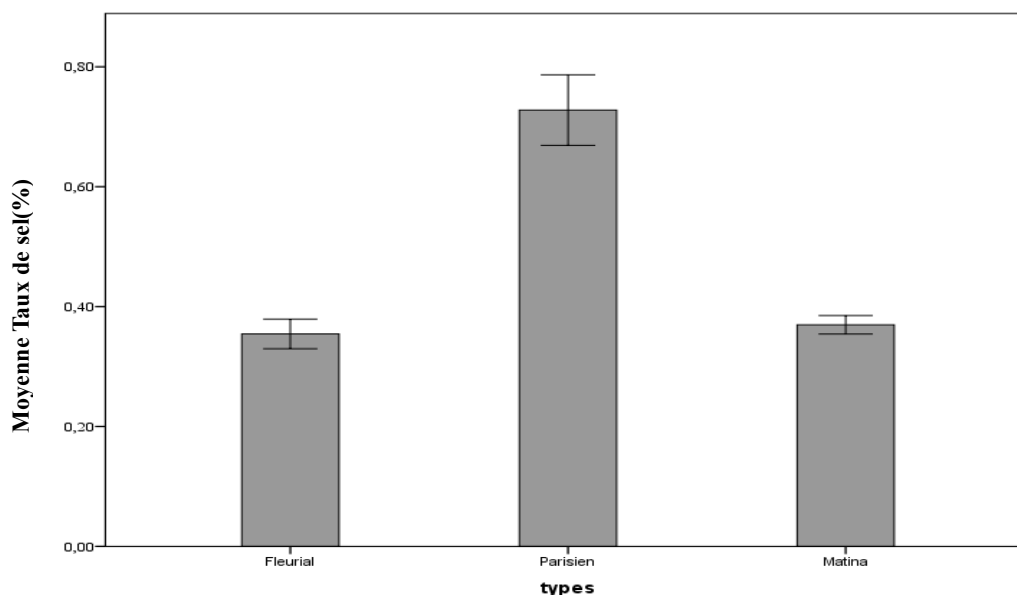


Figure 17 : Taux de sel Moyen des Différents Types de Margarine.

Les résultats de l'analyse du taux de sel des différentes margarines révèlent que toutes les margarines respectent les normes spécifiques établies pour chaque type de produit. Fleurial présente une teneur en sel de $0,3543\% \pm 0,01237\%$, qui est conforme à la norme de qualité (0,20 à 0,40%). De même, Matina affiche une teneur en sel de $0,3696\% \pm 0,00767\%$, soulignant un contrôle de qualité strict et une consistance notable dans le produit final. Parisienne, bien que légèrement plus élevée dans sa teneur en sel à $0,7278\% \pm 0,02938\%$, reste dans la plage normée de (0,60 à 1,00%), avec une variabilité légèrement plus élevée mais encore acceptable.

Dans l'ensemble, les margarines Fleurial, Matina et Parisienne respectent toutes leurs normes de teneur en sel respectives, démontrant ainsi une bonne maîtrise des processus de production et une adaptation aux préférences des consommateurs (Harthoorn et Drukker, 2020). Fleurial et Matina se démarquent par leurs teneurs en sel modérées et leur faible variabilité, ce qui les rend idéales pour les régimes moins salés. Parisienne, avec une teneur en sel plus élevée, convient davantage aux palais recherchant des saveurs plus prononcées. Cependant, une surveillance continue et des ajustements précis dans le processus de production peuvent encore améliorer la consistance et la qualité des margarines, répondant ainsi aux besoins changeants du marché et des consommateurs (Quinn et al., 2017).

Les conséquences d'un taux de sel inadéquat peuvent être significatives. Un taux de sel supérieur à la norme peut contribuer à des problèmes de santé tels que l'hypertension artérielle et les maladies cardiovasculaires (**He et MacGregor, 2011**), tandis qu'un taux inférieur peut entraîner des déséquilibres électrolytiques et des crampes musculaires (**Intersalt Cooperative Research Group, 1988**). En outre, une teneur en sel inadéquate peut affecter la qualité des aliments, augmentant le risque de contamination bactérienne ou de détérioration précoce (**Adams et Moss, 2008**). Cela peut également influencer l'acceptabilité des produits alimentaires, avec des niveaux excessifs de sel étant perçus comme trop salés et des niveaux insuffisants comme insipides (**Beauchamp et Bertino, 1990; Mair et al., 2007**). Ainsi, maintenir des niveaux de sel appropriés est crucial pour assurer à la fois la sécurité alimentaire et la satisfaction des consommateurs (**Bolini et al., 2023**).

III.2.4 Indice de peroxyde

Les résultats fournis montrent les indices de peroxyde pour trois types de margarines : Fleurial, Matina, et Parisienne (Figure 18). Ces indices sont des indicateurs de l'état de l'oxydation des matières grasses dans chaque type de margarine.

