

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Ghardaïa**



**Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre**

**Département de Biologie**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Filière : Sciences biologiques**

**Spécialité : Biochimie appliquée**

**Par : ABAZA Ghania**

**BABEKER Imane**

**Thème**

---

**Etude des caractéristiques physico-chimiques du savon  
préparé à base des huiles végétales usées.**

---

Soutenu publiquement, le 13/06/2023 , devant le jury composé de :

<b>M. BENBEKHTI Zineddine</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaia	Président
<b>M. KADRI Mohamed</b>	Maître de conférences B	Univ. Ghardaia	Examineur
<b>M. BELHACHEMI Mohammed Habib</b>	Maître de conférences B	Univ. Ghardaia	Encadrant

**Année universitaire : 2022/2023**



# *Dédicaces*

*C'est avec un très grand honneur que je souhaite dédier ce modeste travail qui marque un moment important de ma vie.*

*Je tiens à le dédier à toutes les personnes qui ont tout donné sans rien attendre en retour*

*Celles qui m'ont encouragé et soutenu durant les moments les plus difficiles, ainsi qu'à celles à qui je dois beaucoup.*

*Je dédie ce travail à mes chers parents **Omar** et **Yasmine**  
A mes chères sœurs **Ibtissem** et **Lina**, mon cher frère **Abdelghani***

*A ma grand-mère **Khadîdja** et ma tante **Soumia**  
A toute ma famille **BABEKER***

*A mon fiancé **Hassan** et les membres de sa famille*

*A mes chères amies : **Ghania**, **Siham** Et **Souhila***

*Je dédie ce travail à **moi-même**, pour tous les efforts que j'ai déployés.*

*Je suis reconnaissant à toutes les personnes qui m'ont soutenu, inspiré ou aidé durant mes études supérieures.*

*Imane*



# ***Dédicaces***

*À mes chers parents, Aziza et Abderrahmane, À mes grands-parents, je dédie ce travail pour leur amour et leur soutien tout au long de mes études et qui m'ont permis de devenir la personne que je suis.*

*À mes chers sœurs et frères :*

***Aicha, Habiba, Ahlame, Omar, Amel, Hocine***

*À mon mari Mohammed, À ma mère Khadidja, Somia, Maissaa, À toute ma famille. Pour leurs encouragements et leurs soutiens tout au long de ma formation.*

*À mes professeurs :*

*Pour leur orientation et leurs conseils durant ma formation. Aussi les enseignants qui m'ont encadré durant toute la période passée de mon cursus universitaire.*

*À ma promotion (2022/2023).*

*À mes très chers amis :*

*A ceux qui ont partagé ma joie et ma souffrance et aussi pour leur fidélité et leur amitié « Wafaa, Meriem, Rania »*

*A mon binôme « Imane »*

***Ghania***





# Remerciements

*En commençant, nous voulons exprimer notre gratitude envers Dieu, le tout-puissant, pour nous avoir donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail. Nous souhaitons également remercier nos chers parents qui ont toujours fait de leur mieux pour nous élever et nous soutenir dans notre parcours, en nous inculquant les valeurs de persévérance et de courage.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre Encadrant, **Monsieur BELHACHEMI Mohammed Habib**, Maître de conférences B au Département de Biologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ghardaïa, pour son soutien et sa disponibilité, ainsi que pour ses conseils, orientations, remarques constructives et encouragements qui ont été très précieux pour nous, même dans les moments difficiles.*

*Nous exprimons également notre profonde gratitude aux membres du jury, notamment au président, **Monsieur BENBEKHTI Zineddine**, Maître-assistant A au Département de Biologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ghardaïa, pour avoir accepté de présider le jury, ainsi qu'à l'examineur, **Monsieur KADRI Mohamed**, Maître-assistant B au Département de Biologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ghardaïa, pour avoir examiné notre travail.*

*Nous tenons à remercier sincèrement toute l'équipe du laboratoire où nous avons effectué notre travail pratique, en particulier **Monsieur BENSALAH Bachir** et **Monsieur BENHAMMOUDA Hichem**, pour leurs orientations et leurs conseils.*

*Nous n'oublions pas non plus de remercier nos professeurs de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie pour leur soutien et leur enseignement au cours de nos cinq années d'études.*

*Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

**Un grand merci à tous !**

## Résumé

Les huiles végétales sont essentielles pour notre alimentation et sont utilisées dans différentes industries. Cependant, lors de la friture à haute température, des composés toxiques peuvent se former, entraînant des problèmes environnementaux. Il est donc important de maximiser le recyclage des huiles de friture usagées, qui peuvent être utilisées pour produire biodiesel, lubrifiants, savons, etc.

Cette étude a examiné les caractéristiques physico-chimiques des huiles végétales usées pour évaluer leur aptitude à la fabrication de savon. Afin de réduire leur impact environnemental négatif. Les huiles ont été traitées avec du NaCl et du peroxyde d'hydrogène avant d'être utilisées pour la production de savon selon deux méthodes : la méthode à froid et la méthode semi-chaude. Des tests physico-chimiques ont été effectués sur les huiles avant et après la friture, ainsi que sur les savons fabriqués pour évaluer leur qualité. Les résultats ont montré des modifications significatives des huiles après la friture, telles qu'une augmentation de l'indice de peroxyde, de l'indice d'acidité et de l'humidité, ainsi qu'une légère augmentation de l'indice de saponification, de la densité et de la viscosité. Les savons produits ont également été testés pour leur qualité, y compris le pH, le taux d'humidité, la teneur en alcali libre et le pouvoir moussant. Après la phase initiale de séchage, le savon a acquis une consistance semi-solide et a été laissé à sécher pendant 4 semaines. Les niveaux d'alcali libre étaient similaires pour le savon à froid et le savon semi-chaud, avec une teneur de 0,20% pour chacun, tandis que le savon de Marseille présentait une teneur plus faible de 0,10%. La teneur en humidité du savon à froid était très faible, à 0,50%, tandis que celle du savon semi-chaud et du savon de Marseille était plus élevée. La valeur de pH et de pouvoir moussant de l'échantillon de savon testé était similaire à celle du savon de Marseille.

**Mots clés :** huiles de friture usagées, savon, analyses physico-chimiques, valorisation, impact socio-économique.

## ملخص

الزيوت النباتية ضرورية لنظامنا الغذائي وتستخدم في مختلف الصناعات. ومع ذلك، أثناء القلي بدرجة حرارة عالية، يمكن أن تتكون مركبات سامة، مما يؤدي إلى مشاكل بيئية. لذلك، من المهم تعظيم إعادة تدوير زيوت القلي المستخدمة، والتي يمكن استخدامها لإنتاج وقود الديزل الحيوي، ومواد التشحيم، والصابون،.. إلخ.

سعيًا في دراستنا إلى استعادة زيوت القلي المستعملة عن طريق تحويلها إلى صابون بهدف تقليل تأثيرها السلبي على البيئة. جمعنا عينات من الزيوت المستعملة والتي عالجناها بكلوريد الصوديوم وبيروكسيد الهيدروجين قبل استخدامها في إنتاج الصابون بطريقتين: الطريقة الباردة والطريقة شبه الساخنة. تم إجراء الاختبارات الفيزيائية والكيميائية على الزيوت قبل وبعد القلي، وكذلك على الصابون المنتج لتقييم جودتها. أظهرت النتائج تغيرات معنوية في الزيوت بعد القلي، مثل زيادة عدد البيروكسيد، وعدد الحموضة والرطوبة، وكذلك زيادة طفيفة في معامل التصبن والكثافة واللزوجة. تم أيضًا اختبار الصابون المنتج من حيث الجودة، بما في ذلك الرقم الهيدروجيني ومحتوى الرطوبة والمحتوى القلوي الحر وقوة الرغوة. بعد مرحلة التجفيف الأولية، اكتسب الصابون قوامًا شبه صلب وترك ليُجف لمدة 4 أسابيع. كانت المستويات القلوية الحرة مماثلة للصابون البارد والصابون شبه الساخن بنسبة 0.20% لكل منهما، بينما احتوى صابون مرسيليا على نسبة أقل من 0.10%. كان المحتوى الرطوبي للصابون البارد منخفضًا جدًا، عند 0.50%، بينما كان المحتوى الرطوبي للصابون شبه الساخن وصابون مرسيليا أعلى. كانت قيمة الأس الهيدروجيني وقوة الرغوة لعينة الصابون المختبرة مماثلة لتلك الموجودة في صابون مرسيليا.

**الكلمات المفتاحية:** زيوت القلي المستعملة، صابون، تحليلات فيزيائية كيميائية، استرجاع، تأثير اجتماعي-

اقتصادي

## **Abstract**

Vegetable oils are essential for our diet and are used in various industries. However, during high-temperature frying, toxic compounds can form, leading to environmental issues. Therefore, it is important to maximize the recycling of used frying oils, which can be used to produce biodiesel, lubricants, soaps..etc.

In our study, we aimed to valorize used frying oils by transforming them into soap, in order to reduce their negative environmental impact. We collected samples of waste oils, which we treated with NaCl and hydrogen peroxide before being used for soap production according to two methods: the cold method and the semi-hot method. Physicochemical tests were performed on the oils before and after frying, as well as on the manufactured soaps to evaluate their quality. The results showed significant changes in the oils after frying, such as an increase in peroxide value, acid value and moisture, as well as a slight increase in saponification value, density and viscosity. The soaps produced were also tested for quality, including pH, moisture content, free alkali content and foaming power. After the initial drying phase, the soap acquired a semi-solid consistency and was allowed to dry for 4 weeks. The free alkali levels were similar for the cold process and semi-warm soap, with a content of 0.20% for each, while the Marseille soap had a lower content of 0.10%. The moisture content of the cold process soap was very low, at 0.50%, while that of the semi-warm soap and Marseille soap was higher. The pH value and foaming power of the tested soap sample was similar to that of the Marseille soap.

**Key words:** used frying oils, soap, physic-chemical analysis, recovery, socioeconomic impact.

## *Liste des tableaux*

Tableau 1: Composition moyenne en acide gras (% mol) de quelques huiles végétales d'importance industrielle	7
Tableau 2: Les utilisations de quelques huiles d'origine végétale .....	16
Tableau 3: Rôle des matières premières entrant dans la fabrication du savon .....	28
Tableau 4: Ingrédients entrant dans la fabrication des différents types de savon.....	30
Tableau 5: Ingrédients et quantités utilisés dans la fabrication du savon .....	42

## *Liste des figures*

Figure 1: Structure générale des huiles végétales (triglycérides) .....	6
Figure 2: Structure chimique du triglycéride .....	8
Figure 3: Structure d'un phospholipide (choline) .....	8
Figure 4: Structure chimique du $\beta$ -carotène .....	9
Figure 5: Teneur en stérols (mg/100g) de certains huiles d'intérêt industriel.....	10
Figure 6: Structure d'hydrocarbure .....	11
Figure 7: Les différents étapes de raffinage des huiles végétales .....	15
Figure 8: Les réactions chimiques d'huiles du friture .....	18
Figure 9: Schéma du mécanisme réactionnel de l'auto-oxydation des lipides .....	19
Figure 10: Le processus de polymérisation pendant la friture .....	20
Figure 11: Mécanisme des huiles par l'effet de la vapeur des aliments pendant la friture .....	20
Figure 12: Structure chimique de savon .....	23
Figure 13: Réaction de saponification .....	24
Figure 14: Savon solide .....	25
Figure 15: Savon liquide.....	25
Figure 16: Savon d'Alep Savon d'Alep.....	26
Figure 17: Savon de Marseille .....	26
Figure 18: Savon Azul e Branco.....	27
Figure 19: Savon blanc .....	27
Figure 20: Des détergents dans l'eau .....	32
Figure 21: Protocole expérimental.....	35
Figure 22: Résultats du traitement chimique d'huiles alimentaires usagées par la méthode (NaCl et H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) .....	46
Figure 23: Indice de peroxyde d'huile usée compare à l'huile fraîche (huile avant friture) .....	47
Figure 24: Indice d'acidité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture).....	48
Figure 25: Indice de saponification d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture).....	49
Figure 26: Densité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture).....	50
Figure 27: Indice de réfraction d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture).....	51
Figure 28: Teneur en humidité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture).....	52
Figure 29: Viscosité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture) .....	53
Figure 30: Résultats des savons préparés (à froid / à semi-chaud) .....	54
Figure 31: Comparaison de la teneur en alcali total libre entre les savons et le savon de Marseille.....	55
Figure 32: Comparaison de la Teneur en humidité entre les savons et le savon de Marseille .....	56
Figure 33: Comparaison de pH entre les savons et le savon de Marseille.....	57
Figure 34: Comparaison de Pouvoir moussant entre les savons et le savon de Marseille.....	58

## *Liste des abréviations*

**%** : Pour cent.

**A** : Acidité

**C°** : Degrée Celsius

**cm** : Centimètre.

**D** : La densité.

**G** : gramme

**H** : Heure.

**H** : Humidité

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : peroxyde d'hydrogène

**HCl** : acide chlorhydrique

**IP** : Indice de peroxyde.

**IR** : indice de réfraction.

**Is** : Indice de saponification.

**Kg** : kilogrammes

**kg/m<sup>3</sup>** : kilogrammes par mètre cube

**L** : litre

**meq O<sub>2</sub>/Kg** : milliéquivalents d'oxygène par kilogramme.

**mg** : milligrammes

**min** : Minute.

**ml** : millilitre

**N** : Normalité.

**H<sub>2</sub>O** : eau

**Ki** : iodure potassium

**H** : **Hydrogène**

**CH<sub>3</sub>COOH** : acide acétique

**CH<sub>3</sub>COOK** : Acétate de potassium

**Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**: Thiosulfate de sodium

**Na<sub>2</sub>S<sub>4</sub>O<sub>6</sub>**: sodium Tetrathionate

**I** : iode

**NaI** : iodure de sodium

**Mg<sup>2+</sup>** : magnésium

**COOK** : Sel de carboxylate de potassium

**COOH** : acide carboxylique

**AFNOR** : l'Association Française de Normalisation

**Codex STAN 210-1999** : Codex

Alimentarius STAN

**ISO** : l'Organisation internationale de normalisation

# ***Table des matières***

Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Introduction .....	1
<b>Partie I : Synthèse bibliographique</b>	
Chapitre 1 : Les huiles végétales	
I. Généralités sur les huiles végétales.....	6
I.1. Définition .....	6
I.2. Compositions chimiques des huiles végétales .....	6
I.2.1. Fraction saponifiable.....	7
I.2.2. Fraction insaponifiable.....	9
I.3. Caractéristique Physico-Chimique des huiles Végétales .....	12
I.3.1. Caractères chimiques .....	12
I.3.2. Caractères physique .....	13
I.4. Production des huiles végétales .....	14
I.4.1. Filière traditionnelle.....	14
I.4.2. Filière industrielle : Traitement des huiles (raffinage) .....	14
I.5. Utilisation des huiles végétales .....	15
Chapitre 2: Les huiles végétales usées	
II. Généralité su les huiles végétales usées .....	17
II.1. Définition des huiles végétales du friture .....	17
II.2. Réactions d'Altération des huiles de friture .....	18
II.2.1. Réactions d'oxydation .....	19
II.2.2. Réactions de polymérisation.....	19
II.2.3. Réactions d'hydrolyse .....	20
II.3. Impact des huiles de friture usagée.....	21
II.3.1. Sur l'environnement .....	21
II.3.2. Au sein des restaurants .....	21
II.3.3. Sur l'économie.....	22
II.4. Recyclage d'huile de friture .....	22

## Chapitre 3 : Les savons

III. Généralités sur les savons .....	23
III.1. Historique .....	23
III.2. Définition .....	23
III.3. Réaction de saponification .....	24
III.4. Types de savons .....	24
III.4.1. Savon dur.....	24
III.4.2. Savon mou (liquide) .....	25
III.5. Autres classifications du savon .....	26
III.5.1. Suivant la provenance géographique.....	26
III.5.2. Savon suivant l'usage.....	28
III.6. Matières premières pour la fabrication de savon.....	28
III.7. Mécanisme de fabrication de savon .....	29
III.7.1. Procédé à froid (artisanale) .....	29
III.7.2. Procédé semi- chaud (artisanale).....	29
III.7.3. Procédé à chaud (industrielle) .....	30
III.8. Propriétés physico-chimiques du savon .....	31
III.8.1. PH du savon .....	31
III.8.2. Points de fusion .....	31
III.8.3. Pouvoir moussant .....	31
III.8.4. Teneur en eau (humidité) .....	32
III.8.5. Teneur en alcali libre total.....	32
III.8.6. Propriétés détergentes du savon .....	32

## Partie II : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude.....	34
2. Méthodologie de travail .....	35
3. Traitement et caractérisation physico-chimique des huiles.....	36
3.1. Echantillonnage (matière première) .....	36
3.2. Technique de traitement des huiles .....	36
3.3. Analyses physico-chimiques des huiles .....	36
3.3.1. Détermination de l'indice de peroxyde .....	36
3.3.2. Détermination de l'indice d'acidité .....	38
3.3.3. Indice de saponification .....	38
3.3.4. Détermination de la densité.....	39
3.3.5. Indice de Réfraction .....	40
3.3.6. Teneur en humidité.....	41

3.3.7. Viscosité .....	41
4. Fabrication et caractérisation physico-chimique du savon.....	42
4.1. Echantillonnage .....	42
4.2. Procédés de fabrication du savon .....	42
4.2.1. Méthode à froid .....	42
4.2.2. Méthode Semi-chaude.....	43
4.3. Analyses physico-chimiques du savon.....	43
4.3.1. Détermination de la teneur en alcali libre total des savons .....	43
4.3.2. Taux d'humidité .....	44
4.3.3. Détermination du pH de savon.....	44
4.3.4. Détermination du pouvoir moussant .....	44

### Partie III : Résultats et discussion

1. Traitement chimique d'huiles alimentaires usagées .....	46
2. Analyses physico-chimiques des huiles .....	47
2.1. Indice de peroxyde .....	47
2.2. Indice d'acidité.....	48
2.3. Indice de saponification .....	49
2.4. Densité.....	50
2.5. Indice de Réfraction .....	51
2.6. Teneur en humidité.....	52
2.7. Viscosité.....	53
3. Procédés de fabrication du savon .....	54
4. Analyses physico-chimiques du savon.....	55
4.1. Teneur en alcali libre total.....	55
4.2. Teneur en humidité.....	56
4.3. PH.....	57
4.4. Pouvoir moussant .....	58
Conclusion et perspectives .....	60
Références bibliographiques .....	62
Annexes.....	73

# *Introduction*

## **Introduction**

Les huiles et graisses végétales occupent une place essentielle dans notre alimentation en raison de leur contribution énergétique, de leur contenu en acides gras essentiels et en vitamines. Leurs propriétés biologiques leur confèrent également des applications thérapeutiques, aidant à prévenir les maladies, favorisant la croissance et le développement, et offrant une protection contre les maladies cardiovasculaires et l'inflammation. De plus, elles présentent un potentiel anticancéreux. Parallèlement, ces huiles végétales sont largement utilisées dans diverses industries telles que la pharmacie, la cosmétique, les détergents, et bien d'autres. Ainsi, elles jouent un rôle double, tant sur le plan nutritionnel que dans les applications culinaires, notamment pour la cuisson, y compris la friture (Soumanou, M. *et al.* 2005 ; Kumar, A. *et al.* 2016 ; Benamara, K. *et al.* 2020).