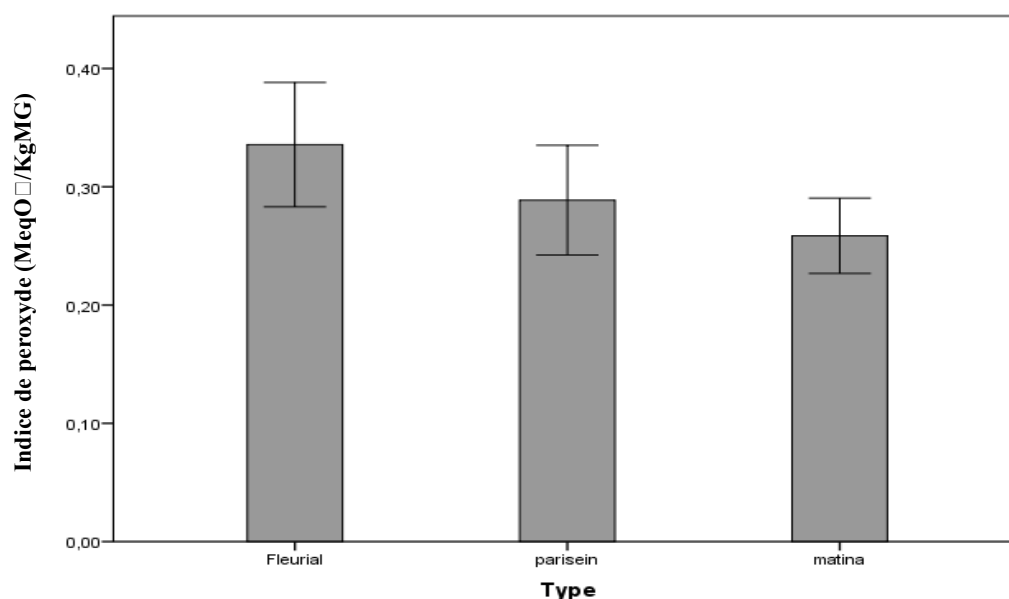


Figure 18 : Indice de peroxyde Moyenne des Différents Types de Margarine.

Les résultats montrent que Fleurial a un IP de $0,3357 \pm 0,02626$, ce qui en fait le produit le plus oxydé parmi les trois, bien que toujours dans une gamme acceptable. Matina, avec un IP de $0,2586 \pm 0,01590$, a les niveaux d'oxydation les plus bas et la plus grande consistance, suggérant une meilleure résistance à l'oxydation ou des mesures de prévention

plus efficaces. Parisienne se situe entre les deux, avec un IP de $0,2887 \pm 0,02322$, indiquant une qualité intermédiaire (**Frankel, 2005**).

Les indices de peroxyde pour ces margarines sont relativement bas, tous étant bien en dessous de 1, ce qui indique un niveau d'oxydation faible. La variabilité des mesures, indiquée par les écarts-types, montre que Fleurial a une variabilité légèrement supérieure, Matina a la variabilité la plus faible, et Parisienne une variabilité modérée.

Un indice de peroxyde supérieur à la norme peut avoir plusieurs conséquences négatives. Tout d'abord, cela indique une oxydation avancée des matières grasses, ce qui peut entraîner la formation de composés toxiques et cancérigènes comme les aldéhydes et les acides gras oxydés (**Halliwell et Gutteridge, 2015**). De plus, un taux élevé de peroxydes peut altérer les propriétés organoleptiques des margarines, résultant en des saveurs et des odeurs désagréables qui affectent la qualité globale du produit (**Frankel, 2005**). Cela peut également réduire la durée de conservation des margarines, augmentant le risque de rancissement avant la date de péremption. En somme, un indice de peroxyde dépassant la norme compromet à la fois la sécurité alimentaire et la satisfaction des consommateurs, soulignant l'importance de maintenir des niveaux bas de peroxydes dans les produits alimentaires.

En conclusion, les margarines analysées montrent une bonne stabilité à l'oxydation avec des indices de peroxyde bas. Matina se distingue par une qualité supérieure en termes de stabilité, tandis que Fleurial et Parisienne sont légèrement plus oxydés mais restent dans des gammes acceptables. Ces résultats peuvent guider les fabricants dans l'amélioration des processus de production et de stockage pour réduire encore plus l'oxydation des matières grasses, prolongeant ainsi la durée de conservation et améliorant la qualité des produits (**Halliwell et Gutteridge, 2015; Frankel, 2005**).

III.2.5 Point de fusion

Cette analyse sert à assurer une margarine de haute qualité, répondant aux normes de sécurité alimentaire et offrant une expérience culinaire optimale en termes de texture, de consistance et de performance. Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :

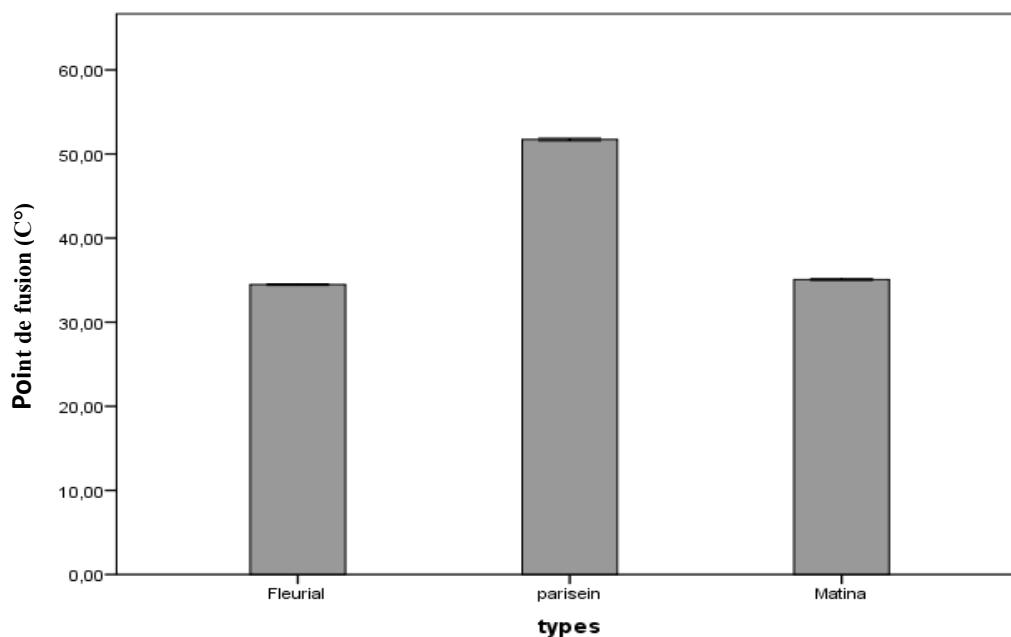


Figure 19 : point de fusion moyennes des différents types de Margarine.

Les résultats montrent que les points de fusion des margarines Fleurial $34,4696 \pm 0,04705$ °C, Matina $35,0652 \pm 0,0487$ °C et Parisienne $51,7261 \pm 0,07518$ °C sont tous conformes aux normes spécifiées : 34-37 °C pour Fleurial et Matina, et 48-52 °C pour Parisienne. Ces résultats, avec des écarts-types faibles, indiquent une bonne reproductibilité et stabilité des produits.

Les points de fusion sont un indicateur clé de la composition en acides gras des margarines, influençant leur texture et leur comportement lors de l'utilisation (**Rousseau, 2015**). Des points de fusion conformes garantissent des performances attendues en termes de texture et de comportement lors de l'utilisation, ce qui est crucial pour des applications spécifiques comme la pâtisserie ou la cuisson. Une déviation des normes pourrait indiquer des variations dans la composition des acides gras, ce qui pourrait affecter la qualité du produit. Par exemple, une margarine avec un point de fusion trop bas pourrait devenir trop molle à température ambiante, affectant sa manipulabilité, tandis qu'une margarine avec un point de fusion trop élevé pourrait être difficile à étaler et ne pas se comporter correctement lors de la cuisson (**Gunstone, 2007**).

En résumé, ces résultats soulignent la qualité et la fiabilité des margarines analysées, assurant ainsi aux consommateurs et aux utilisateurs industriels que ces produits se comporteront de manière prévisible et fiable dans leurs applications culinaires et industrielles.

III.2.6 Potentiel d'Hydrogène

La détermination du pH est cruciale pour contrôler et ajuster le niveau d'acidité ou d'alcalinité d'une margarine, ce qui peut influencer sa conservation, sa texture et son goût. Les résultats illustrés dans la figure 20, montrent les pH moyennes des trois margarines : Fleurial, Matina, et Parisienne.

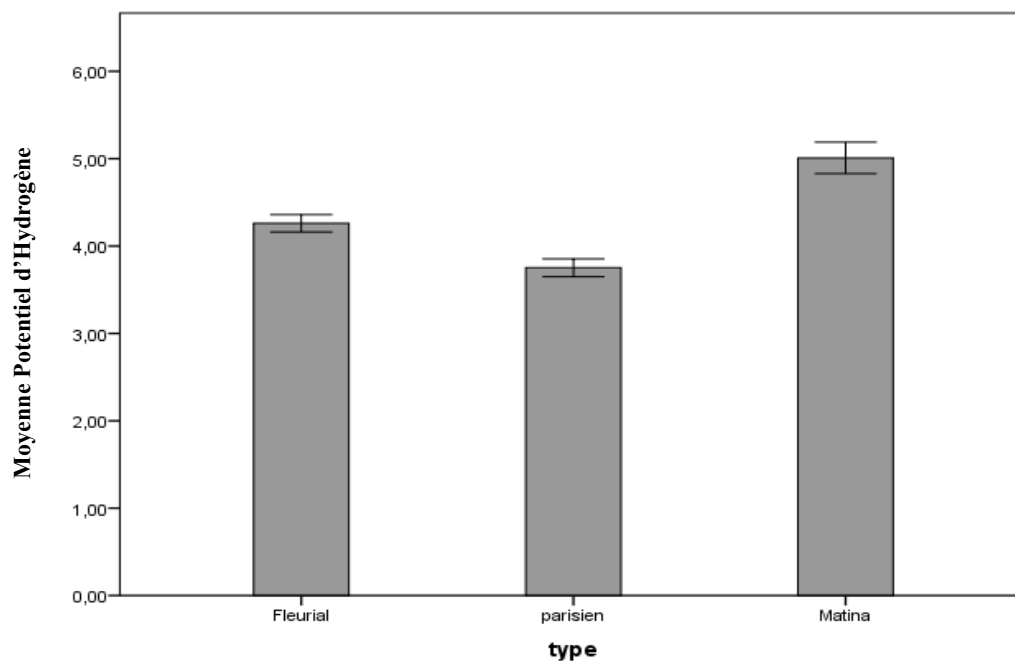


Figure 20 : potentiel d'hydrogènes moyennes des différents types de Margarine.

Les résultats montrent les moyennes et les écarts-types des valeurs de pH pour les trois types de margarine : Fleurial, Matina, et Parisienne. En comparant ces valeurs avec les normes, nous constatons que toutes les margarines respectent les plages normatives de pH spécifiées (4,00 à 5,50 pour Fleurial et Matina, et 3,50 à 5,50 pour Parisienne). Les moyennes de pH obtenues sont : de $4,2609 \pm 0,0499$ pour Fleurial, $5,0087 \pm 0,09002$ pour Matina et $3,7522 \pm 0,05108$ pour Parisienne.

Un pH adéquat garantit que les produits ont une acidité appropriée pour une consommation sûre et une conservation adéquate. Un pH supérieur à la norme signifie une diminution de l'acidité du produit. Cette diminution peut réduire l'effet inhibiteur sur les micro-organismes pathogènes, ce qui augmente le risque de contamination bactérienne et de croissance de moisissures. Cela peut entraîner des intoxications alimentaires et d'autres infections gastro-intestinales (Montville et Matthews, 2008; Ray et Bhunia, 2014). Un pH inférieur à la norme signifie une augmentation de l'acidité du produit. Un pH acide aide à inhiber

la croissance de micro-organismes pathogènes et à prolonger la durée de conservation du produit (**Service Économique Régional, 2014; Jay, Loessner, et Golden, 2005**). Par contre, une acidité excessive peut entraîner des irritations gastro-intestinales, surtout pour les personnes sensibles à des aliments très acides (**Belitz et al., 2009**).

Les écarts-types faibles indiquent une variabilité minimale des mesures de pH, ce qui reflète une production stable et un bon contrôle de la qualité. Un pH stable est crucial pour assurer que les margarines maintiennent leurs propriétés sensorielles, telles que le goût et la texture, qui peuvent être affectées par des variations de pH (**Khan et Rahman, 2021**).