Lorsque les aliments sont frits à des températures élevées de 180°C ou plus, diverses réactions telles que l'hydrolyse, la décomposition thermique et oxydative, ainsi que la polymérisation se produisent. Malheureusement, ces réactions peuvent générer des composés hautement toxiques. Bien que certains déchets produits par l'industrie, les restaurants et les ménages soient collectés et recyclés, de grandes quantités sont encore déversées de manière inappropriée dans les égouts, ce qui entraîne le colmatage des systèmes de drainage et des conséquences néfastes sur l'écosystème, notamment la création de composés toxiques et d'odeurs désagréables. Le traitement de ces déchets nécessite une quantité importante d'énergie en raison de l'accumulation d'huile sur les équipements de nettoyage et de la corrosion qui en découle. Cependant, il est possible de valoriser ces déchets d'huile de friture à faible coût en les utilisant dans la production de biodiesel, de lubrifiants, de résines, de savons ou même comme substrat de fermentation (Maotsela, T. *et al.* 2019 ; Antonic, B. *et al.* 2020).

Le processus de fabrication de savon se distingue par sa faible consommation d'énergie, son absence de sous-produits indésirables et son impact environnemental réduit par rapport aux huiles de friture. L'utilisation des huiles de friture pour produire du savon peut donc être considérée comme une approche technologique écologique (Maotsela, T. *et al.* 2019 ; Antonic, B. *et al.* 2020).

Les détergents, tels que le savon, sont largement utilisés dans les ménages, l'hygiène personnelle et le nettoyage industriel. Le savon est un détergent traditionnel efficace et naturel qui peut être fabriqué par fusion ou méthode à froid. Les détergents modernes, comme la lessive en poudre et le détergent liquide, sont également populaires en raison de leur facilité d'utilisation et de leur efficacité. Tous ces détergents nettoient en utilisant des groupes polaires et non polaires de leurs molécules pour éliminer les graisses et la saleté (Rahayu, S. *et al.* 2021 ; Cheng, G. *et al.* 2023).

La fabrication du savon résulte d'une réaction entre un acide et une base (comme une solution d'hydroxyde de sodium), générant du sel (sous forme de savon), de l'eau et de la glycérine. Ce processus chimique est connu sous le nom de saponification. En utilisant une base aqueuse, il est possible de convertir pratiquement toutes sortes de graisses ou d'huiles en savon (Maotsela, T. *et al.* 2019).

En résumé, les huiles et graisses végétales jouent un rôle essentiel dans notre alimentation en raison de leur valeur nutritionnelle et de leurs propriétés bénéfiques pour la santé. Elles sont largement utilisées dans différentes industries. Cependant, lors de la friture à haute température, des substances toxiques peuvent se former, ce qui soulève des préoccupations environnementales. Afin de résoudre ce problème et d'éviter les déversements inappropriés, il est important d'optimiser le recyclage des huiles de friture usagées. Ces déchets peuvent être valorisés dans la production de biodiesel, de lubrifiants, de savons et d'autres produits.

Le présent travail est une étude visant à réutiliser les huiles végétales usagées dont l'objectif est de résoudre les problèmes environnementaux causés par leur élimination inappropriée de produire du savon et évaluer leur qualité.

Ce mémoire est présenté selon le plan suivant :

- Une introduction
- Partie 1 : qui se compose en trois chapitres : chapitre 1 : Généralités sur les huiles végétales (leurs définitions, compositions et caractéristiques...etc.), chapitre 2 : Les huiles végétales usées (leurs définitions, leurs réactions.) chapitre 3 : généralités sur les savons (leurs histoires, leurs propriétés, choix des corps gras et le procédé de fabrication du savon,),
- Partie 2 : intitulé « matériels et méthodes » dans lequel sont présentés les principales méthodes de travail.
- Partie 3 : les principaux résultats obtenus des analyses réalisées, suivi d'une discussion.

Ce travail s'achève par une conclusion générale avec les perspectives ouvrant la voie à des études ultérieures.

***Partie I :***  
***Synthèse bibliographique***

## I. Généralités sur les huiles végétales

### I.1. Définition

Les huiles végétales, utilisées depuis des siècles par l'homme, sont des triglycérides obtenus normalement à partir de plantes (Rafiq, M. *et al.* 2015). Leur état liquide ou solide dépend de leur degré de saturation et elles sont composées de triglycérides, estérifiés par des acides gras courants dont la longueur varie de 14 à 20 carbones avec 0 à 3 doubles liaisons par acide gras (Figure 1) (Zheng, J. 2016). La composition en acides gras de ces huiles dépend de différents facteurs tels que la plante, la culture, la saison, les conditions de croissance, l'année et l'emplacement des cultures (Maisonneuve, L. *et al.* 2016).

Pour produire ces huiles végétales, on utilise différentes méthodes de pressage ou d'extraction par solvant, suivies de processus de raffinage physiques et chimiques (Aluyor, O. *et al.* 2008). Les huiles brutes ainsi obtenues sont à la base de différentes huiles populaires, telles que les huiles d'oléagineux comme l'huile de soja, de graines de coton, d'arachides et de tournesol, ainsi que d'autres huiles moins connues, telles que l'huile de palme, l'huile de noix de coco et bien d'autres, notamment l'huile de son de riz ou l'huile de porrima (Aluyor, O. *et al.* 2008).

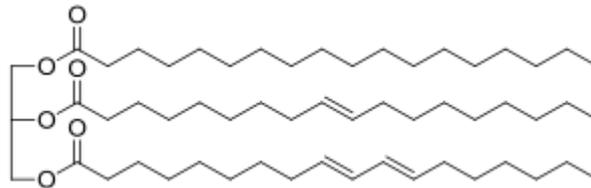


Figure 1: Structure générale des huiles végétales (triglycérides) (Zheng, J. 2016).

### I.2. Compositions chimiques des huiles végétales

Les huiles végétales sont principalement composées de la fraction saponifiable est la principale composées de triglycérides, qui représentent la majeure partie de leur masse, soit environ 97 à 99%. Les autres lipides, tels que les phospholipides et les insaponifiables (des hydrocarbures, des stérols, des pigments colorés, des tocophérols, des composés phénoliques et des cires), ne constituent qu'une petite quantité, soit environ 1 à 2% et 0,5 à 1%, respectivement (Didouche, Y. 2012 ; Abdelli, N. *et al.* 2020).

## I.2.1. Fraction saponifiable

### I.2.1.1. Acides gras

Les acides gras sont des constituants essentiels des huiles végétales, comme indiqué dans le (tableau 1). Ils représentent en moyenne 72% d'acides gras monoinsaturés, 14% d'acides gras polyinsaturés et 14% d'acides gras saturés. Les acides gras (saturés et insaturés) peuvent se présenter sous forme d'esters de glycérol ou sous forme libre. Ils sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée linéaire comportant un nombre pair ou impair d'atomes de carbone, variant de 14 à 24, et la présence d'un groupe carboxyle et d'une chaîne hydrocarbonée caractérise les acides gras. Plus de 100 types d'acides gras différents ont été identifiés dans le règne végétale, où ils sont très abondants (Didouche, Y. 2012 ; Bourachouche, K. *et al.* 2017 ; Selaimia, R. 2018).

En milieu naturel, triacylglycérol se présentent généralement sous forme de triesters résultant de la liaison entre des acides gras et du glycérol, selon la formule suivante (Selaimia, R. 2018) :



Tableau 1: Composition moyenne en acide gras (% mol) de quelques huiles végétales d'importance industrielle (Severac, E. 2010)

Acide Gras	Palmitique	Palmitoléique	Stéarique	Oléique	Linoléique	Gadoléique
Huile	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	20:1
Colza	1-5	< 1	1-2	55-62	18-22	1-2
Maïs	8-13	< 1	1-4	24-32	55-62	< 0,5
Olive	8-14	< 1	3-6	61-80	3-14	< 0,4
Tournesol	5-7	< 0,4	4-6	15-25	62-70	< 0,5

### I.2.1.2. Triglycérides

La fraction lipidique des corps gras est principalement composée de triglycérides d'indice glycérique, qui représentent 90 à 98% d de cette fraction. Ils sont formés en combinant une molécule de glycérol et trois molécules d'acides gras différents (R1, 2, 3) (Figure 2). Les huiles végétales contiennent des triglycérides issus de combinaisons de plusieurs acides gras qui diffèrent par la longueur, la ramification, les doubles liaisons et la configuration cis/trans de ces derniers (Didouche, Y. 2012 ; Véronique, O. *et al.* 2015 ; Gagnon, Y. 2021).

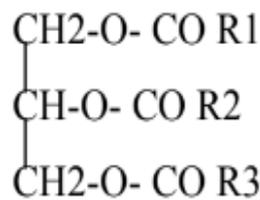


Figure 2: Structure chimique du triglycéride (Didouch, Y. 2012)

### I.2.1.3. Phospholipides

Les graisses végétales ou animales contiennent souvent des mélanges complexes de phospholipides (Véronique, O. *et al.* 2015). Sa classification en tant que lipide complexe est basée sur le fait que sa structure contient un squelette de glycérol avec une ou deux molécules d'acide gras attachées (Saadoudi, H. 2022). Ils sont des composants essentiels des membranes cellulaires. Ils s'assemblent spontanément en bicouches lipidiques, avec des têtes polaires hydrophiles pointant vers l'extérieur au contact de l'eau et des queues d'hydrocarbures hydrophobes pointant vers l'intérieur de la membrane. Cette formation de bicouche est principalement due aux forces hydrophobes (Figure 3) (Farzi, A. 2012).

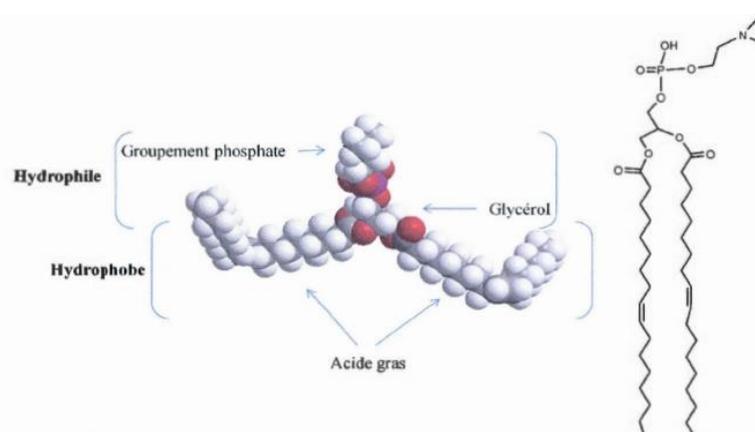


Figure 3: Structure d'un phospholipide (choline) (Farzi, A. 2012)

## I.2.2. Fraction insaponifiable

### I.2.2.1. Pigments (colorants)

Les pigments naturels trouvés dans les huiles végétales, tels que les chlorophylles, les phéophytines et les caroténoïdes. Ils jouent un rôle important dans les processus d'auto-oxydation et de photo-oxydation, qui peuvent affecter la qualité de l'huile. En outre, ces pigments contribuent à la couleur distinctive de chaque huile, par exemple la couleur verte de l'huile de canola et d'olive qui est principalement due à la présence de chlorophylle (Bouchema, C. *et al.* 2008 ; Severac, E. 2010).

#### ➤ Caroténoïdes

Les huiles végétales renferment des pigments naturels tels que les caroténoïdes, incluant les bêta-carotènes (figure 4), la lutéine, la néoxanthine et la violaxanthine. Bien que leur concentration soit souvent faible, leur présence est cruciale pour les processus de stabilité oxydative (Severac, E. 2010 ; Nekrouf, C. *et al.* 2019).

En effet, les huiles de colza et de lin contiennent généralement entre 30 et 40 ppm de ces pigments, tandis que l'huile d'olive peut en contenir jusqu'à 30 à 31 ppm. Par ailleurs, le bêta-carotène peut être clivé pour fournir de la vitamine A, importante pour la vision et ayant des propriétés antioxydantes. Sa quantité dans l'huile varie de 0,3 à 3,7 mg par kilogramme d'huile (Severac, E. 2010 ; Nekrouf, C. *et al.* 2019).

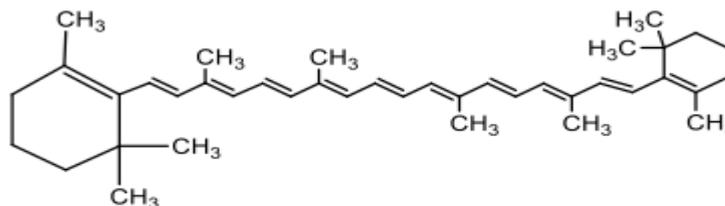


Figure 4: Structure chimique du  $\beta$ -carotène (Selaimia, R. 2018)

#### ➤ Chlorophylle

La chlorophylle est composée d'un noyau tétrapyrrolique ou de chlorine qui comprend un ion central de magnésium ( $Mg^{2+}$ ) et une chaîne latérale phytyle isoprénoïde. Il existe plusieurs formes de chlorophylles, mais seule la chlorophylle a et la chlorophylle b sont présentes chez les végétaux supérieurs. Toutes les formes de chlorophylle ont la caractéristique d'être liposolubles. Ces pigments verts jouent un rôle fondamental dans le processus de la photosynthèse des végétaux (Bouariche, Z. *et al.* 2017 ; Saidi, A. *et al.* 2020 ; Ouatas, H. *et al.* 2020).

### I.2.2.2. Stérols phytostérols et vitamines

Les huiles végétales sont riches en différents composants, notamment les stérols et les vitamines. Les stérols, qui peuvent être sous forme libre ou estérifiée par un acide gras, sont des composés cycliques complexes contenant une fonction alcool. Le règne végétal contient également des phytostérols, parmi lesquels les plus importants sont le  $\beta$ -sitostérol et le stigmastérol. Les vitamines, qui peuvent être liposolubles (A, D, E, K) ou hydrosolubles (C, B1 à B12), sont également présentes dans les huiles végétales, mais peuvent être perdues lors du processus de raffinage. Il est donc conseillé de choisir des huiles végétales de qualité supérieure et non raffinées pour bénéficier de leurs avantages nutritionnels (Didouche, Y. 2012 ; Chelouche, F. *et al.* 2017).

Voici la teneur en stérols totaux (exprimée en mg/100g) de certaines huiles d'intérêt industriel (Severac, E. 2010).

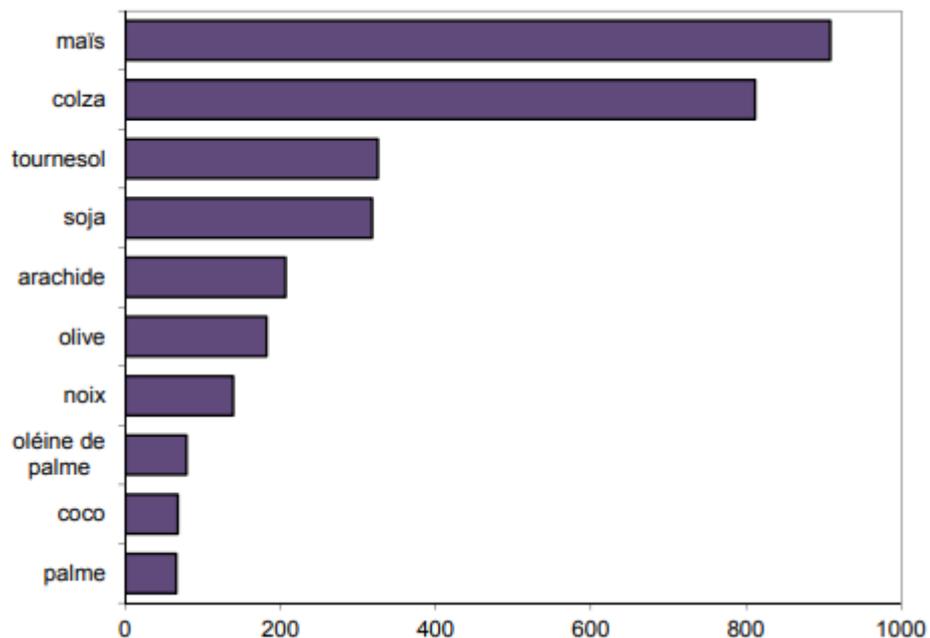


Figure 5: Teneur en stérols (mg/100g) de certains huiles d'intérêt industriel (Severac, E. 2010)

### I.2.2.3. Hydrocarbures

Les lipides les plus basiques sont les hydrocarbures, qui sont composés exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène, comme illustré dans la (figure 6). La plupart des hydrocarbures ont une chaîne carbonée linéaire (appelée chaîne normale) ou ramifiée (ou branchée), avec un ou plusieurs groupes méthyle, pouvant contenir au maximum 36 atomes de carbone (Saadoudi, H. 2022). Ils sont obtenus par saponification et fractionnement des matières premières sur lits minces ou colonnes de silice. Les hydrocarbures saturés non polaires sont séparés des hydrocarbures polyinsaturés légèrement polaires tels que le squalène. Environ 90% de la fraction hydrocarbure de l'huile d'olive est constituée de squalène (5-9 g/kg). La plupart des n-alcane sont caractérisés par un nombre impair d'atomes de carbone et entre 25 et 31 condensations de carbone (Ollivier, V. 2015).