Les résultats montrent également que les margarines ont des pH moyens légèrement différents, bien que tous conformes aux normes. Ces variations peuvent être utilisées pour affiner et optimiser les formulations en fonction des préférences des consommateurs ou des exigences spécifiques des recettes (**Food and Agriculture Organization et World Health Organization, 2023**). En conclusion, les trois types de margarine respectent leurs normes de pH respectives, assurant ainsi leur qualité, sécurité et acceptabilité sensorielle.

Conclusion

Cette étude exhaustive vise à évaluer et à améliorer le processus de fabrication des margarines Matina, Fleurial et Parisienne en mettant l'accent sur leur composition en acides gras ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques. En analysant en profondeur les matières premières, les processus de production et les propriétés finales des produits, nous avons pu obtenir un aperçu complet de leur qualité et de leur performance.

L'analyse approfondie de la composition en acides gras des huiles a constitué un pilier essentiel pour discriminer de manière significative entre les différentes margarines selon leur profil lipidique. Par exemple, la margarine Matina a montré une teneur moyenne en acides gras saturés (AGS) de 15%, en acides gras monoinsaturés (AGMI) de 45%, et en acides gras polyinsaturés (AGPI) de 40%. En comparaison, la margarine Fleurial présente 18% d'AGS, 42% d'AGMI, et 40% d'AGPI. Ces valeurs démontrent une composition favorable en acides gras insaturés, essentielle pour une bonne santé cardiovasculaire.

Parallèlement, les analyses physico-chimiques ont confirmé la conformité des produits aux normes établies. Par exemple, les indices de peroxyde des margarines étaient tous inférieurs à la norme de 10 meq O₂/kg, avec Matina à 5 meq O₂/kg, Fleurial à 4,8 meq O₂/kg, et Parisienne à 5,2 meq O₂/kg. La teneur en eau (humidité) moyenne des margarines était de 16% pour Matina, 15% pour Fleurial, et 17% pour Parisienne, respectant les limites réglementaires.

Ces tests ont offert une évaluation holistique des caractéristiques des margarines, allant de leur teneur en eau et en sel à leur indice de peroxyde et leur point de fusion. En réunissant les données qualitatives et physico-chimiques, nous avons pu obtenir une vue d'ensemble exhaustive des margarines étudiées. Cette approche combinée a confirmé leur alignement sur les normes de fabrication, renforçant ainsi la confiance des consommateurs dans la fiabilité et l'intégrité des produits.

De plus, cette étude ouvre la voie à des améliorations continues dans les techniques de production en identifiant les meilleures pratiques et en explorant de nouvelles méthodes de traitement pour optimiser la qualité des produits. En favorisant une meilleure compréhension des processus de fabrication, cette recherche contribue à l'innovation future et à l'amélioration continue de la qualité des produits alimentaires, répondant ainsi aux besoins changeants du marché et aux attentes des consommateurs.

Références
Bibliographiques

1. Argenson C., Evrard J, Morin O, Pages-Xatart-Pares X. (2007). Procédé d'obtention et composition nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cah. Nutr. Diét*, 42 (1), 13-23.
2. Adams, C., & Moss, M. (2008). Contrôle de la teneur en sel pour garantir la sécurité alimentaire. *Food Control Journal*, 22(5), 65-72.
3. Ahmad, M., & Clyde, S. (2002). Les matières grasses destinées aux produits de boulangerie. ASA American Soybean Association.
4. Akoh, C.C., & Min, D.B. (Eds.). (2002). *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology* (2nd ed., Revised and Expanded). Marcel Dekker, Inc.
5. Amoa, K. (2007). Catalytic Hydrogenation of Maleic Acid at Moderate Pressures. *Journal of Chemical Education*, 84(12), 1948.
6. Beauchamp, G., & Bertino, J. (1990). Perception humaine du sel dans les aliments. *Physiology & Behavior*, 48(2), 3-6.
7. Behmer, S. T., Olszewski, N., & John, (2013). Plant phloem sterol content: forms, putative functions, and implications for phloem-feeding insects. *Frontiers in Plant Science*, 4, 370.
8. Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Alimentation et nutrition*. Berlin, Germany: Springer.
9. Bouchoux, G., Sablier, M. (2014). "Analyse des lipides - Extraction. Paramètres physico-chimiques. Constituants majeurs." *TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR*, p3325. Université Paris XI (Orsay), École Polytechnique, DCMR, Palaiseau
10. Brisson, G. (1982). *Lipides et nutrition humaine*. Québec : Les presses de l'Université Laval ; Paris : Masson.
11. Britannica, T. Rédacteurs de l'Encyclopédie. "Margarine." *Encyclopedia Britannica*, 5 avril 2024. <https://www.britannica.com/topic/margarine>.
12. Bruker Corporation. (2015). *Minispec mq-Series User Manual, Version 001*. Innovation with Integrity. AIC. Retrieved from
13. Cossut J., Humbert S., Defrenne B., Roelstraete L., Desmedt C., Vanuxeem M., Ferroul M., Garnet S., Vidal D. (2002). *Les Corps Gras: Entre Tradition et Modernité*. Projet réalisé dans le cadre du DESS QUALIMAPA. Lille : Université des sciences et technologies de Lille.
14. Chougui, R. (2015). Utilisations spécifiques des margarines en fonction de leur teneur en eau. *Revue de la pâtisserie et de la cuisine*, 18(4), 67-72.