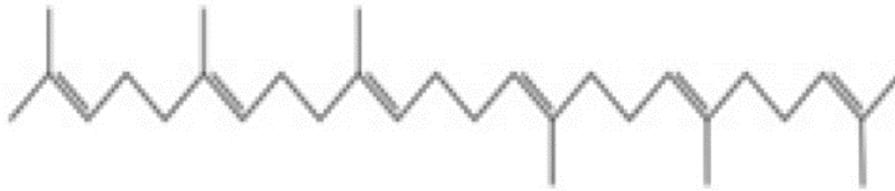


Figure 6: Structure d'hydrocarbure (Saadoudi,H . 2022)

### I.2.2.4. Composés métalliques

Bien que la plupart des corps gras contiennent naturellement des métaux en quantités minimales, certains de ces métaux, tels que le fer et le cuivre, peuvent fonctionner comme des catalyseurs d'oxydation puissants. Cependant, les huiles d'olives vierges contiennent des composés naturels appelés "biophénols" qui, grâce à leurs propriétés antioxydantes significatives, permettent de contrer problème d'oxydation puissant (Ayad, R. *et al.* 2008 ; Didouche, Y. 2012).

### I.2.2.5. Cires

Les huiles végétales contiennent naturellement des esters d'acides gras et des alcools à longue chaîne (Didouche, Y. 2012), et contiennent généralement des alcools mono ou digras condensés à haute teneur en carbone, appelés cires. Les cires sont souvent considérées comme des ingrédients mineurs, mais certaines graisses peuvent en contenir des quantités importantes. Deux méthodes sont couramment utilisées pour analyser les cires : la cristallisation et le fractionnement chromatographique (Ollivier, V. 2015).

### **I.3. Caractéristique Physico-Chimique des huiles Végétales**

#### **I.3.1. Caractères chimiques**

##### **I.3.1.1. Indice de saponification**

L'indice de saponification (Is) est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium requis pour saponifier 1 gramme de matière grasse (Abdelkrim, F. *et al.* 2019). Il est un outil précieux pour évaluer le poids moléculaire et prédire la longueur moyenne des chaînes d'acides gras. Pour obtenir une huile de qualité satisfaisante, il est recommandé que l'indice de saponification se situe entre 10 et 40, et une prise d'essai de 8 g a été sélectionnée pour la mesure de cet indice (Alili, D. *et al.* 2022).

##### **I.3.1.2. Indice d'acide**

L'indice d'acide est déterminé par le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium requis pour neutraliser les acides gras libres contenus dans 1 gramme de corps gras, ce qui permet d'évaluer le pourcentage d'acides gras libres dans le corps gras analysé. D'un autre côté, le pourcentage d'acide oléique permet d'exprimer la quantité d'acides gras libres en pourcentage (Nekrouf, C. *et al.* 2019 ; Alili, D. *et al.* 2022).

##### **I.3.1.3. Indice d'iode**

L'indice d'iode indique la quantité d'halogène, exprimée en grammes d'iode, mesurée pour 100 grammes de produit dans des conditions spécifiques. Cet indice permet d'évaluer le degré global d'insaturation des graisses et est mesuré en grammes (Bensalem, G. 2015 ; Djedaia, M. *et al.* 2017 ; Sbai, R. *et al.* 2022).

##### **I.3.1.4. Indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde permet de quantifier la quantité d'oxygène actif présente dans le peroxyde contenu dans 1 gramme d'huile ou 1 kilogramme de graisse. Pour réaliser cette mesure, une méthode spécifique est utilisée impliquant l'oxydation de l'iodure de potassium pour libérer de l'iode. L'indice de peroxyde est ensuite exprimé en (meq O<sub>2</sub>/Kg) (Aïssi, V. *et al.* 2009 ; Benammar, W. 2017).

### **I.3.2. Caractères physiques**

#### **I.3.2.1. Humidité**

La teneur en humidité et en matières volatiles du produit corps gras est déterminé en mesurant la perte de masse après un chauffage à  $103 \pm 2$  °C pendant une durée adéquate afin d'éliminer complètement l'humidité, tout en évitant l'oxydation. Cette mesure est exprimée en pourcentage de la masse de l'échantillon (Aïssi, V. *et al.* 2009 ; Bouhadad, F. *et al.* 2018).

#### **I.3.2.2. Viscosité**

La viscosité des liquides résulte des forces de frottement existant entre les différentes couches en mouvement provoquées par des forces de cohésion agissant au niveau moléculaire, et elle est défini comme le temps nécessaire à une bille métallique pour traverser un capillaire rempli d'huile dans le viscosimètre (Tshiombe, V. *et al.* 2011 ; Bouhadad, F. *et al.* 2018).

#### **I.3.2.3. Indice de réfraction**

L'utilisation d'un réfractomètre permet de mesurer le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse d'une onde lumineuse dans un milieu donné. Cet instrument est également utilisé pour surveiller les processus d'hydrogénation et de fractionnement des matières grasses en mesurant l'indice de réfraction, qui augmente en fonction du degré d'insaturation des acides gras présents dans l'huile (Bouguermouh, D. *et al.* 2021 ; Saadoudi, H. 2022).

#### **I.3.2.4. Densité**

La densité relative à une température de 20°C permet de comparer la masse d'un volume spécifique d'une huile à la masse d'un volume équivalent d'eau distillée à la même température. Dans le cas des lipides, leur densité est généralement inférieure à celle de l'eau. Par exemple, le beurre a une densité de 910 kg/m<sup>3</sup>, l'huile d'olive a une densité de 917 kg/m<sup>3</sup> et l'huile de tournesol a une densité de 922 kg/m<sup>3</sup> (Bouchama, A. *et al.* 2017 ; Alili, D. *et al.* 2022).

#### **I.4. Production des huiles végétales**

La production d'huile végétale implique des étapes préliminaires telles que l'inspection minutieuse de la matière première pour éliminer les éléments étrangers et les grains détériorés, ainsi que des opérations spécifiques comme le lavage des olives, le délintage du coton ou le décorticage de l'arachide, du soja ou du tournesol (Saadoudi Hadjer, A. 2022).

Une fois ces étapes préliminaires réalisées, la production d'huile végétale peut être effectuée selon deux filières : la filière traditionnelle qui permet d'obtenir de l'huile brute ou pure végétale, et la filière industrielle qui permet de raffiner cette huile pour obtenir de l'huile végétale pure raffinée (Belkofsi, N. *et al.* 2021).

##### **I.4.1. Filière traditionnelle**

Le processus de production de l'huile brute comprend plusieurs étapes, telles que le nettoyage et la préparation des graines, le décorticage, le broyage, l'aplatissage, la cuisson, la pression et l'extraction. Les graines sont triées avant d'être décortiquées pour séparer l'amande de la coque. Cette étape est importante car elle permet de réduire la friction et d'améliorer la qualité de l'huile. Ensuite, les amandes sont transformées en une pâte qui est chauffée à une température spécifique dans des cuiseurs verticaux ou horizontaux continus. L'huile est collectée après la cuisson et est décantée et filtrée pour éliminer les impuretés. Bien que ce procédé soit efficace pour produire de l'huile, il a un faible rendement et nécessite beaucoup d'effort humain (Belkofsi, N. *et al.* 2021 ; Saadoudi Hadjer, A. 2022).

##### **I.4.2. Filière industrielle : Traitement des huiles (raffinage)**

Le raffinage des huiles végétales permet d'obtenir des huiles de qualité, sans impuretés ni contaminants. Cette étape importante améliore les caractéristiques des corps gras, tels que leur saveur, leur qualité nutritionnelle et leur stabilité, tout en préservant les composants bénéfiques tels que les tocophérols, tocotriénols et stérols, ainsi que la fraction triglycérique. Le raffinage peut être effectué de plusieurs manières, mais les deux principales méthodes sont le raffinage chimique et le raffinage physique. Le raffinage chimique élimine les acides gras libres et les impuretés lors d'une étape de neutralisation alcaline, tandis que le raffinage physique nécessite une étape préalable de dégomme pour éliminer les acides gras libres avant une distillation conjointe à la désodorisation (Khechmar, D. *et al.* 2017 ; Brahiti, S. *et al.* 2018 ; Djezzar, S. *et al.* 2021).

La figure 7 ci-dessous présente les différentes étapes du processus de raffinage (Djezzar, S. *et al.* 2021).

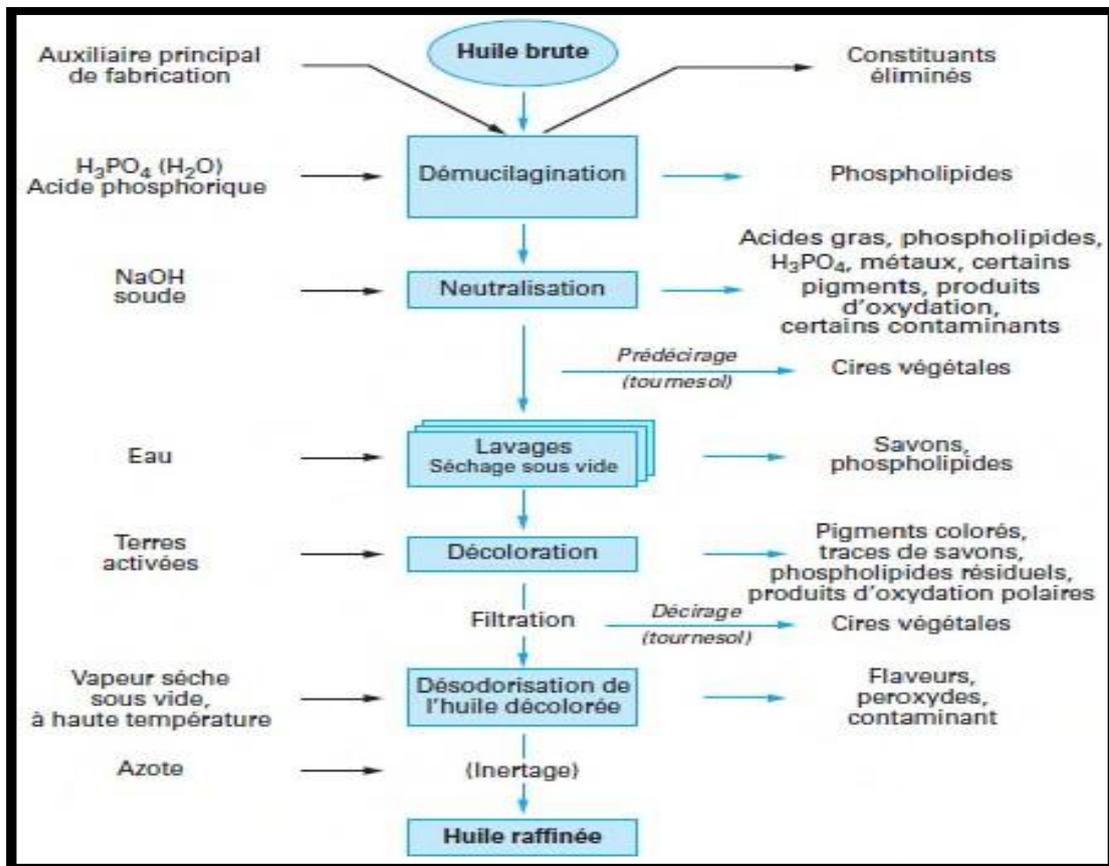


Figure 7: Les différents étapes de raffinage des huiles végétales (Djezzar, S. *et al.* 2021)

### I.5. Utilisation des huiles végétales

Les huiles végétales sont utilisées de diverses manières, notamment dans les aliments pour la friture et l'assaisonnement, les cosmétiques pour la fabrication de savons et de détergents, l'industrie pharmaceutique pour les cosmétiques et les crèmes, et l'énergie pour la production d'électricité et de biocarburants (Kara, T. *et al.* 2021).

L'utilisation croissante des huiles végétales dans le secteur non alimentaire est due à leurs propriétés, leur origine renouvelable et leur biodégradabilité. L'expression « de l'or noir à l'or vert » est souvent utilisée pour décrire cette nouvelle tendance vers une chimie basée sur les ressources agricoles renouvelables de la terre, les sels d'acides gras sont également utilisés dans la production de savons, de peintures et de vernis. Les savons sont dérivés de sels d'acides gras, les plus couramment utilisés contenant du potassium et du sodium (Rzoz, S. 2002 ; Pioch, D. *et al.* 2006).

Diverses utilisations cosmétiques et alimentaires, pharmaceutiques des huiles végétales sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2: Les utilisations de quelques huiles d'origine végétale (Rzoz, S. 2002)

Plante	Caractéristiques des huiles et nature des utilisations
Tournesol ( <i>Helianthus annuus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'huile de tournesol est souvent utilisée pour faire de la margarine.</li> <li>• Cette huile est une riche source d'acide linoléique insaturé.</li> <li>• Le tourteau de tournesol est utile comme aliment pour animaux.</li> <li>• Cette substance permet de fabriquer facilement et à peu de frais des produits qui adoucissent la peau.</li> </ul>
Maïs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largement utilisé dans la production de margarine.</li> </ul>
Olivier ( <i>Olea europea</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrairement à d'autres huiles qui nécessitent l'ajout d'antiacides pour la conservation, l'huile d'olive contient des antiacides naturels.</li> <li>• Cette huile est souvent utilisée comme tonique capillaire pour renforcer et revitaliser les cheveux.</li> <li>• Il aide également à garder la peau et les muscles souples.</li> <li>• Lorsqu'il est mélangé avec de l'eau et du jus de citron, il peut être utilisé comme un remède naturel efficace contre les brûlures.</li> <li>• Il profite à votre peau en fournissant des traitements efficaces sans risque d'effets secondaires.</li> </ul>
Soja ( <i>Glycine max</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cette substance est utilisée comme produit cosmétique en Chine depuis plus de 4000 ans.</li> <li>• Elle est considérée comme l'une des huiles les plus efficaces et les plus abordables pour les préparations de produits pour la peau et les cheveux.</li> </ul>

## II. Généralité su les huiles végétales usées

Le secteur de la restauration génère de grandes quantités de déchets, en particulier d'huile de cuisson usagée, principalement à partir d'aliments frits , ces déchets sont principalement constitués de graisses résiduelles d'origine végétale, qui existent sous forme de graisses solidifiées à température ambiante et sont souvent contaminées par diverses impuretés telles que l'eau et les chutes de papier, les chiffons et la viande (Chamoumi, M. *et al.* 2013 ; Fitta, F. *et al.* 2017 ; Senoussaoui, Z. *et al.* 2022).

D'après toutes les recherches effectuées à ce sujet, il est plus économique d'utiliser de l'huile de cuisson usagée que d'utiliser de l'huile de cuisson vierge. Cela peut avoir certains effets indésirables, tels que la formation de polymères à partir de l'huile usée, une augmentation de la viscosité et des acides gras libres (Fitta, F. *et al.* 2017).

### II.1. Définition des huiles végétales de la friture

La consommation élevée d'huile de cuisson entraîne une grande production d'huile de cuisson usagée, principalement de l'huile de friture, qui contient des niveaux élevés d'acides gras saturés et monoinsaturés. La technique de la friture est une méthode de cuisson ancienne qui utilise l'huile comme agent de transfert de chaleur, à des températures supérieures au point d'ébullition de 155-190 °C. Cette technique peut être effectuée avec une petite quantité d'huile pour une cuisson légère ou avec une grande quantité pour une friture profonde. En chauffant l'huile, l'eau à la surface des aliments est évaporée, permettant la formation d'une croûte. Cependant, si les aliments sont exposés à des températures élevées ou si l'huile est réutilisée à plusieurs reprises, elle peut devenir toxique avec le temps. Par conséquent, les huiles usagées doivent être éliminées en tant que déchets (Aouchar, K. *et al.* 2017 ; Benamara, K. *et al.* 2020).

## II.2. Les réactions d'Altération des huiles de friture

Lorsque l'huile est exposée à l'eau, à l'oxygène et à des températures élevées (160-180°C), elle peut subir diverses réactions chimiques complexes qui peuvent être regroupées en trois catégories principales : oxydation, polymérisation et hydrolyse (Figure 8) (Benamara, K. *et al.* 2020).