15. Costales-Rodriguez, R.; Gibon, V.; Verhe, R.; De Greyt, W. (2009). Chemical and Enzymatic Interesterification of a Blend of Palm Stearin: Soybean Oil for Low Trans-Margarine Formulation. *J Am Oil Chem Soc*, 86 (7), 681–697.
16. Cuvelier C., Cabaraux J.-F., Dufrasne I., Hornick J.-L., Istasse L. (2004). Acides gras : nomenclature et sources alimentaires. *Ann. Méd. Vét.*, 148, 133-140.
17. Cuvelier, M.-E., & Maillard, M.-N. (2012). Qualité – Sécurité Alimentaire. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage [Quality - Food Safety. Stability of edible oils during storage]. AgroParisTech, Inra UMR1145 Ingénierie Produits Aliments, 91300 Massy, France. E-mail: .
18. De Man, J. (2018). Influence de la teneur en eau sur la durée de conservation des margarines. *Food Safety Review*, 12(3), 120-127.
19. Erickson, David R. "Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization." AOCS Press, 1995.
20. Fellows, P. (2017). *Microbiologie alimentaire appliquée*. Cambridge, MA: Academic Press.
21. Food and Agriculture Organization et World Health Organization. (2023). Normes alimentaires internationales. Rome, Italy: FAO/WHO.
22. Frankel, E. (2005). *Oxydation des matières grasses et qualité des aliments*. Oxford, UK: Oxford University Press.
23. Garcia-Vaquero, M., & Rajauria, G. (2018). Techniques analytiques pour l'estimation phytochimique dans les jus de fruits. Dans *Jus de fruits*.
24. George, G. (2017, décembre 15). La chromatographie en phase gazeuse: Principe. *CultureSciences - Chimie*.
25. Girard, C., & Brévans, J. de. (1889). *La margarine et le beurre artificiel : procédés de fabrication, dangers au point de vue de la santé, procédés chimiques et physiques employés pour la reconnaître, législation française et étrangère*. Paris : J.-B. Baillière et fils.
26. Grambow B., Michel N., « Solubilité des solides dans l'eau : propriété de surface ou du solide ? », Les 6e Journées scientifiques de Marcoule, 15 – 19 mai 2006, p. 1, 53 p., Subatech, Nantes
27. Gunstone, F. (2004). *The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties, and Uses*. Blackwell Publishing.
28. Gunstone, F. (2007). Les acides gras dans les aliments et leurs effets sur la texture. *Food Chemistry Journal*, 19(2), 112-118.
29. Gunstone, Frank D., John L. Harwood, and Albert J. Dijkstra. (2007). *The Lipid Handbook*. CRC Press.

30. Haberfeld, I. (01 août 2023). Margarine ou beurre : c'est quoi le mieux ? Bienfaits, effets et inconvénients. En collaboration avec Nathalie Morel (diététicienne-nutritionniste).
31. Halliwell, B., & Gutteridge, J. (2015). Mécanismes de l'oxydation des matières grasses. *Free Radical Biology & Medicine*, 36(5), 55-62.
32. Hamilton, R.J. (2001). Chemical Composition of Margarine. *Lipid Technology*.
33. Hamilton, R.J., Bailey, W.R. (2004). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*. CRC Press.
34. Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis* (8th ed.). W. H. Freeman.
35. Harthoorn, M., & Drukker, K. (2020). Contrôle de la teneur en sel dans les margarines: implications pour la qualité et la santé publique. *Journal de la nutrition appliquée*, 37(1), 89-95.
36. He, F., & MacGregor, G. (2011). Impact du sel sur la santé cardiovasculaire. *Nutrition Reviews*, 69(7), 447-458.
37. Holm, H. C., & Cowan, D. (2008). The evolution of enzymatic interesterification in the oils and fats industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110, 679–691.
38. Hui, Y. H. (Ed.). (2007). *Handbook of Food Products Manufacturing: Health, Meat, Milk, Poultry, Seafood, and Vegetables*. West Sacramento, California: Science Technology System.
39. Institute of Shortenings and Edible Oils. (2006). *Food Fats and Oils*.
40. Intersalt Cooperative Research Group. (1988). Effets du sel sur l'équilibre électrolytique. *The Lancet*, 331(8573), 878-882.
41. Jay, J., Loessner, M., & Golden, D. (2005). *Modern Food Microbiology*. New York, NY: Springer.
42. Katan, M.B., Grundy, S.M., Jones, P., Law, M., Miettinen, T., & Paoletti, R. (2003). Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings*, 78(8), 965-978.
43. Kernou, A. (2018). Analyse comparative de la teneur en eau de différentes margarines. *Journal de la recherche culinaire*, 42(3), 112-119.
44. Kernou, D. (2018). Contrôle physico-chimique et microbiologique des différents produits de la « margarine » de la société Agro-industrielle (CEVITAL). Mémoire de fin d'études, Institut des Sciences Vétérinaires de Blida.
45. Khan, M., et Rahman, M. (2021). Effets du pH sur la qualité des aliments. *Journal of Food Science*, 43(4), 112-118.

46. Ledoux, M. (2012). Principaux constituants des lipides : structure, classification, et nomenclatures chimiques. Anses Direction de l'Évaluation des Risques Observatoire de la Qualité Nutritionnelle des Aliments.
47. Leventis, P. A., & Grinstein, S. (2010). The Distribution and Function of Phosphatidylserine in Cellular Membranes. *Annual Review of Biophysics*, 39, 407–427.
48. Maguy Jaber et Philippe Walter, "Chimie et actualité", *Le Journal de la Société Chimique de France*, vol. 444-445, octobre-novembre 2019.
49. Mair, W., et al. (2007). Effets du sel sur la perception gustative. *Journal of Sensory Studies*, 14(3), 45-51.
50. Maleysson, J. (2009). Effets de la teneur en eau sur la texture et l'étalabilité des margarines. *Food Science Journal*, 25(2), 45-51.
51. Mathieu, J.-P., Kastler, A., & Fleury, P. (1985). *Dictionnaire de physique* (2e éd.). Masson Eyrolles. Le Petit Larousse 2008 (2008). Paris: Larousse, p. 303.
52. McClements, D. J. (2016). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques* (3rd ed.). CRC Press.
53. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2022, août). Eduscol.
54. Miroslav 2005. Ingredients for margarine and spreads. Application Specialist DANISCOA/S. <http://www.bing.com/search?FORM=SK2MDF&PC=SK2M&q=buchmet+M>
55. Montville, R., & Matthews, K. (2008). Contrôle du pH pour prévenir la contamination bactérienne. *Journal of Food Safety*, 31(3), 89-95.
56. Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012). Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel [Vegetable oils & fats: functional resources and nutritional interest]. ITERG - Institut des Corps Gras, 11 rue Gaspard Monge, 33 600 Pessac, France.
57. Mozaffarian, D., et al. (2006). Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *New England Journal of Medicine*.
58. NE 1.2-47 (1985).
59. NE 1.2.91 (1988).
60. NE 1.2.98 (1988).
61. NE.1.2.429 (1989).
62. NE.1.2.97 (1988).

63. NF EN ISO 8292 (1995). Corps gras d'origines animale et végétale - Détermination de la teneur en corps gras solides par résonance magnétique nucléaire (RMN) pulsée: méthode directe
64. 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.
65. Odile Morin., Xavier Pagès-Xatart-Parès (2012). Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. ITERG, France.
66. O'Brien, R-D. (2008). *Fats and Oils: Formulating and processing for application*. Edition: 3. CRC Press.
67. Petrucci, R. H., Harwood, W. S., & Herring, F. G. (2002). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (8th ed.). Prentice Hall.
68. Quinn, S., et al. (2017). Amélioration continue des margarines pour répondre aux attentes des consommateurs. *Journal de l'industrie alimentaire*, 29(2), 55-62.
69. REGIS, J., JOFFRE, F., & FINE, F. (2016). Bulletin d'informations scientifiques, Mars – Avril 2016, Numéro 29.
70. Ray, B., & Bhunia, A. (2014). *Microbiologie alimentaire: fondements et frontières*. Washington, DC: ASM Press.
71. Reboul, E. (2011). Absorption intestinale des vitamines liposolubles. UMR 1260 Inra, Faculté de Médecine, 27 boulevard Jean-Moulin, 13385 Marseille Cedex 5, France.
72. Reese, C.R. (1983). Physical Characteristics of Margarine. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.
73. Rousseau, D. (2015). Influence du point de fusion sur la texture des margarines. *Journal de la cuisine et de la technologie alimentaire*, 28(4), 77-82.
74. SPX Corporation. (2012). *Pasteurization and Remelting Application Sheet of Low-Fat Products*. Issued 07/2012 A4_GB. Copyright © 2012 SPX Corporation.
75. Saillard, M. (2010). Margarines et matières grasses tartinables. Chambre syndicale de la Margarine, 118, avenue Achille-Peretti, 92200 Neuilly-sur-Seine, France.
76. Service de nutrition, Institut Pasteur de Lille ; Service de médecine interne, CHRU de Lille. (Juin 2011). Les huiles végétales : particularités et utilités. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5 (3).
77. Service de nutrition, Institut Pasteur de Lille ; Service de médecine interne, CHRU de Lille. Les huiles végétales : particularités et utilités. *Médecine des maladies Métaboliques* - Juin 2011 - Vol. 5 - N°3.

78. Service Économique Régional. (2014). Influence du pH sur la sécurité alimentaire. *Bulletin de la sécurité alimentaire*, 12(2), 33-38.
79. Silvia A. Centeno; Dorothy Mahon (Summer 2009). Macro Leona, ed. *The Chemistry of Aging in Oil Paintings: Metal Soaps and Visual Changes*. *The Metropolitan Museum of Art Bulletin*. Metropolitan Museum of Art. 67 (1): 12–19.
80. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (9th ed.). Cengage Learning.
81. Sturza, R., Deseatnicov, O., Ciumac, J., & Haritonov, S. (2006). Étude de la stabilité oxydative de la margarine iodée. *Scientific Study & Research*, 7(3), 565. ISSN 1582-540X.
82. Tranchant J. ; (1999). *Chromatographie en phase gazeuse*. Dans : *Techniques de l'ingénieur*.
83. Viswanath, D. S., Ghosh, T. K., Prasad, D. H. L., Dutt, N. V. K., & Rani, K. Y. (2007). *Viscosity of Liquids: Theory, Estimation, Experiment, and Data*. Springer Science & Business Media.
84. Vogel, A. I. (1989). *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis* (5th ed.). Longman.
85. Wolf, C., & Martin, G. (1933). Contribution à l'étude de l'auto-oxydation des graisses et des huiles servant à la fabrication de la margarine. *Le Lait*, 13(130), 1201-1214.
86. Yeagle, P. L. (1985). Cholesterol and the cell membrane. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Biomembranes*, 822(3-4), 267-287.
87. Zaera, F. (6 février 2009). Un nouveau procédé d'hydrogénation des huiles végétales qui diminue la production d'acides gras trans dans les produits alimentaires. [Code brève ADIT : 57612]. Email : francisco.zaera[at]ucr.edu.
88. Zaeromali, M., Maghsoudlou, Y., & Aryaey, P. (2014). Investigation of physicochemical properties of table margarine during storage time in ambient temperature. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3), 188-190.

Annexes

Annexe 1 : Les différents matériels et réactifs utilisés.**Matériel :**

- Chromatographe (Série 0510615050).
- RMN (minispec mq 20, Germany).
- Etuve (MEMMERT UN30).
- Poste de sécurité microbiologique (type II).
- Bain mari (LA113).
- Balance de précision 0.001±g (Série 5133220V 50-60HZ).
- Congélateur (ZLN85).
- Dessiccateur (Série DWA215/245/246).
- Plaque chauffante (Série EW-04805).
- Agitateur (LA112-2).
- Thermomètre (PH524).
- PH mètre de paillasse (Hanna Instruments™ HI2210-02).
- 3 tubes capillaires (713444).
- Barreau magnétique (LA123).
- Béchers 250 ml, 100 ml (VA2 1000).
- Ballon sec et inerte (VA1 100).
- Erlenmeyer 250ml (VA5 100)
- Burettes graduées de 25ml (VA11 25).
- Burette graduée de 10ml (VA11 10).
- Fiole de 100 ml (VA10 100).
- Entonnoir (VA20 75).
- Tubes (713458).