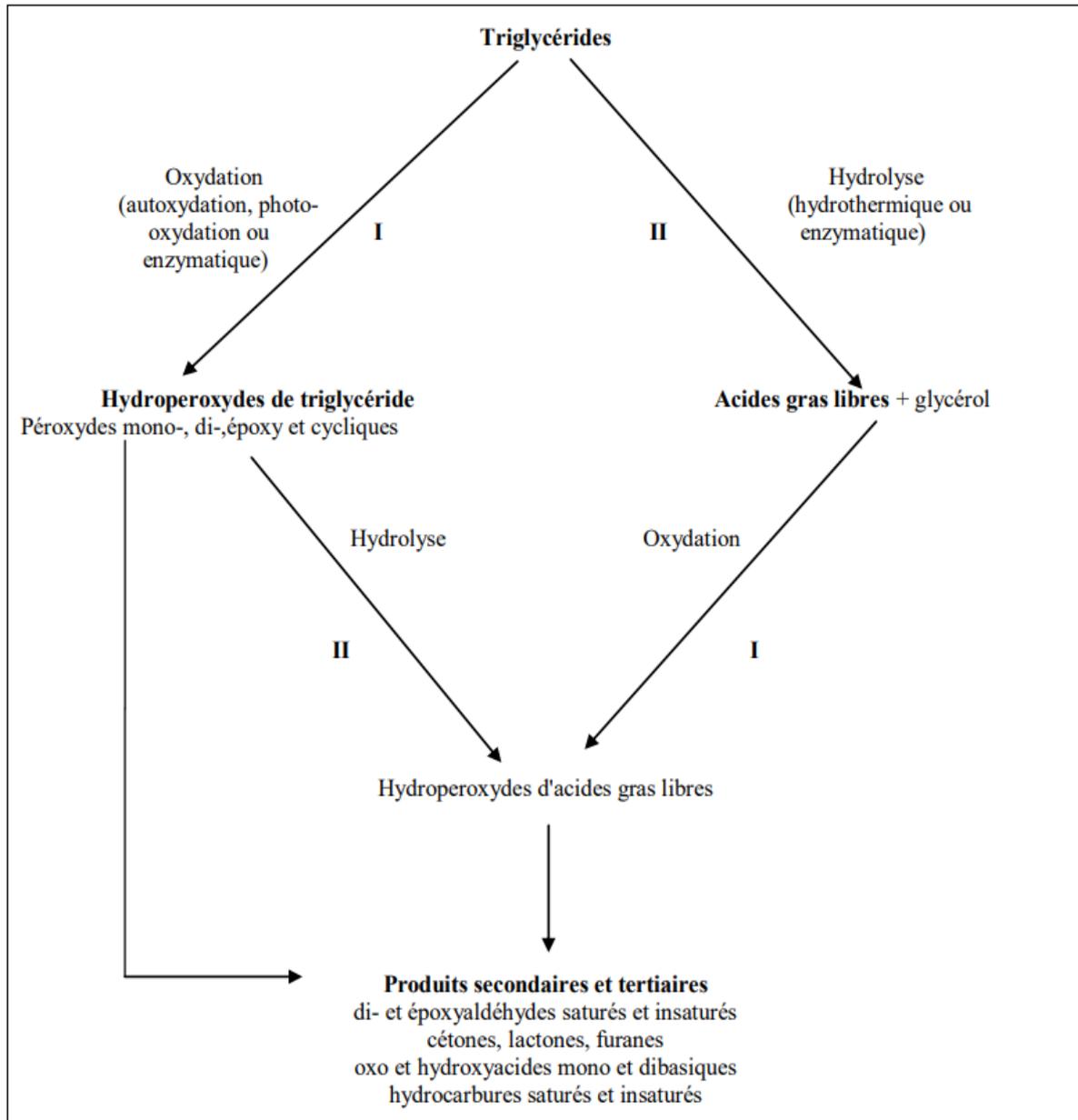


Figure 8: Les réactions chimiques d'huiles du friture (Benamara, K. *et al.* 2020)

### II.2.1. Réactions d'oxydation

L'oxydation est un processus réactionnel en cascade qui se produit en présence de radicaux libres. Lorsque les huiles de friture et les aliments frits sont exposés à l'oxygène de l'air, cela peut entraîner des altérations indésirables de la saveur et de la couleur. De plus, cela favorise la formation de composés peroxydes et de polymères, connus pour être des agents cancérigènes. Ces composés oxydants indésirables se forment principalement à partir des hydro peroxydes, qui sont les produits principaux de l'oxydation. La réaction en cascade qui conduit à leur formation est autonome, car elle est initiée par la présence de composés radicalaires issus de l'oxydation des triglycérides dans le bain de friture. Cette réaction peut s'accélérer, comme illustré dans la (Figure 9) (Chouikh, S. *et al.* 2016 ; Amal, E. 2019 ; Benamara, K. *et al.* 2020).

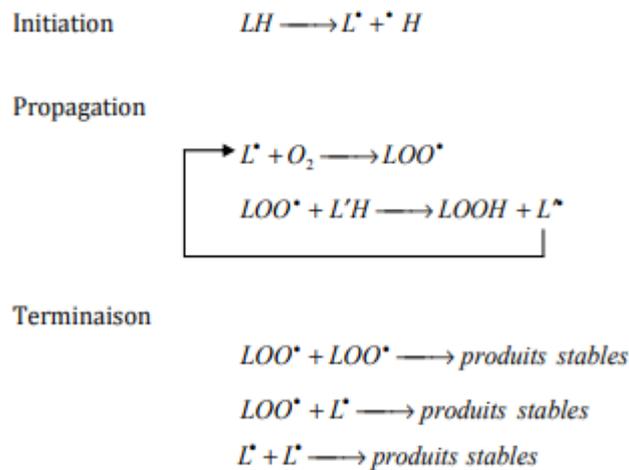


Figure 9: Schéma du mécanisme réactionnel de l'auto-oxydation des lipides (Roman, O. 2012)

### II.2.2. Réactions de polymérisation

À des températures élevées, les acides gras insaturés et leurs glycérides subissent une réaction de polymérisation. Cette réaction entraîne des réarrangements tant à l'intérieur des molécules qu'entre les molécules, ce qui rend l'huile de friture plus vulnérable à l'oxydation et augmente sa viscosité apparente. Par conséquent, cette réaction peut générer des composés indésirables tels que des radicaux libres et des aldéhydes (Bravo, S. 2018 ; Aggar, C. 2019).

La Figure 10 ci-dessous illustre le mécanisme de polymérisation qui se produit pendant la friture (Chouikh, S. *et al.* 2016).

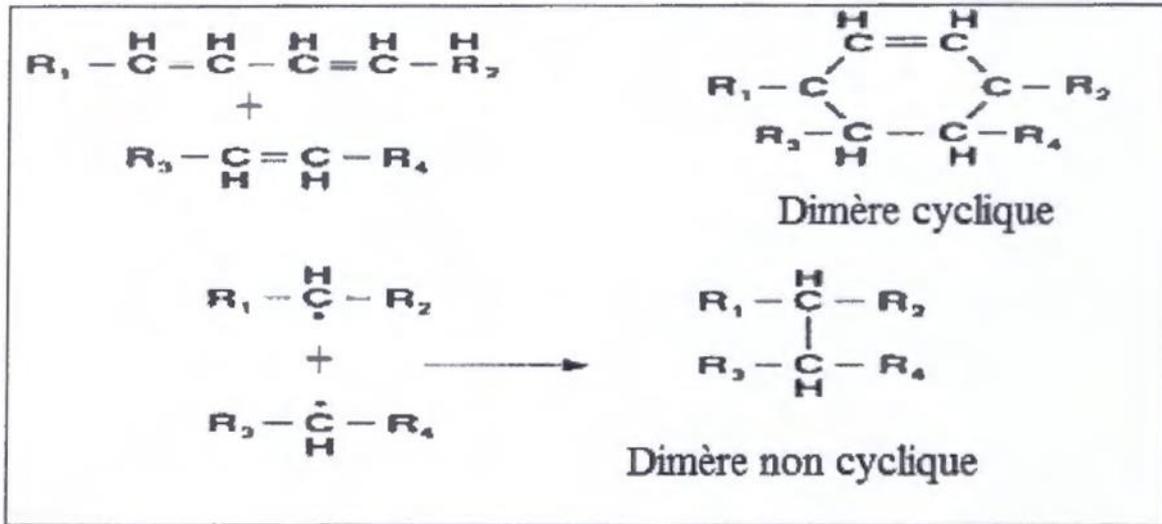


Figure 10: Le processus de polymérisation pendant la friture (Chouikh, S. *et al.* 2016)

### II.2.3. Réactions d'hydrolyse

La présence inévitable de vapeur d'eau dans les bains de friture pendant la cuisson des aliments peut provoquer des réactions hydrolytiques. Ces processus chimiques entraînent la rupture de la liaison entre le glycérol et les acides gras, formant ainsi des acides gras libres, des monoglycérides et des diglycérides (figure 11). Ces composés, tout comme le glycérol, sont sujets à la polymérisation et à l'oxydation. Cela entraîne une détérioration des propriétés de l'huile, se manifestant par la formation de mousse et de fumée (Bravo, S. M. 2018 ; Lacey, M. *et al.* 2022).

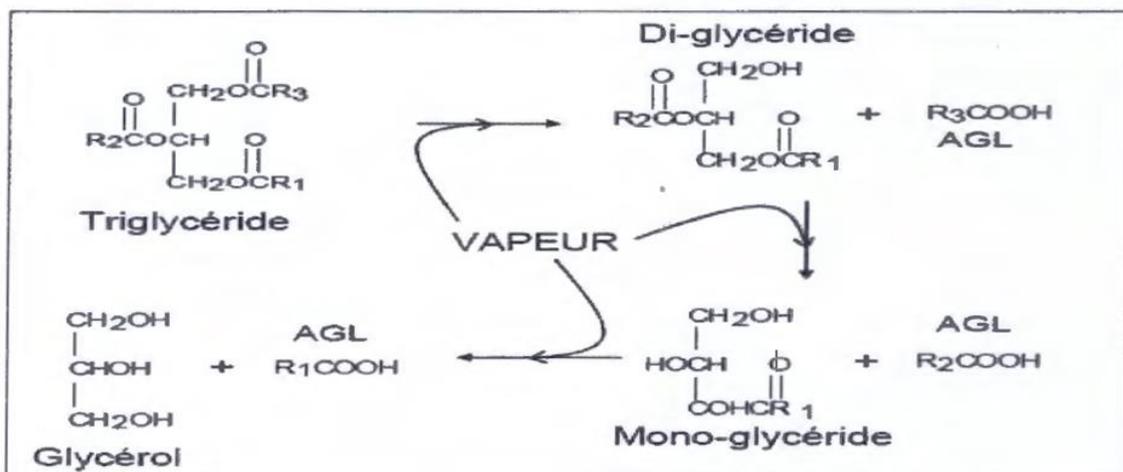


Figure 11: Mécanisme des huiles par l'effet de la vapeur des aliments pendant la friture (Chouikh, S. *et al.* 2016)

### II.3. Impact des huiles de friture usagée

L'impact des huiles de friture usagées sur l'environnement, au sein des restaurants et sur l'économie en général.

#### II.3.1. Sur l'environnement

- **L'air** : Les huiles de friture usagées n'ont pas beaucoup d'influence sur l'air sauf lorsque ces huiles sont mélangées ou jetées avec les déchets ménagers et incinérées à l'air libre, ce qu'il peut engendrer des rejets atmosphériques polluants (Blibek, A. *et al.* 2016).
- **Le Sol** : Lorsqu'elles sont déversées dans l'environnement, ces substances ont un impact sur le sol en altérant sa composition chimique, ce qui peut entraîner une dégradation de sa fertilité à long terme. De plus, elles ont la capacité de pénétrer dans le sol et de polluer les nappes phréatiques (Blibek, A. *et al.* 2016 ; Semssoum, L. *et al.* 2022).
- **L'eau** : L'huile a une densité plus faible que l'eau, ce qui lui permet de flotter et de former une couche ou une pellicule à la surface de l'eau. Cette couche imperméable peut empêcher l'oxygène de pénétrer dans l'eau, ce qui peut entraîner une asphyxie de la flore et de la faune aquatiques. En outre, une partie de l'huile peut se coller aux branchies et à la peau des poissons, perturbant ainsi leur mode de vie (Semssoum, L. *et al.* 2022).

#### II.3.2. Au sein des restaurants

La dégradation des graisses accumulées dans les systèmes d'évacuation peut entraîner des désagréments olfactifs. En outre, le colmatage des conduits peut provoquer des inondations limitées au niveau des cuisines, ainsi que des débordements des dispositifs de séparation des graisses (Saidi, A. *et al.* 2019 ; Meghzili, F. 2022).

### II.3.3. Sur l'économie

Les conséquences des huiles vont au-delà de l'environnement, car elles ont également un impact économique important. Les dommages causés par ces huiles se répercutent sur l'économie de plusieurs manières. Par exemple, la réparation des canaux obstrués ou endommagés. De plus, le processus de déshuilage dans les stations d'épuration nécessite une quantité significative d'énergie. En outre, la décontamination des sols ou des rivières touchés par ces huiles demande des ressources financières importantes pour l'économie (Blibek, A. *et al.* 2016 ; Meghzili, F. 2022).

### II.4. Recyclage d'huile de friture

Recycler l'huile de friture usagée présente des avantages économiques et environnementaux. Il est essentiel de ne pas la jeter de manière inappropriée en raison de sa toxicité, de son inflammabilité et des risques qu'elle pose pour l'environnement. Heureusement, il existe diverses méthodes de recyclage, telles que la transformation en savon, bougies, lubrifiants et biodiesel, qui permettent de donner une seconde vie à cette huile. Ce processus de recyclage constitue une approche écologique pour éliminer les déchets domestiques et réduire notre empreinte environnementale (Antonić, B. *et al.* 2020 ; Rahayu, S. *et al.* 2021).

La fabrication de savon à partir d'huile de friture usagée présente un intérêt notable car elle génère aucun sous-produit indésirable et nécessite une consommation d'énergie minimale lors de la réaction de saponification. Les savons naturels fabriqués à partir de sels alcalins d'acides gras végétaux sont respectueux de l'environnement. Des recherches en cours visent à améliorer la qualité et les propriétés de l'huile de friture utilisée pour obtenir des savons de qualité supérieure (Antonić, B. *et al.* 2020 ; Rahayu, S. *et al.* 2021).

### III. Généralités sur les savons

#### III.1. Historique

La fabrication de savon est une pratique ancienne qui remonte à plusieurs siècles, voire millénaires, dans la région du Bilad al-Châm. Initialement, cette activité était menée à petite échelle dans les villages par des artisans locaux, souvent des femmes, en utilisant les fruits de l'olivier, un arbre sacré. Avec l'arrivée de l'Empire Ottoman, la production de savon s'est transformée en une industrie citadine basée à Naplouse, où de grandes familles ont acquis de nombreuses savonneries situées en centre-ville. Au cours du 19<sup>ème</sup> siècle, ces savonneries ont été modernisées, ce qui a permis à l'industrie du savon de prospérer et de se développer considérablement. Bien qu'à l'origine le savon ait été utilisé pour laver le linge et préparer la laine, au fil des siècles, il est devenu un élément essentiel de l'hygiène. La légende raconte que la découverte du savon est liée à la préparation de la viande, où la graisse de l'animal coulait sur les cendres (potasse) et était mêlée à une pluie fine préhistorique (Bontemps, V. 2009 ; Boué, A. 2015).

#### III.2. Définition

Les savons sont constitués d'ions carboxylates et de cations métalliques tels que les ions sodium ou potassium, et sont employés pour nettoyer diverses surfaces. Ils sont disponibles sous forme de blocs, de poudres, de paillettes ou de solutions liquides. Les savons biologiques et chimiques diffèrent par les ingrédients utilisés pour les fabriquer (Allouache, B. *et al.* 2014 ; Namani, F. 2022).

La figure 12 ci-dessous représente la structure de savon (Smail, L. *et al.* 2019)



Figure 12: Structure chimique de savon (Smail, L. *et al.* 2019)

### III.3. Réaction de saponification

La saponification est un processus chimique qui convertit les triglycérides (graisse) en savon (ions carboxylates) et en glycérine (également appelée glycérol), en utilisant des ions hydroxydes fournis par une substance alcaline telle que la soude ou la potasse. Cette réaction se produit en deux étapes : tout d'abord, une hydrolyse se produit pour séparer les acides gras et la glycérine, puis les acides gras sont neutralisés avec la soude. Lorsque la saponification est effectuée correctement, il ne reste aucun résidu de soude ou d'hydroxyde de sodium dans le produit final (Allouache, B. *et al.* 2014 ; Smail, L. *et al.* 2019 ; Siham, B. *et al.* 2020).

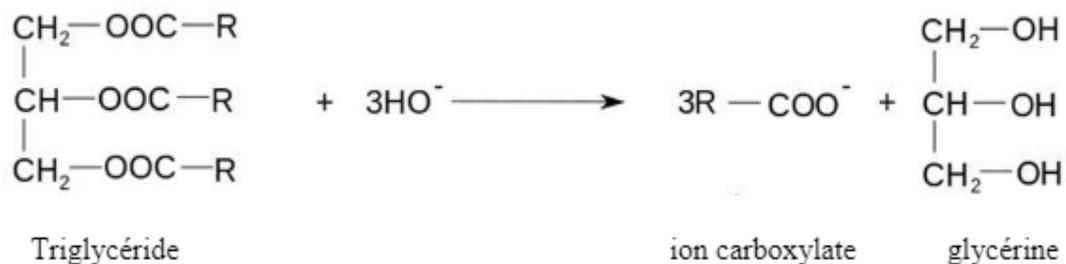


Figure 13: Réaction de saponification (Allouache, B. *et al.* 2014)

### III.4. Types de savons

Il existe différents types de savons :

**Le savon dur** : savon de ménage, savon de lessive, savon de toilette.

**Le savon mou/liquide** : savon de lessive, shampooing (Siham, B. *et al.* 2020).

#### III.4.1. Savon dur

La fabrication des savons durs (figure 14) requiert l'utilisation de soude caustique et d'un mélange spécifique de corps gras, dont les proportions varient en fonction des propriétés des huiles utilisées. Il est possible d'utiliser différentes huiles, mais leur sélection et leurs quantités doivent être déterminées en fonction de leurs caractéristiques (Siham, B. *et al.* 2020).

Les savons durs se classent généralement en deux catégories principales : les savons de toilette et les savons à lessive. Les savons de toilette sont formulés pour être doux pour la peau, assurer un nettoyage efficace et produire une mousse abondante. En revanche, les savons à lessive doivent avoir de bonnes propriétés détergentes et ne pas contenir d'alcali libre afin de ne pas endommager les vêtements (Ahmed, K. *et al.* 2020).



Figure 14: Savon solide (Saadoudi, H. 2022)

#### III.4.2. Savon mou (liquide)

Pour fabriquer des savons de qualité, il est important de choisir les bonnes huiles. Les huiles à faible coefficient d'insaturation sont recommandées pour les savons mou (figure 15), car les huiles ayant un coefficient d'insaturation élevé donneront un savon dur, tandis que celles ayant un coefficient trop faible donneront un savon mou. En Europe, le savon mou est traditionnellement fabriqué à partir d'huile de lin, et le procédé mi-chaud est souvent utilisé. Les savons liquides, qui sont produits à partir d'un mélange d'hydroxyde de potassium et de corps gras, peuvent prendre diverses dénominations, comme gels nettoyants, shampooings pour le corps ou bases lavantes. Contrairement à certains savons durs, les savons liquides ne contiennent généralement pas d'agents antiseptiques dans leur formulation (Ahmed, K. *et al.* 2020 ; Adjibi. *et al.* 2022).



Figure 15: Savon liquide (Saadoudi, H. 2022)

### III.5. Autres classifications du savon

#### III.5.1. Suivant la provenance géographique

##### III.5.1.1. Savon d'Alep

Est le plus ancien savon syrien (figure 16), fabriqué à partir d'un mélange d'huile d'olive et d'huile de baies de laurier (Smail, L. *et al.* 2015).



Figure 16: Savon d'Alep Savon d'Alep (Benmoussa, H. *et al.* 2020)

##### III.5.1.2. Savon de Marseille

Le savon de Marseille (figure 17), qui contient environ 63% d'acides gras, est préparé à partir d'huile d'olive et de soude (Smail, L. *et al.* 2015).



Figure 17: Savon de Marseille (Benmoussa, H. *et al.* 2020)

### III.5.1.3. Savon Azul e Branco

Ce produit (figure 18) a été produit au Portugal et il présente des nuances de bleu ainsi que de blanc-jaunâtre (Benmoussa, H. *et al.* 2020).



Figure 18: Savon Azul e Branco (Benmoussa, H. *et al.* 2020)

### III.5.1.4. Savon blanc

La production de ce savon a lieu en Suisse. Sa couleur blanche est caractéristique d'un savon à base de soude, qui a une teinte claire ou moins foncée que les "savons noirs" fabriqués à partir de potasse. Ce type de savon blanc (comme illustré à la figure 19) est généralement utilisé comme savon pour l'hygiène corporelle (Benmoussa, H. *et al.* 2020).



Figure 19: Savon blanc (Benmoussa, H. *et al.* 2020).

### III.5.2. Savon suivant l'usage

**Savon de toilette ou la savonnette** : Destiné à l'hygiène du corps.

**Savon de ménage** : Pour le nettoyage domestique.

**Savon médical** : Avec des apports désinfectants, antiseptiques ou autres.

**Savon dentifrice** : Pour les soins de la bouche (Smail, L. *et al.* 2015).

### III.6. Matières premières pour la fabrication de savon

Les matières premières essentielles pour la fabrication de savon sont :

- **Les corps gras** : graisses ou huiles.
- **Les alcalis ou les lessives** : soude caustique ou potasse caustique (Benmoussa, H. *et al.* 2020).
- **Les saumures** nécessaires pour la récupération de la glycérine.
- **Les additifs** : La qualité et le type de savon que l'on souhaite obtenir déterminent les additifs à utiliser, tels que le carbonate de sodium, le silicate de sodium, etc (Ahmed, K. *et al.* 2020).

Le tableau (3) présente le rôle des matières premières entrant dans la fabrication du savon (Houenoude, M. 2016).

Tableau 3: Rôle des matières premières entrant dans la fabrication du savon  
(Houenoude, M. 2016)

Matières premières	Rôle
Le silicate	Relie l'huile à la solution puis active plus de mousse au savon et rend le savon plus tendre
La glycérine	Donne plus d'éclat et rend la peau lisse
Les colorants	Accentuent les couleurs des savons
La soude caustique	Mousse et rend dur le savon
Le parfum	Donne une odeur plaisante au savon
L'huile de coco	Rend la peau lisse
Le soufre	Lutte contre la dartre
Le confort	Lutte contre les bourbouilles
L'argile	Constitue un gommage pour la peau et rend le savon tendre
Le beurre de karité	Lutte contre les rayons solaires
L'huile de neems	Guérit la courbature

### **III.7. Mécanisme de fabrication de savon**

#### **III.7.1. Procédé à froid (artisanale)**

Le processus de fabrication de savon engendre naturellement la présence de glycérine, un ingrédient bénéfique pour la peau qui aide à prévenir la déshydratation du savon pendant son entreposage. Cette méthode de production est considérée comme économique, car elle ne requiert pas l'utilisation de sources de chaleur et maintient une température constante dans un environnement frais (Kadri, S. *et al.* 2018 ; Belhamel, K. *et al.* 2020).

Pour obtenir le savon, un mélange de corps gras est chauffé à environ 40°C et une solution alcaline avec une teneur de 20 à 30% de KOH ou NaOH est ajoutée progressivement sous agitation constante, jusqu'à ce que la solution soit complètement épuisée. La réaction chimique qui en résulte produit suffisamment de chaleur pour garantir une saponification complète. Ensuite, des substances chimiques peuvent être ajoutées pour améliorer les propriétés détachantes, odorantes et moussantes du savon (Belhamel, K. *et al.* 2020).

#### **III.7.2. Procédé semi- chaud (artisanale)**

Les étapes pour la fabrication du savon incluent le chauffage du mélange des corps gras à une température comprise entre 55 et 70°C, l'ajout lent et continu de la solution alcaline nécessaire tout en remuant (Belhamel, K. *et al.* 2020), le refroidissement du mélange à environ 60°C avant d'ajouter les produits auxiliaires, et enfin le coulage du savon dans des moules pour le laisser refroidir pendant 24 à 36 heures (Kadri, S. *et al.* 2018).

En raison de leur simplicité d'exécution et de la qualité du produit obtenu, les deux procédés mentionnés précédemment sont très appropriés pour la fabrication artisanale de savons améliorés à l'échelle familiale (Belhamel, K. *et al.* 2021).

### III.7.3. Procédé à chaud (industrielle)

Le procédé de fabrication de savon à chaud implique la saponification à une température de 80°C pendant trois heures, suivi de l'ajout d'additifs pour améliorer les propriétés odorantes, détachantes et émulsifiantes de la pâte de savon et du savon final (Belhamel, K. *et al.* 2020). Les savons produits nécessitent un temps de séchage, mais peuvent être utilisés directement. Cette méthode est avantageuse pour l'ajout d'additifs sensibles tels que les huiles essentielles, qui peuvent être incorporées à une température maximale de 50°C. Cependant, la texture du savon résultant peut être plus rugueuse et difficile à mouler que celle du savon fabriqué à froid (Khellaf, K. *et al.* 2022).

Le tableau 4 présente les ingrédients entrant dans la fabrication de chaque type de savon (Houenoude, M. 2016).

Tableau 4: Ingrédients entrant dans la fabrication des différents types de savon  
(Houenoude, M. 2016)

Différents types de savon	Ingrédients
a. Savon de carotte jaune.	100 kg de granulés ou nouilles de carottes séchées ;0,5 L de silicate ;0,5 L de glycérine ; 0,5 L de parfum mille-fleurs ;90 g de colorant orange.
b. Savon de concombre	100 kg de granulés ou nouilles de concombres séchées ; 0,5 L de silicate ; 0,5 L de glycérine ; 0,5 L de parfum jasmin ; 90 g de colorant vert.
c. Savon d'aloès	100 kg de granulés ou nouilles d'aloès séchées ;0,5 L de silicate ; 0,5 L de glycérine ; 0,25 L de parfum jasmin et 0,25 L de parfum flora ;90 g de colorant vert.
d. Savon médicamenteux	25 kg de nouilles de carottes séchées ;25 kg de nouilles de papayes séchées ; 25 kg de nouilles de concombres séchées ; 25 kg de nouilles d'aloès séchées ; 0,5 L de silicate ; 0,5 L de glycérine ; 0,5 L de parfum citron ; 0,5L de beurre de karité ; 0,5L d'huile de coco ; 10g de colorant noir ; 60g de colorant café ; 225 g de soufre ; 225 g de confort ; 225 g d'argile.

### **III.8. Propriétés physico-chimiques du savon**

#### **III.8.1. PH du savon**

Le PH : Lors du processus de saponification, une hydrolyse incomplète peut entraîner un savon ayant un pH élevé, ce qui peut être prévenu en ajoutant un excès d'acides gras ou d'huile. Cependant, si le savon est trop caustique pour la peau, il peut neutraliser la couche acide protectrice, qui peut prévenir l'infection par des bactéries et des virus (Khellaf, K. *et al.* 2022). Bien que les irritations cutanées soient rares car le pH de la peau se rétablit rapidement, les savons à base de dérivés du pétrole ayant un pH plus proche de celui de la peau peuvent assécher la peau en raison de leur pouvoir détergeant. Il est important de noter que le pH de la peau varie en fonction du type de peau, de l'endroit de la mesure et des influences extérieures telles que le nettoyage (Yakoubi, T. *et al.* 2020).

#### **III.8.2. Points de fusion**

Le point de fusion des savons varie entre 200 °C et 250 °C et est mal défini. Les savons se dispersent plus facilement à des températures élevées, donnant des eaux savonneuses claires et opalescentes. La dispersion est très faible dans certains solvants organiques tels que le benzène et le toluène. En milieu basique, une hydrolyse partielle en acides gras et en ions basiques libres est constatée. Il est important de noter que la nature de la base utilisée en saponification a une grande influence sur le point de fusion du savon synthétisé (Belhamel, K. *et al.* 2021).

#### **III.8.3. Pouvoir moussant**

Lorsque du savon est ajouté à de l'eau et agité, un film d'ions carboxylate se forme à la surface de l'eau, ce qui diminue sa tension superficielle. La mousse qui est formée de bulles d'air piégées peut ainsi indiquer le pouvoir détergent de la solution en fonction de sa tension superficielle (Hamlat, A. *et al.* 2018 ; Benmoussa, H. *et al.* 2020).

### III.8.4. Teneur en eau (humidité)

La présence d'eau dans un mélange de savon est cruciale, car elle permet de diluer l'alcali (hydroxyde de sodium ou de potassium) et de disperser les molécules, facilitant leur réaction avec les acides gras. Ainsi, la quantité d'eau présente joue un rôle clé dans la fabrication de savons. La norme ISO 672-1978 établit une plage de tolérance comprise entre 13 et 16% (ISO 672 : 1978).

### III.8.5. Teneur en alcali libre total

La définition suivante s'applique : l'alcali libre total fait référence à la somme de l'alcali libre caustique et de l'alcali libre carbonaté. En général, les résultats sont indiqués en pourcentage en poids, que ce soit en hydroxyde de sodium (NaOH) pour les savons sodiques, ou en hydroxyde de potassium (KOH) pour les savons potassiques. Ils peuvent également être exprimés en milliéquivalents par gramme (ISO 684,1974).

### III.8.6. Propriétés détergentes du savon

Le savon possède des propriétés détergentes qui lui permettent de dissoudre les impuretés grasses et de les mélanger à l'eau, ce qui facilite leur élimination de la surface d'un matériau. En effet, les impuretés grasses sont hydrophobes et nécessitent un pont entre l'eau et les impuretés pour être détachées. C'est là que le savon intervient, grâce à sa partie lipophile et hydrophile qui lui permet de jouer ce rôle de pont (Smail, L. et al. 2014). Lorsqu'on applique du savon en solution aqueuse sur une surface tachée de graisse, les ions carboxylate présents dans le savon vont entourer la salissure grasse. La partie lipophile de ces ions se liera à la graisse tandis que la partie hydrophile se liera à l'eau, ce qui permettra de dissoudre la salissure et de l'éliminer de la surface du matériau (figure 20) (Yakoubi, T. *et al.* 2020).

En résumé, le savon est un excellent nettoyant grâce à sa capacité à former des ponts entre l'eau et les impuretés grasses, ce qui facilite leur élimination de la surface des matériaux.

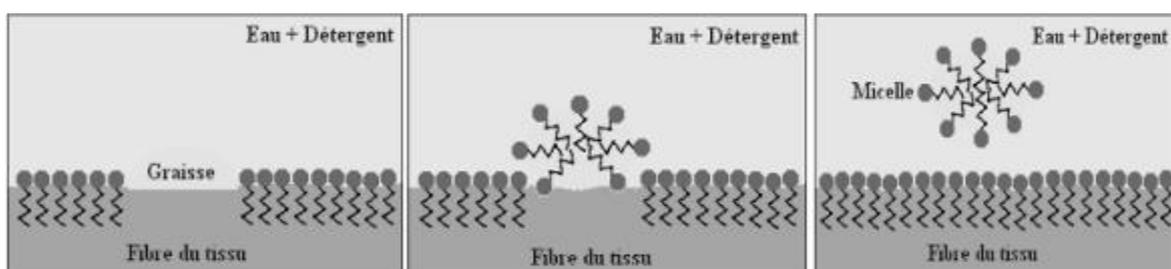


Figure 20: Des détergents dans l'eau (Yakoubi, T. *et al.* 2020)

# *Partie II :*

## *Matériel et méthodes*

Ce travail expérimental a été réalisé au cours du deuxième trimestre de l'année universitaire 2022/2023, au sein du laboratoire de pédagogie du département de Biologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre de l'Université de Ghardaïa (Algérie).

### **1. Objectif de l'étude**

Cette étude vise à évaluer la pertinence des huiles végétales usées collectées des fast-foods et des restaurants de la ville de Ghardaïa pour la production de savon ménager. Nous avons donc procédé à une analyse physico-chimique de ces échantillons d'huiles usagées, puis évalué la qualité des savons produits à partir de ces huiles en fonction de différents paramètres physico-chimiques, afin de déterminer leur adéquation pour la fabrication de savon.

## 2.Méthodologie de travail

La méthodologie utilisée dans ce travail est décrite dans la figure 21 :

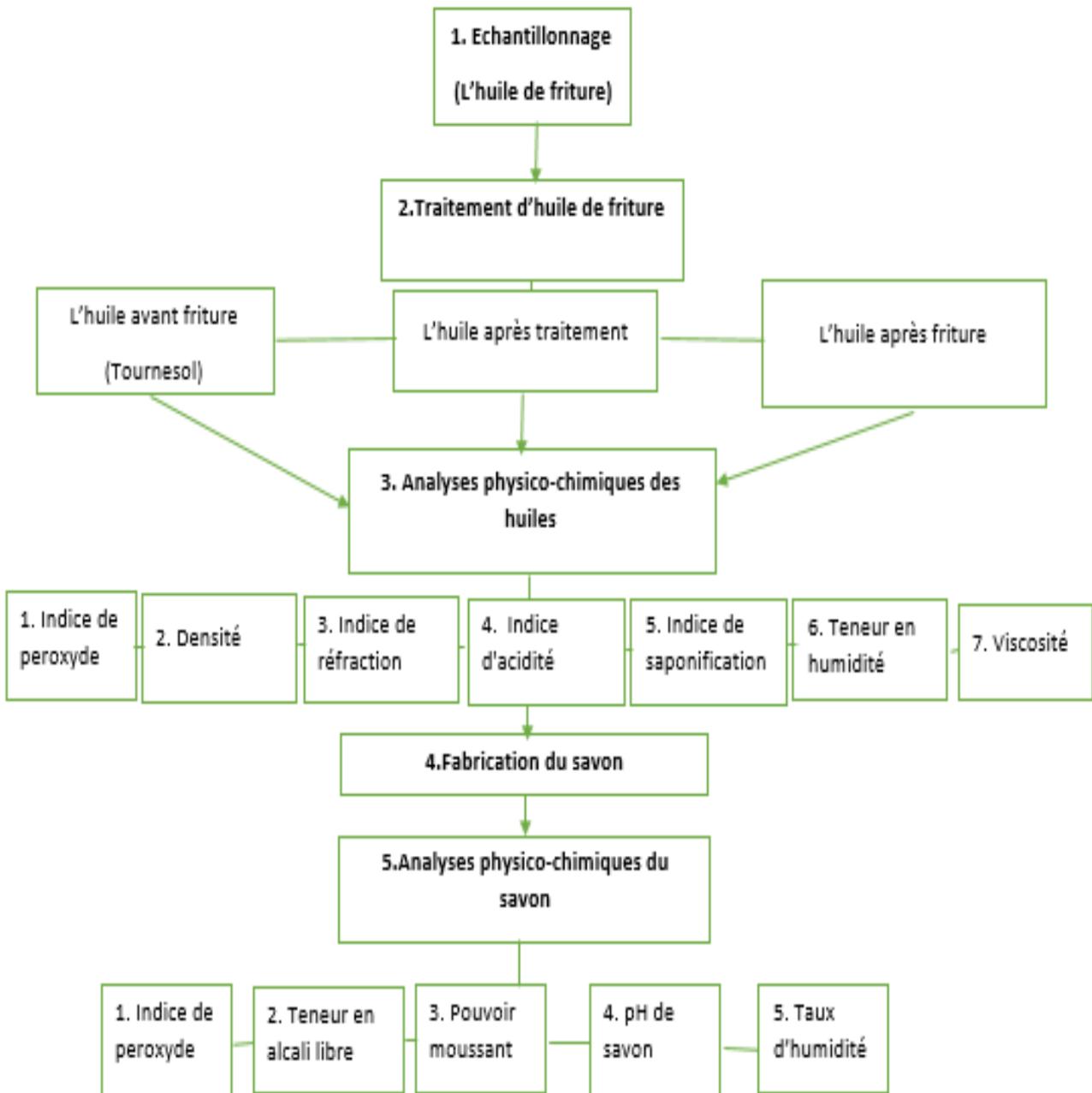


Figure 21: Protocole expérimental

### **3. Traitement et caractérisation physico-chimique des huiles**

#### **3.1. Echantillonnage (matière première)**

Nous avons prélevé un échantillon d'huile de friture usagée que nous avons filtré avec du NaCl. Nous avons ensuite réalisé des analyses au laboratoire pour étudier les variations des propriétés physico-chimiques de l'huile avant et après la friture, afin d'évaluer sa qualité à chaque étape. Des paramètres tels que la densité, la viscosité, l'indice de réfraction, l'humidité, l'indice de peroxyde, l'indice de saponification et l'acidité ont été mesurés pour déterminer l'état de l'huile et son potentiel pour la fabrication de savon.