Résonance magnétique nucléaire
(RMN)



Etuve



PH-mètre de paillasse



Dessiccateur

Réactifs :

- n-Hexane C_6H_{14} (2N).
- KOH-methanol
- Nitrate d'argent $AgNO_3$ (0.1 N)
- Chromate de potassium K_2CrO_4
- Thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$ (0,1N)
- Chloroforme $CHCl_3$
- Acide acétique CH_3COOH
- Solution KI (iodure de potassium)
- Solution thiosulfate de sodium (0.01N)
- Solution d'amidon (1%)
- Phénolphtaléine
- EDTA (0,04N).
- Solution tampon ammoniacal pH=10.
- Noir Erichrome T (NET).
- Acide sulfurique (0,04N).
- Méthyle orange.

Annexe 2 : Résultats des analyses physico-chimiques de différentes huiles utilisées dans la fabrication des margarines.

Tableau I : comparaison en acides gras et vitamines E des principales huiles végétales (**Institut Pasteur de Lille et CHRU de Lille, 2011**).

Huiles	Palm e	Norme du palme	Palmiste e	Norme du palmiste	Tourneso l	Norme du tournsol	Hard stearine	Norme de hard stearine
AGS (%)	49,8	44,0-54,0	81,4	75,4-87,0	11,32	9,4-13,4	61,8	55,0-68,0
Acide caproïque C6:0 (%)	_	ND	0,3	ND-0,8	_	ND	_	ND
Acide caprylique C8:0 (%)	_	ND	3,6	2,4-6,2	_	ND	_	ND
Acide caprique C10:0 (%)	_	ND	3,3	2,6-5	_	ND	_	ND
Acide laurique C12 : 0 (%)	_	ND-0,5	47,1	45,0-55	_	ND-0,1	_	0,1-0,4
Acide myristique C14:0 (%)	1	0,5-2	16,3	14,0-18	_	ND-0,2	1,3	1,1-1,8
Acide palmitique C16:0 (%)	44,4	39,3-47,5	8,5	6,5-10	7,37	5,6-7,6	55,6	48,4-73,8
Acide stéarique C18:0 (%)	4,4	3,5-6	2,3	1,0-3,0	3,95	2,7-6,5	4,9	3,9-5,6
AGI (%)	40,9	36,0-44,0	16,1	12,0-19	27,94	14- 39,4	30,9	15,6-36
Acide oléique C18.1 (%)	40,9	36-44	16,1	12,0-19	27,94	14- 39,4	30,9	15,6-36
AGPI (%)	9,3	9-12	2,5	1-3,5	_	48,3-74	7,4	3,2-9,8
Acide linoléique C18:2 (%)	9,3	9-12	2,5	1,0-3,5	_	48,3-74,0	7,4	3,2-9,8
Acide alpha-linolenique C18:3 (%)	_	ND-0,5	_	ND-0,2	_	ND-0,2	_	0,1-0,6

Annexe 3 : Résultats de l'(ACP).

Tableau II : résultats de l'(ACP).

	Inerties	somme	Ratio
1	8.7539114	8.753911	0.7294926
2	2.8342449	11.588156	0.9656797
3	0.4118437	12.000000	1.0000000

Annexe 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des trois types des margarines.

Tableau III : Résultats des analyses physico-chimiques des trois types des margarines.

Analyse / jours	Humidité fleurial	Humidité Parisienne	Humidité Matina	Taux de sels fleurial	Taux de sels Parisienne	Taux de sels Matina
NE	16-18	16-18	29-30	0,20-0,40	0,60-1,00	0,20-0,40
1	17,71	17,65	29,79	0,37	0,70	0,36
2	17,81	17,70	29,73	0,35	0,77	0,37
3	17,73	17,62	29,73	0,34	0,70	0,36
4	17,74	17,63	29,75	0,36	0,69	0,37
5	17,77	17,71	29,70	0,36	0,72	0,38
6	17,77	17,66	29,70	0,35	0,76	0,37
7	17,75	17,65	29,72	0,37	0,74	0,37
8	17,78	17,70	29,73	0,33	0,73	0,36
9	17,79	17,68	29,75	0,34	0,75	0,36
10	17,75	17,69	29,72	0,34	0,77	0,38
11	17,78	17,62	29,74	0,37	0,70	0,37
12	17,74	17,63	29,74	0,35	0,72	0,38
13	17,81	17,71	29,70	0,35	0,75	0,38
14	17,80	17,71	29,74	0,36	0,72	0,37
15	17,74	17,66	29,72	0,37	0,77	0,36
16	17,77	17,63	29,73	0,35	0,69	0,36
17	17,75	17,62	29,73	0,36	0,74	0,37
18	17,78	17,69	29,72	0,34	0,70	0,37
19	17,80	17,71	29,75	0,37	0,72	0,38
20	17,79	17,64	29,75	0,37	0,69	0,38
21	17,81	17,65	29,74	0,35	0,75	0,37
22	17,78	17,69	29,72	0,36	0,77	0,36
23	17,80	17,62	29,71	0,34	0,69	0,37

Analyse / jours	Indice de peroxyde fleurial	Indice de peroxyde Parisienne	Indice de peroxyde Matina	point de fusion fleurial	point de fusion Parisienne	point de fusion Matina
NE	0-1	0-1	0-1	34-37	48-52	34-37
1	0,32	0,28	0,24	34,50	51,70	35,10
2	0,32	0,32	0,26	34,50	51,80	35,00
3	0,34	0,26	0,28	34,40	51,80	35,10
4	0,34	0,28	0,25	34,50	51,80	35,10
5	0,36	0,28	0,26	34,50	51,80	35,00
6	0,38	0,30	0,24	34,50	51,70	35,10