#### **3.2. Technique de traitement des huiles**

- **Traitement chimique d'huiles alimentaires usagées : Méthode (NaCl -H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**

L'huile de cuisson utilisée a été filtrée à travers un entonnoir Buchner. Ensuite, purifier en lavant dans une ampoule à décanter contenant une solution de NaCl à 10% (100 ml) et en laissant reposer le mélange pendant 1 heure. Ensuite utiliser environ 45 g d'huile pour déterminer la quantité de solution de NaCl nécessaire pour atteindre des concentrations totales de 10% et 25%. Après 1 heure, la couche aqueuse a été séparée de l'huile. L'huile a été transférée dans un bêcher et la couche aqueuse a été jetée. Enfin, l'huile a été traitée avec 5 ml de peroxyde d'hydrogène (Azme, S. et al. 2023).

#### **3.3. Analyses physico-chimiques des huiles**

##### **3.3.1. Détermination de l'indice de peroxyde (ISO 3960,2007)**

###### **Principe**

Le principe de la méthode de mesure de l'indice de peroxyde repose sur le traitement d'un échantillon dissous dans une solution d'acide acétique et de chloroforme à l'aide d'une solution d'iodure de potassium (KI) pour libérer de l'iode. Ensuite, l'iode libéré est titré en utilisant une solution de thiosulfate de sodium en présence d'amidon en tant qu'indicateur coloré.

Selon la réaction suivante :



### Mode opératoire

Pour réaliser cette expérience, il faut peser environ 1 g d'huile et placer dans une fiole. Ajouter ensuite un mélange de solvants composé de 10 ml de chloroforme et 15 ml d'acide acétique, et agiter bien. Ajouter 1 ml d'iodure de potassium (en dissolvant 0,5 g dans 1 ml d'eau distillée) au mélange, fermer la fiole et agiter pendant 1 à 2 minutes. Placer la fiole dans l'obscurité sous une agitation magnétique pendant 5 minutes à une température comprise entre 15 et 25°C. Après cette étape, ajouter 75 ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon (qui préparé en mélangeant 0,5 g d'amidon dans une petite quantité d'eau froide, puis en ajoutant ce mélange à 50 ml d'eau bouillante et en laissant refroidir immédiatement). Agiter jusqu'à ce que la couleur devienne noire. Enfin, titre l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0,01 N) jusqu'à la décoloration. Il est recommandé d'effectuer un essai à blanc sans huile en parallèle.

### Expression des résultats

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

$$\mathbf{I_p = \frac{N \cdot (V_0 - V) \cdot 1000}{P}}$$

IP : indice de peroxyde en milliéquivalent gramme d'oxygène actif par kilogramme d'huile.

V0 : volume en ml de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  pour l'essai à blanc.

V1 : volume en ml de thiosulfate  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

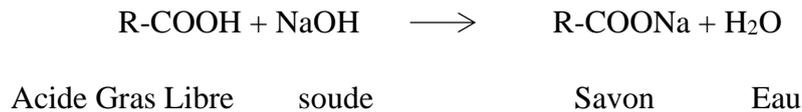
N : normalité de la  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0,01 N).

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

### 3.3.2. Détermination de l'indice d'acidité (ISO 3960,2007)

#### Principe

L'acidité est déterminée en neutralisant les acides gras libres présents dans l'huile à l'aide d'une solution de soude en présence d'un indicateur coloré, tel que la phénolphthaléine. Selon l'équation suivante :



#### Mode opératoire

Dans un erlenmeyer, ajouter 50 mL d'alcool éthylique neutralisé avec du NaOH (0,1N) et quelques gouttes de phénolphthaléine à 10 g d'huile. Le mélange est ensuite chauffé pendant une minute, puis titrer avec une solution de NaOH (0,1 N) jusqu'à ce qu'une coloration rose persistante soit obtenue.

#### Expression des résultats

$$A\% = \frac{M \cdot V \cdot N}{m * 10}$$

A% : Acidité exprimée en pourcentage.

M : Masse molaire d'acide oleique (282g/mol).

N : Normalité de NaOH (0.1N).

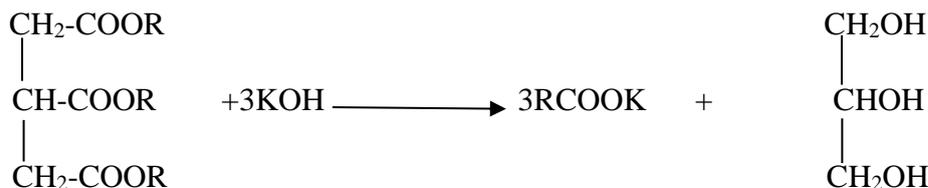
V : Volume de NaOH nécessaire au titrage(ml).

m : poids de la prise d'essai (g).

### 3.3.3. Indice de saponification (ISO 3659)

#### Principe

Le principe de la méthode de mesure de l'indice de saponification consiste à porter au reflux l'échantillon à tester avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium, suivi d'un titrage de l'excès d'hydroxyde de potassium avec une solution titrable d'acide chlorhydrique.



### Mode opératoire

Préparation de l'échantillon : Peser 2 g dans un ballon Buchi équipé d'un condenseur à reflux. Ensuite Ajouter 25 mL d'hydroxyde de potassium alcoolique (0,5 N) et chauffer l'échantillon à 80 °C pendant 1 heure et 30 minutes. Après le chauffage, laisser l'échantillon refroidir à température ambiante.

Ajouter ensuite quelques gouttes d'indicateur de phénolphtaléine pour le rendre rose. Remplissez la burette avec une solution d'acide chlorhydrique (0,5 N) et commencer à titrer jusqu'à ce que la couleur disparaisse. Assurer d'exécuter un blanc parallèle et d'enregistrer la quantité de HCl utilisée.

### Expression des résultats

La valeur de saponification peut être calculée par la formule suivante

$$\text{IS} = \frac{(\text{V0} - \text{V1}) * \text{N} * 56.1}{\text{m}}$$

IS : indice de saponification

V0 : volume d'HCl pour le titrage à blanc (en ml)

V1 : volume d'HCl pour le titrage d'échantillon (en ml)

N : normalité d'HCl

m : la masse d'échantillon (en g).

### 3.3.4. Détermination de la densité (AFNORNF606-21,1984)

#### Principe

Le principe de la méthode consiste à mesurer la densité d'un échantillon d'huile en comparant le volume d'eau et d'huile pesé dans une éprouvette de 5 ml à la même température.

### Mode opératoire

Pour prélever un échantillon d'huile, une pipette graduée de 10 mL est utilisée. L'échantillon a versé dans un bécher de 5 mL de poids connu ( $m$ ). Le bécher est ensuite placé sur une balance de précision et le poids de l'échantillon d'huile est enregistré ( $m_0$ ). La même expérience est répétée avec de l'eau distillée et le poids est également noté ( $m_1$ ) (Bouhaloufa, S. *et al.* 2018).

La densité de l'huile est ensuite calculée en utilisant la relation suivante (AFNORNFT606-21,1984) :

$$D = \frac{m_1 - m}{m_0 - m}$$

$m$  : poids de l'éprouvette vide

$m_1$  : poids de l'éprouvette pleine d'eau

$m_0$  : poids de l'éprouvette pleine d'huile

### 3.3.5. Indice de Réfraction NFT 60-212. (AFNOR, 1984)

#### Principe

En appliquant le principe de la norme AFNOR T 60-212, les mesures sont prises à une température de 20°C à l'aide du réfractomètre d'Abbe.

#### Mode opératoire

Pour mesurer l'indice de réfraction à T°C=20°C, il convient de préalablement nettoyer les prismes du réfractomètre à l'éther de pétrole, puis de les essuyer délicatement avec un chiffon propre. Ensuite, déposer entre les prismes 2 à 3 gouttes d'huile et ajuster la lunette de visée pour que la ligne de séparation entre la plage claire et la plage sombre soit alignée avec la croisée des fils du réticule. Enfin, lire l'indice de réfraction de l'huile (Gossa,F. *et al.* 2014).

### 3.3.6. Teneur en humidité (AFNOR NF T606-201,1984)

#### Principe

Le principe est de chauffer l'échantillon dans une étuve à  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 3 heures pour éliminer complètement l'humidité.

La teneur en humidité est calculée à l'aide de la formule suivante

$$H\% = \frac{(m1 - m2)}{(m1 - m0)}$$

$m_0$  : masse en gramme de bécher.

$m_1$  : masse en gramme du bécher et de la prise d'essai.

$m_2$  : masse en gramme du bécher et du résidu de la prise d'essai après chauffage.

### 3.3.7. Viscosité (ISO 3104 :2020(F))

#### Principe

Pour mesurer la viscosité des liquides, un viscosimètre est utilisé pour mesurer le temps qu'il faut à une quantité donnée de liquide pour s'écouler à travers le capillaire en verre de l'instrument sous l'influence de la gravité. Le viscosimètre est étalonné avec des charges d'entraînement reproductibles et des températures contrôlées avec précision. La viscosité cinématique est le résultat de la multiplication du temps d'écoulement mesuré par une constante d'étalonnage spécifique pour le viscosimètre.

Grâce au viscosimètre, nous pouvons évaluer avec précision la viscosité de l'huile.

## 4. Fabrication et caractérisation physico-chimique du savon

### 4.1. Echantillonnage

Après avoir procédé au traitement et à la caractérisation physico-chimique des huiles, un échantillon de savon a été produit à partir de deux méthodes différentes (à froid et à chaud) en utilisant de l'huile de friture usagée filtrée. Des analyses physiques et chimiques ont été réalisées en laboratoire pour étudier les variations des propriétés physico-chimiques du savon (à froid et à chaud) à base d'huile de friture usagée, ainsi que du savon de Marseille, dans le but de déterminer la qualité de chaque type de savon. Les paramètres mesurés comprennent l'humidité, la teneur en alcali libre total, le pH et le pouvoir moussant.

### 4.2. Procédés de fabrication du savon

Dans les procédés de fabrication du savon, les mesures ont été prises selon le tableau (5) (Félix,S. *et al.* 2017).

Tableau 5: Ingrédients et quantités utilisés dans la fabrication du savon (Félix,S. *et al.* 2017)

Formulation	Cooking oil	Olive oil	Palm oil	Coconut oil	Fresh cream	Bees wax	Soya lecithin	Water	Naoh
<b>1</b>	<b>30g (100%)</b>	-	-	-	-	-	-	<b>11.4g</b>	<b>4.05g</b>

#### 4.2.1. Méthode à froid

D'après les informations du (tableau 5) (Félix,S. *et al.* 2017), ce savon a été préparé a nécessité 30 g d'huile, 4,05 g de NaOH et 11,4 g d'eau distillée. Après a été refroidi la solution de NaOH à température ambiante, elle a été mélangée avec de l'huile à l'aide d'un mélangeur pour atteindre une consistance de type pudding. Le mélange a ensuite été versé dans des moules en silicone et laissé sécher pendant 24 heures. Le savon a ensuite été retiré du moule, placé sur du papier filtre et vieilli à l'extérieur pendant 4 semaines. L'huile de friture était utilisée comme matière première dans la fabrication de ce savon (Antonic, B. *et al.* 2020).

### 4.2.2. Méthode semi-chaude

D'après les informations, la graisse (30g d'huile) doit être chauffée à 55°C-70°C pour accélérer la réaction alcali-graisse. Ajouter ensuite petit à petit la solution contenant une base alcaline (4.05g de NaOH et 11.4g d'eau distillée) nécessaire à la saponification et mélanger bien. La réaction génère de la chaleur et le mélange peut atteindre des températures supérieures à 90°C. Par conséquent, il est important de refroidir le mélange à une température d'environ 60 °C et de le réfrigérer pendant 24 à 36 heures avant de verser le savon dans le moule (Kone S. 2000 ; Myagmar, A. *et al.* 2022).

## 4.3. Analyses physico-chimiques du savon

### 4.3.1. Détermination de la teneur en alcali libre total des savons (ISO 684,1974)

#### Principe

Le principe de cette méthode consiste en la dissolution du savon dans une solution éthanolique, suivie de la neutralisation de l'alcali libre à l'aide d'une solution d'acide sulfurique dont la quantité en excès est connue et mesurée en titrant en retour avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium.

#### Mode opératoire

Tout d'abord, l'éthanol doit être neutralisé à l'aide d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium d'environ 0,1 N en présence de phénolphtaléine. Ensuite, une prise d'essai de 5 g de savon râpé doit être introduite dans un erlenmeyer de 250 ml et 100 ml d'éthanol neutralisé doit être ajouté. Le mélange doit ensuite être agité et chauffé jusqu'à ce que le savon soit complètement dissous. Le titrage peut alors commencer en ajoutant de l'acide sulfurique 0,1 N au mélange jusqu'à ce que la teinte rose de la phénolphtaléine disparaisse. Le volume de l'acide sulfurique nécessaire pour atteindre l'équivalence, noté V1, doit être noté. Au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement et un premier point d'équivalence peut être observé aux environs de pH 8,3.

La valeur de teneur en alcali libre total peut être calculée par la formule suivante :

$$\text{Alcali \%} = \frac{V.N}{10.P} \cdot E$$

V : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
N : normalité d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N  
Eq : équivalent grammes NaOH=40g  
PE : prise d'essai

#### **4.3.2. Taux d'humidité**

Le même processus décrit précédemment pour l'analyse des matières premières est utilisé pour mesurer le taux d'humidité dans le savon, en remplaçant simplement les corps gras par ce dernier.

#### **4.3.3. Détermination du pH de savon**

##### **Principe**

Le principe de préoccupation actuelle concernant le savon est lié à son pH, qui mesure la concentration d'ions H<sup>+</sup> dans une solution aqueuse et permet d'évaluer son niveau d'acidité ou de basicité, sur une échelle de 0 à 14. La peau humaine ayant un pH moyen de 5,5, qui est légèrement acide, la plupart des savons sont fabriqués avec un pH basique, supérieur à 7 (Saadoudi Hadjer, A. *et al.* 2022).

##### **Mode opératoire**

Le pH a été mesuré avec un pH-mètre après dissolution de 0,5 g de savon dans 150 ml d'eau distillée, agitation avec un agitateur pendant 2 minutes (Bennama, W. 2016 ; Hassi, A. 2017).

#### **4.3.4. Détermination du pouvoir moussant (ISO 696, 1975)**

##### **Principe**

Le pouvoir moussant est mesuré en termes de quantité de mousse produite dans des conditions expérimentales spécifiques, tandis que la variation du volume de mousse est enregistrée au cours des cinq premières minutes suivant sa formation.

##### **Mode opératoire**

Le protocole opératoire consiste à placer une quantité de lessive dans un tube, puis à y ajouter de l'eau distillée avant de bien agiter le mélange, ce qui entraîne la formation de mousse.

# *Partie III :*

## *Résultats et Discussion*

### 1. Traitement chimique d'huiles alimentaires usagées

La figure 22 présente les résultats du test de traitement d'huile pour notre échantillon l'huile de friture.



Figure 22: Résultats du traitement chimique d'huiles alimentaires usagées par la méthode (NaCl et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Photos originales, 2023)

D'après nos résultats nous avons observé de différence légère de clarification d'huile après sa purification avec NaCl et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figure 22), selon (Maotsela, T. et al. 2019) le lavage de l'huile de friture usagée avec de l'eau salée améliore sa qualité et prévient la contamination. Cependant, l'ajout de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) peut améliorer la couleur de l'huile végétale en la rendant plus claire. La décoloration se produit grâce à l'action du peroxyde d'hydrogène sur certains pigments présents dans l'huile, ce qui libère de l'oxygène.

## 2. Analyses physico-chimiques des huiles

### 2.1. Indice de peroxyde

La figure 23 présente les résultats d'indice de peroxyde pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

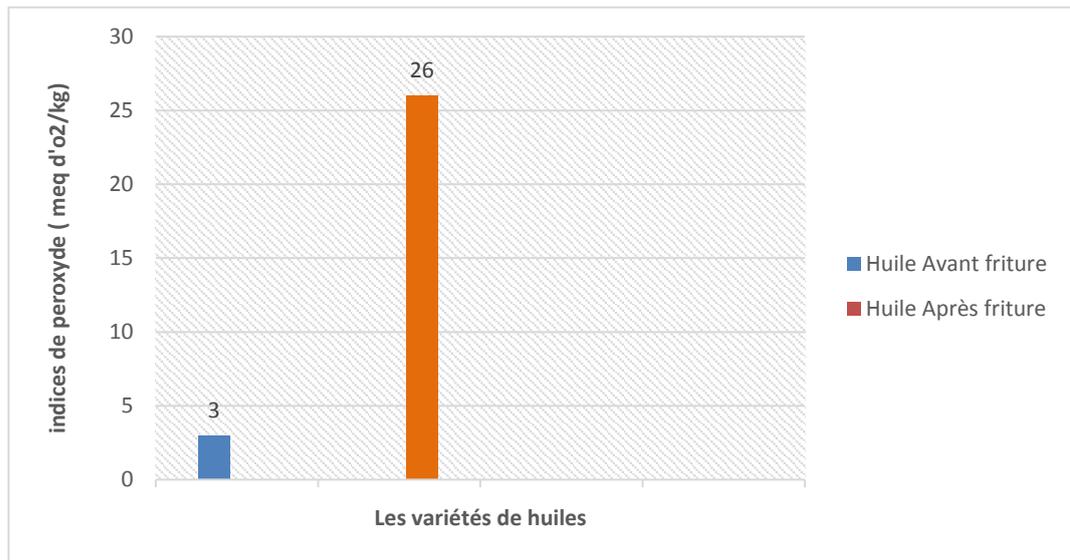


Figure 23: Indice de peroxyde d'huile utilisée comparé à l'huile fraîche (huile avant friture)

La figure 23 montre une augmentation significative de l'indice de peroxyde des huiles de friture après la friture, passant de 3 (meq O<sub>2</sub>/Kg) à 26 (meq O<sub>2</sub>/Kg).

Selon les résultats d'une étude menée par (Ighil et Mani, 2016), les valeurs de l'indice de peroxyde de l'huile fraîche respectaient la norme ISO 3960, avec une valeur maximale de 10 meq d'O<sub>2</sub>/kg d'huile. La valeur obtenue dans cette étude était de 3 meq O<sub>2</sub>/kg d'huile.

Cependant, l'indice de peroxyde est un indicateur important de l'oxydation des lipides et est souvent utilisé pour évaluer la qualité des graisses. À des températures élevées, les peroxydes se décomposent et forment des produits d'oxydation secondaire pendant le refroidissement. Cela entraîne une augmentation de l'indice de peroxyde en fonction du nombre de cycles de friture, comme le conclut l'étude de (Park, *et al.* 2016).

En conséquence, lorsque les acides gras de l'huile subissent une réaction de peroxydation, cela peut entraîner la formation de composés très toxiques qui rendent l'huile inappropriée pour la consommation humaine. Par conséquent, cette huile est considérée comme étant impropre à la consommation et doit être éliminée en tant que déchet (Kara, *et al.* 2021).

## 2.2. Indice d'acidité

Les résultats de l'indice d'acidité de l'échantillon d'huile avant et après la friture, sont présentés dans la figure 24.

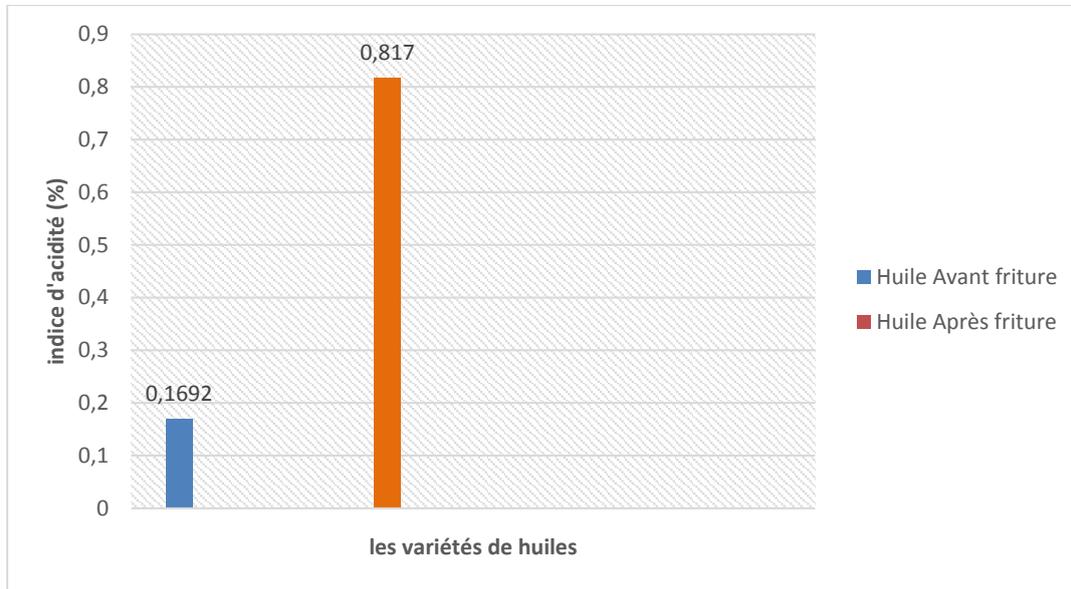


Figure 24: Indice d'acidité d'huile utilisée comparé à l'huile fraîche (avant friture)

Les résultats obtenus dans la figure 24 montrent une augmentation de l'Indice d'acidité des huiles de friture de 0,16% à 0,81% après la friture.

Cependant, il convient de noter que la valeur avant la friture "huile fraîche" a une acidité de  $0,15 \pm 0,01\%$  ce qui correspond à la norme algérienne (NA 1169 - 1990) avec une acidité maximale de 0,20% selon une étude de (Kouidri, S. *et al.* 2020)

Selon une étude de (Park, J. *et al.* 2016), l'indice d'acidité a tendance à augmenter avec le nombre de cycles de friture, indépendamment du type d'huile, ce qui indique que les changements oxydatifs dans les différentes graisses culinaires sont fortement influencés par leur composition chimique. Les composés de dégradation mineure, quant à eux, varient en fonction de la durée de friture et du type d'huile.

### 2.3. Indice de saponification

La figure 25 présente les résultats d'indice de saponification pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

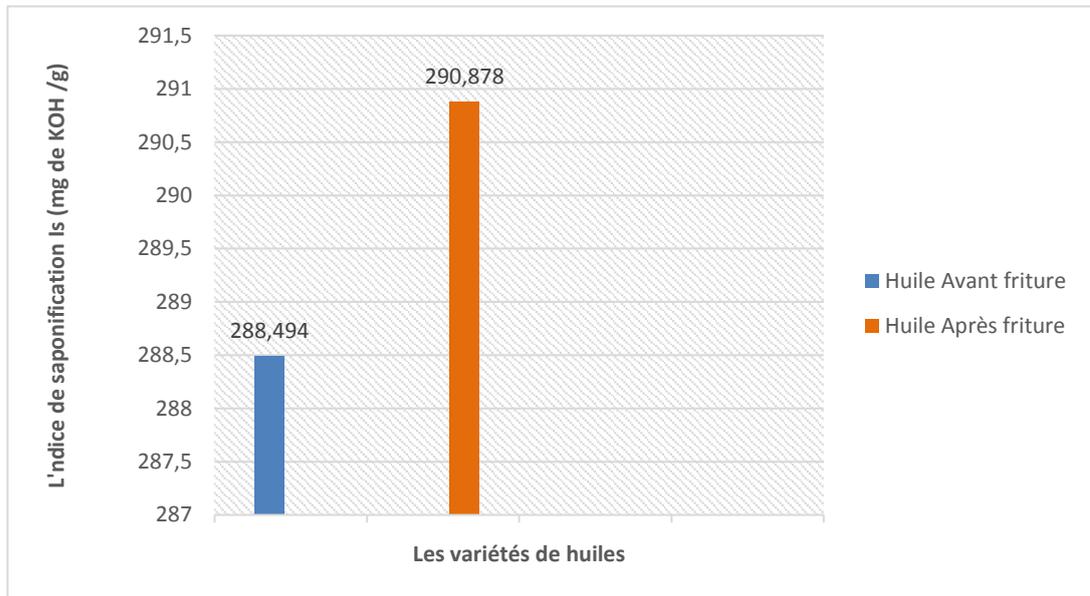


Figure 25: Indice de saponification d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture)

Selon la figure présentée 25, l'indice de saponification des huiles raffinées. A légèrement augmenté après la friture, passant de 288,49 mg KOH/g MG avant la friture à 290,87 mg KOH/g MG après la friture.

Cependant, il convient de noter que la valeur d'indice de saponification avant la friture dépasse la norme fixée par le 'Codex STAN 210-1999' pour les huiles raffinées. Selon une étude (Ahmed, K. *et al.* 2020), cette différence peut être attribuée à divers facteurs tels que la méthode d'extraction utilisée, l'origine et la durée de stockage des graines.

En outre, une étude menée par (Abiodun, G. *et al.* 2020) suggère que l'indice de saponification élevé après la friture peut indiquer un poids moléculaire moyen plus élevé de l'acide gras ou le nombre de liaisons ester. Cela peut indiquer une interaction entre les molécules de graisse. L'analyse a montré une augmentation générale de la valeur de saponification pendant le processus de chauffage, atteignant une valeur de 252,33 mg KOH/g, indique que les huiles sont très utiles et démontre un fort potentiel d'utilisation dans la fabrication de savon liquide et de shampooing. La valeur de saponification permet d'estimer le nombre d'équivalents ester par unité de masse de l'huile.

## 2.4. Densité

La figure 26 présente les résultats de la densité pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

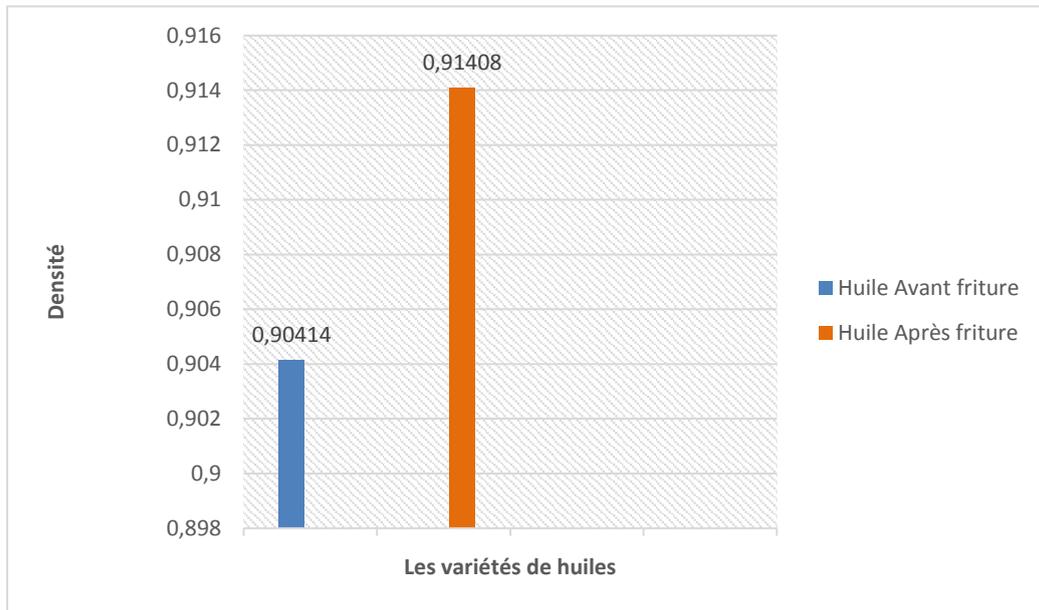


Figure 26: Densité d'huile utilisée comparée à l'huile fraîche (avant friture)

Les résultats (figure 26) montrent que la densité de l'huile a augmenté légèrement après la friture, passant de 0,90 à 0,91, ce qui est cohérent avec l'étude menée par (Kouidri, S. *et al.* 2020). Selon cette étude, la gravité spécifique moyenne des huiles raffinées fraîches les plus couramment utilisées et commercialisées est de  $0,907 \pm 0,003$ , ce qui est inférieur aux limites minimales de la norme Codex Alimentarius (1999) de 0,91 à 0,92. Durant les essais de fritures, ces valeurs ont changé. La densité d'une huile, déterminée par sa composition chimique et sa température, peut être utilisée pour estimer sa pureté. Ceci est influencé par un certain nombre de facteurs, notamment la composition unique de l'huile, la longueur des chaînes d'hydrocarbures et l'insaturation des acides gras présents. De plus, l'oxydation ou la polymérisation de l'huile peut également affecter sa densité. En général, les densités d'acides gras et de glycérides ont tendance à diminuer à mesure que le poids moléculaire diminue et que l'insaturation augmente.

## 2.5. Indice de Réfraction

La figure 27 présente les résultats d'indice de réfraction pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

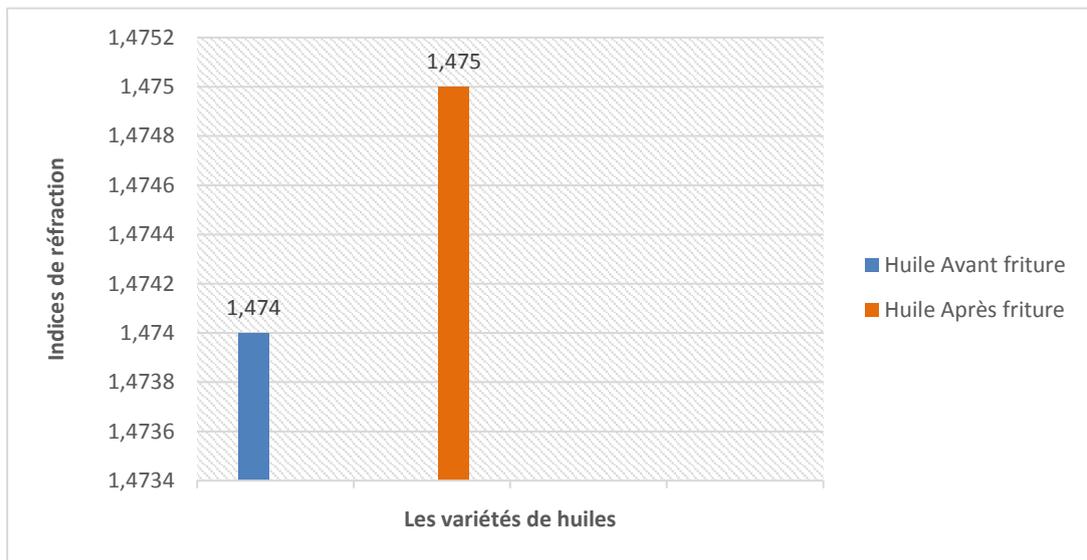


Figure 27: Indice de réfraction d'huile utilisée comparé à l'huile fraîche (avant friture)

La figure 27 présentée une légère augmentation de l'indice de réfraction avant et après la friture, passant de 1,474 à 1,475 après friture. Selon le CODEX ALIMENTARIUS, cette valeur d'indice de réfraction ( $1,474 \pm 0,001$ ) est considérée comme acceptable.

D'après une étude menée par (Novidzro, K. *et al.* 2019), l'indice de réfraction d'une huile est utilisé comme un indicateur de sa pureté. Il peut varier en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente et de la température lors de l'analyse. Cet indice est influencé par le poids moléculaire et le degré d'insaturation des acides gras.

## 2.6. Teneur en humidité

La figure 28 présente les résultats d'humidité pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

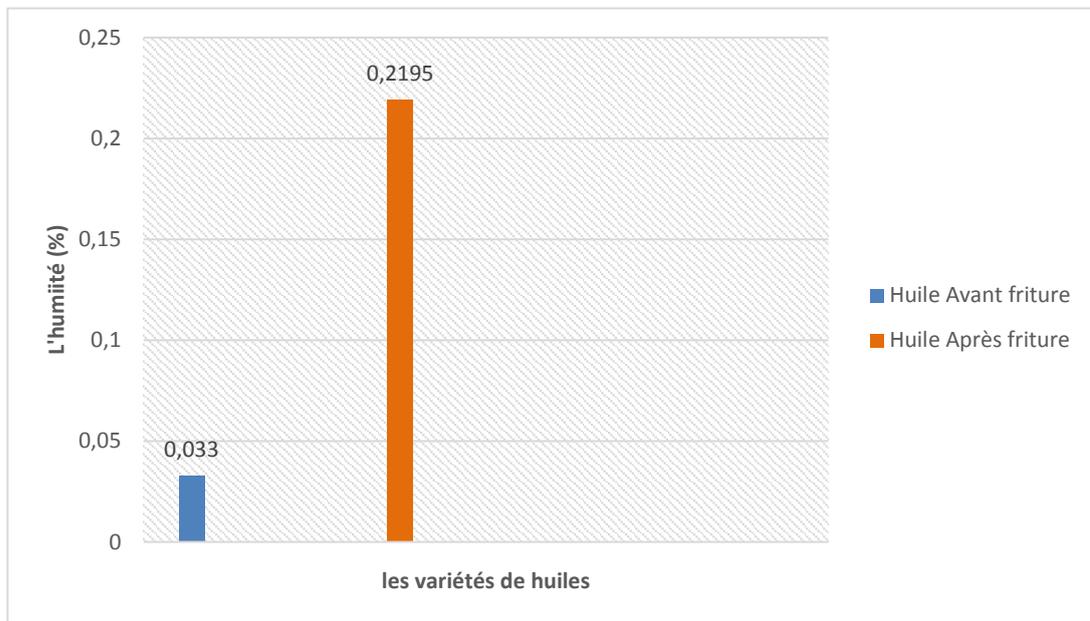


Figure 28: Teneur en humidité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture)

Les résultats (figure 28) montrent que l'humidité de l'huile a augmenté après la friture, passant de 0,03% à 0,29%, ce qui est cohérent avec l'étude menée par (Aggar, C. 2019) Selon les directives du CODEX ALIMENTARIUS (1992) les huiles raffinées fraîches doivent être exemptes d'humidité, y compris de traces. Lors du traitement technique, notamment lors de l'étape de désodorisation, l'humidité contenue dans le pétrole brut est éliminée. L'augmentation de la teneur en humidité a été observée dans l'huile de friture par rapport à l'huile fraîche. Cette différence pourrait être attribuée au temps de refroidissement prolongé qui a favorisé l'humidification du bain, la méthode de cuisson ou la teneur en humidité différente des pommes de terre utilisées dans ces études.