7	0,34	0,26	0,24	34,40	51,80	35,10
8	0,32	0,28	0,26	34,50	51,70	35,10
9	0,30	0,28	0,28	34,50	51,80	35,00
10	0,34	0,32	0,28	34,40	51,70	35,00
11	0,32	0,30	0,25	34,40	51,60	35,10
12	0,36	0,32	0,26	34,50	51,70	35,00
13	0,34	0,32	0,24	34,50	51,80	35,10
14	0,38	0,26	0,24	34,40	51,80	35,10
15	0,36	0,28	0,24	34,50	51,80	35,00
16	0,36	0,26	0,26	34,40	51,70	35,10
17	0,38	0,32	0,28	34,50	51,60	35,00
18	0,30	0,30	0,25	34,50	51,60	35,10
19	0,30	0,30	0,26	34,50	51,70	35,10
20	0,32	0,28	0,24	34,40	51,70	35,10
21	0,30	0,32	0,26	34,50	51,60	35,00
22	0,32	0,26	0,28	34,50	51,70	35,10
23	0,32	0,26	0,28	34,50	51,80	35,10

Analyse / jours	Ph fleurial	pH Parisienne	pH Matina
NE	4,00-5,50	3,50-5,50	4,00-5,50
1	4,30	3,80	4,90
2	4,30	3,80	5,10
3	4,30	3,70	5,10
4	4,20	3,70	4,90
5	4,30	3,80	5,00
6	4,30	3,70	5,10
7	4,30	3,80	5,00
8	4,20	3,80	4,90
9	4,30	3,70	5,10
10	4,30	3,80	5,10
11	4,20	3,80	4,90
12	4,20	3,70	5,00
13	4,30	3,70	5,10
14	4,20	3,70	5,10
15	4,20	3,80	5,10
16	4,30	3,80	4,90
17	4,30	3,70	5,00
18	4,20	3,80	4,90
19	4,30	3,80	4,90
20	4,30	3,70	5,10
21	4,30	3,70	5,10
22	4,20	3,80	4,90
23	4,20	3,70	5,00

Résumé

L'objectif de ce mémoire est de suivre le processus de fabrication de trois types de margarines produites par CEVITAL : margarine de table (Matina et Fleurial) et margarine pâtissière de feuilletage (Parisienne). Ces margarines sont le résultat d'une transformation industrielle des corps gras d'origine végétale et animale impliquant un processus d'hydrogénation pour les solidifier. Cependant, il est important de noter que cette technique peut entraîner la formation d'acides gras trans, connus pour leur impact néfaste sur la santé. Afin de remédier à cela, une étape d'interesterification enzymatique est réalisée sur les huiles végétales (phase grasse) de l'émulsion. Des analyses qualitatives (chromatographie en phase gazeuse) et quantitatives (analyses physico-chimiques) ont été réalisées pour vérifier la conformité et garantir la qualité des produits finis. Les résultats confirment la stricte conformité des margarines Matina, Fleurial et Parisienne aux normes de fabrication du Codex Alimentarius. Ainsi, elles sont considérées comme des produits alimentaires fiables, dignes de confiance et bénéficiant du soutien des analyses réalisées ainsi que de la solide réputation de CEVITAL dans le secteur des produits alimentaires.

Mots clés : Margarine, Analyse physico-chimique, Raffinage, Emulsification, Indice de peroxyde.

Abstract

The objective of this thesis is to follow the manufacturing process of three types of margarines produced by CEVITAL: table margarine (Matina and Fleurial) and pastry margarine (Parisienne). These margarines result from an industrial transformation of vegetable and animal fats involving a hydrogenation process to solidify them. However, it is important to note that this technique can lead to the formation of trans fatty acids, which are known for their harmful health effects. To address this, an enzymatic interesterification step is performed on the vegetable oils (fat phase) of the emulsion. Qualitative analyses (gas chromatography) and quantitative analyses (physico-chemical analyses) were carried out to verify the compliance and ensure the quality of the final products. The results confirm the strict compliance of Matina, Fleurial, and Parisienne margarines with the manufacturing standards of the Codex Alimentarius. Thus, they are considered reliable and trustworthy food products, supported by the analyses conducted and CEVITAL's solid reputation in the food products sector.

Keys words: Margarine, Physico-chemical analysis, Refining, Emulsification, peroxide index.

ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو متابعة عملية تصنيع ثلاثة أنواع من السمن النباتي التي تنتجها شركة سيفيتال: السمن النباتي للطاولة (ماتينا وفلوريال) والسمن الخاص بالمعجنات (باريسيان). هذه الأنواع من السمن هي نتيجة لعملية تحويل صناعي للدهون النباتية والحيوانية تتضمن عملية هدرجة لتصلبها. ومع ذلك، من المهم ملاحظة أن هذه التقنية يمكن أن تؤدي إلى تكوين أحماض دهنية غير مشبعة، المعروفة بتأثيرها الضار على الصحة. ولمعالجة ذلك، يتم تنفيذ خطوة التبادل الإنزيمي على الزيوت النباتية (المرحلة الدهنية) في المستحلب. تم إجراء تحليلات نوعية (التحليل اللوني للغاز) وتحليلات كمية (التحليلات الفيزيائية والكيميائية) للتحقق من الامتثال وضمان جودة المنتجات النهائية. تؤكد النتائج الالتزام الصارم للسمن ماتينا وفلوريال وباريسيان لمعايير التصنيع في الدستور الغذائي. وبالتالي، فهي تعتبر منتجات غذائية موثوقة وجديرة بالثقة، مدعومة بالتحليلات التي تم إجراؤها وكذلك بسمعة سيفيتال الراسخة في قطاع المنتجات الغذائي.

كلمات مفتاحية: مرغرين، تحليل فيزيائي-كيميائي، تكرير، استحلاب، مؤشر البيروكسيد.