## 2.7. Viscosité

Figure 29 présente les résultats de la viscosité (mPa.s) pour notre échantillon d'huile avant et après la friture.

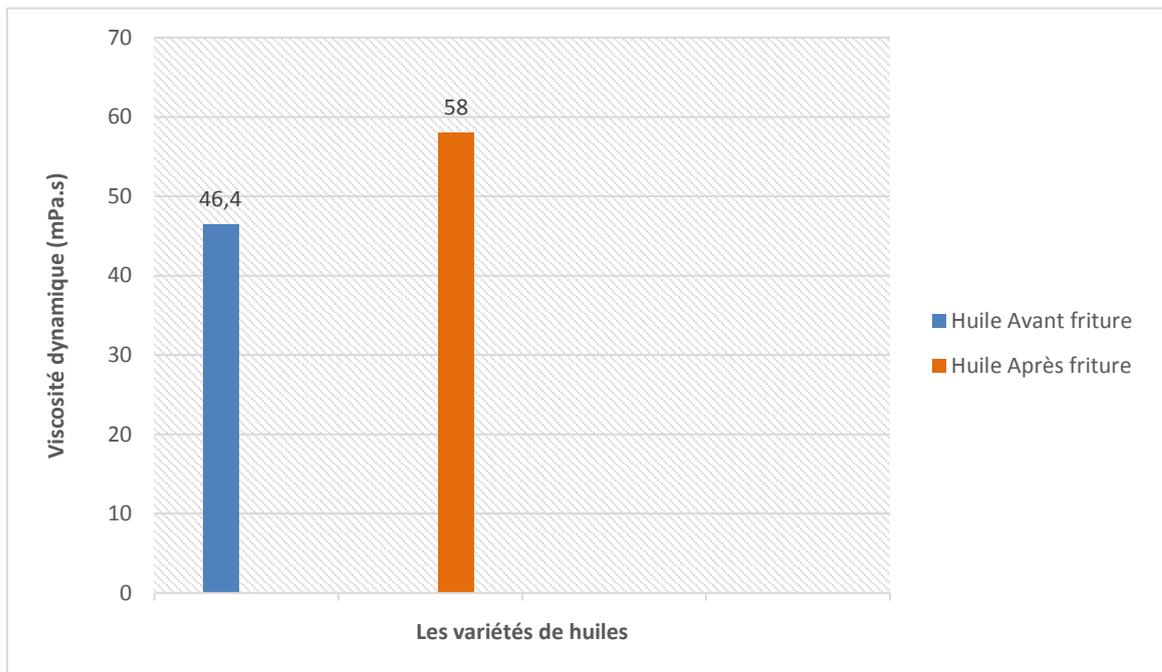


Figure 29: Viscosité d'huile usée comparé à l'huile fraîche (avant friture)

Les résultats ci – dessus (figure 29) montrent que la viscosité de l'huile a augmenté après la friture, passant de 46,4 mPa.s à 58,0 mPa.s, ce qui est cohérent avec l'étude menée par (Abiodun en 2020). Selon cette étude, l'augmentation de la viscosité est due à la formation de polymères, dimères et oligomères, ainsi qu'à la décomposition des triglycérides en acides gras libres et mono et diglycérides. Ces composés ont une viscosité plus élevée que les triglycérides d'origine, ce qui contribue à l'augmentation de la viscosité de l'huile après la friture. En outre, la présence de résidus alimentaires dans l'huile et la formation de composés d'oxydation peuvent également augmenter la viscosité de l'huile après la friture.

### 3. Procédés de fabrication du savon

Les résultats de la fabrication de savons à froid et à semi-chaud sont présentés dans la figure 30.

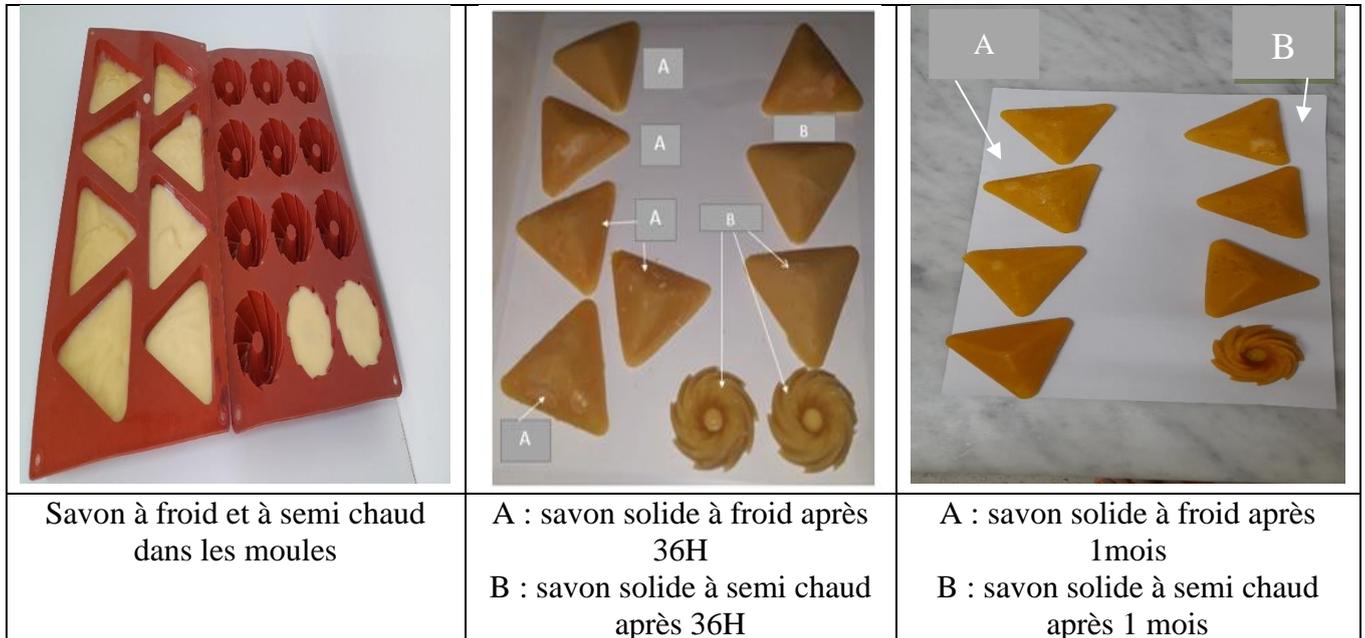


Figure 30: Résultats des savons préparés (à froid / à semi-chaud)

Après la phase initiale de séchage (24H à 36H), le savon prend une consistance semi-solide. Ensuite, il est laissé à sécher pendant 4 semaines avant d'être utilisé sous forme de savon fini (Ahmed, K. 2020).

## 4. Analyses physico-chimiques du savon

### 4.1. Teneur en alcali libre total

La figure 31 présentée illustre les résultats des mesures de la teneur en alcali libre de notre échantillon de savon fabriqué à froid et à semi-chaud, ainsi que du savon Marseille utilisé comme témoin.

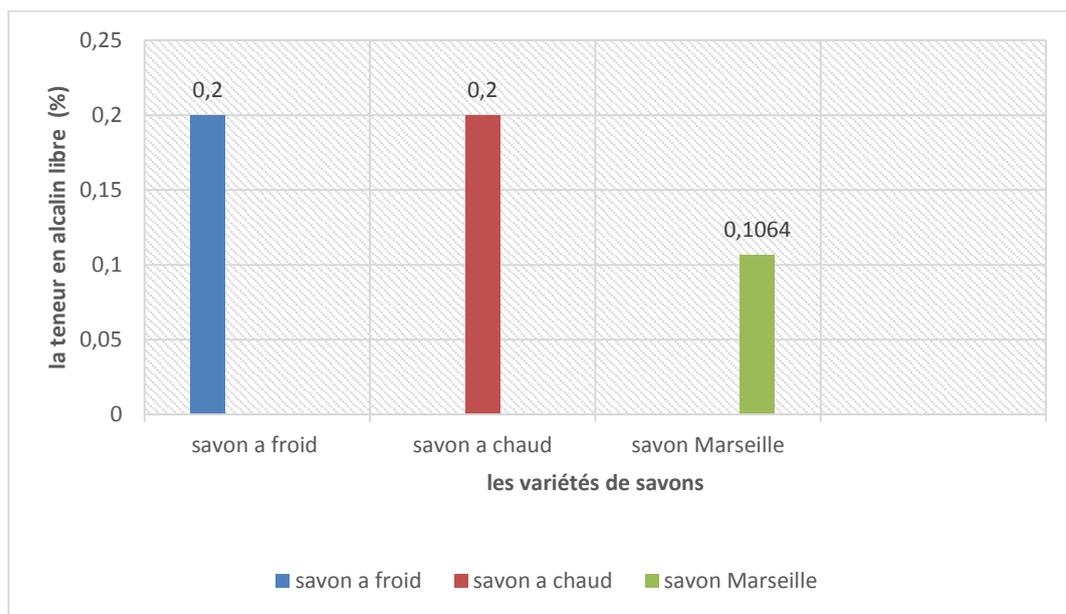


Figure 31: Comparaison de la teneur en alcali total libre entre les savons et le savon de Marseille

D'après les résultats obtenus (figure 31), il a été observé que les niveaux d'alcali total libre sont similaires pour le savon à froid et le savon semi-chaud, avec une teneur de 0,20% pour chacun. Le savon de Marseille présente une teneur plus faible de 0,10%. L'études (Idoko, O. *et al.* 2018) ont rapporté des valeurs allant de 0,06% à 0,22% pour les savons. Toutefois, ces résultats se situent dans la plage des normes internationales en matière de sécurité pour les produits de soins personnels, avec un maximum de 5% selon le Bureau of Indian Standards (BIS) et de 2% selon la spécification ISO.

Une autre étude (Ogunsuyi, H. *et al.* 2012) a souligné que la soude libre est un paramètre qui peut déterminer l'abrasivité d'un savon en raison d'une saponification incorrecte ou incomplète. La valeur recommandée pour la soude libre est de 0,25% pour les savons de lessive et de 0,20% pour les savons de toilette. En somme, les niveaux d'alcali libre dans les

savons sont généralement conformes aux normes internationales en matière de sécurité pour les produits de soins personnels.

#### 4.2. Teneur en humidité

La figure 32 présente les résultats Le taux d'humidité pour notre échantillon de savon à froid et à semi-chaud, ainsi que pour le savon Marseille utilisé comme témoin.

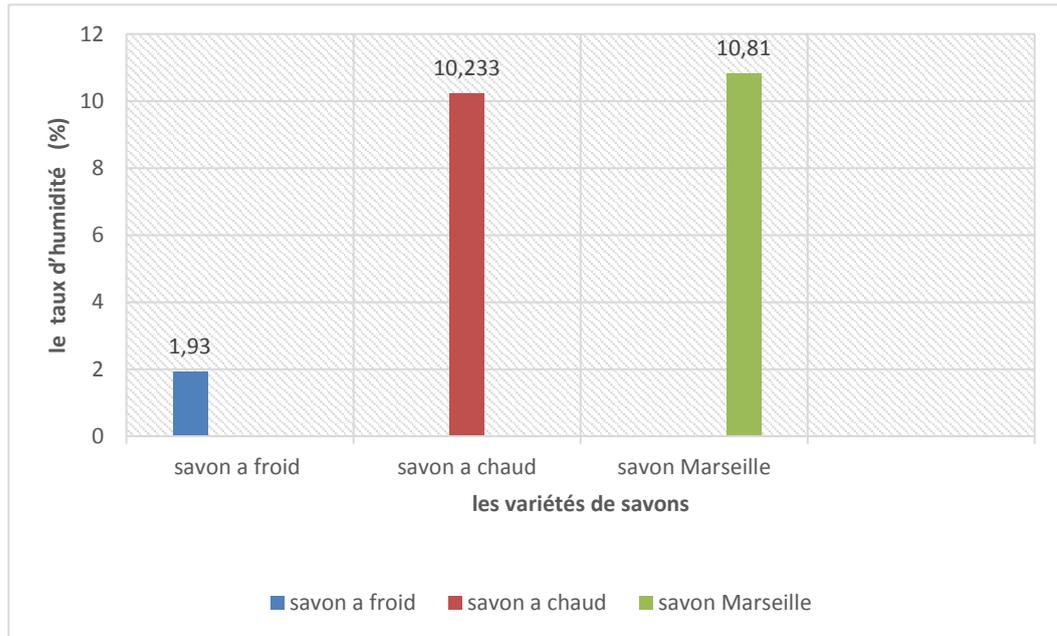


Figure 32: Comparaison de la Teneur en humidité entre les savons et le savon de Marseille

Selon la figure 32, l'étude indique que la teneur en humidité du savon à froid est très faible, à 0,50%, tandis que celle du savon semi-chaud et du savon de Marseille est plus élevée, à respectivement 10,23% et 10,81%. Selon (Vivian,O. *et al.* 2014), une teneur en humidité élevée peut causer une réaction appelée hydrolyse du savon, où l'excès d'eau réagit avec la graisse non saponifiée pour produire de l'acide gras libre et du glycérol. Cependant, les différences de résultats entre cette étude et les études antérieures peuvent être attribuées aux différences dans les méthodes de préparation du savon.

### 4.3. pH

La figure 33 présente les résultats du test de pH pour notre échantillon de savon à froid et à semi-chaud, ainsi que pour le savon Marseille utilisé comme témoin.

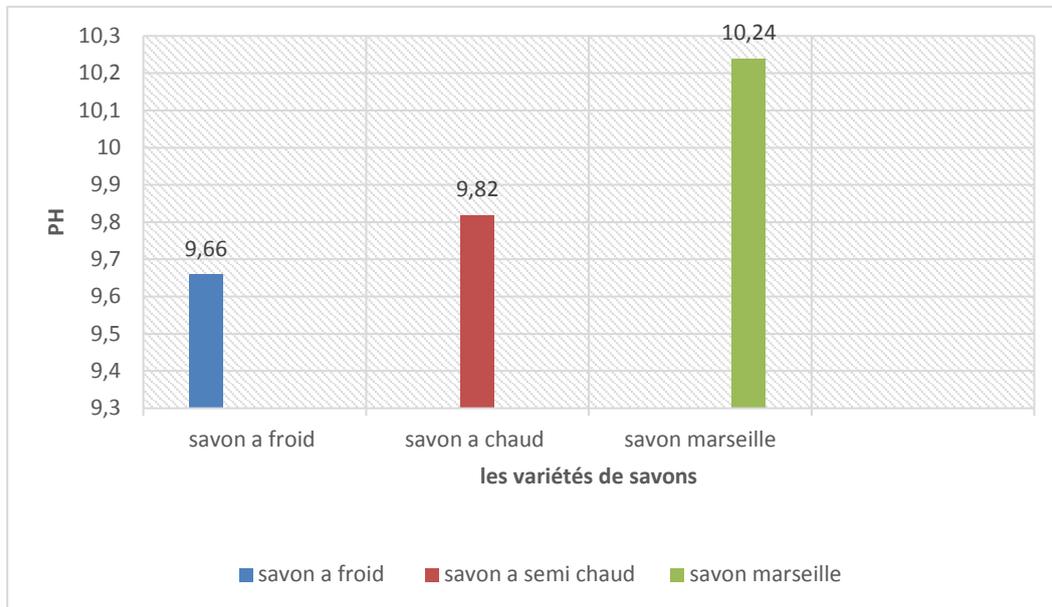


Figure 33: Comparaison de pH entre les savons et le savon de Marseille

D'après les résultats obtenus dans la figure 33, il est observé que la valeur de pH de notre échantillon de savon est de 9,66 à froid et de 9,82 à semi-chaud, ce qui est proche de celle du savon Marseille (pH=10,24). Selon (Azme. *et al* 2023), ces valeurs sont conformes aux normes des savons, qui ayant un pH alcalin se situant entre 8 et 10, possèdent la propriété de se solidifier et d'agir comme agent nettoyant. Sachant que tout savon dont le pH est supérieur à 11 peut causer des irritations cutanées, tandis qu'un savon dont le pH est inférieur à 8 n'a pas la capacité de nettoyer efficacement.

#### 4.4. Pouvoir moussant

La figure 34 présente les résultats de pouvoir moussant du savon à froid et à semi-chaude et savon témoin Marseille.

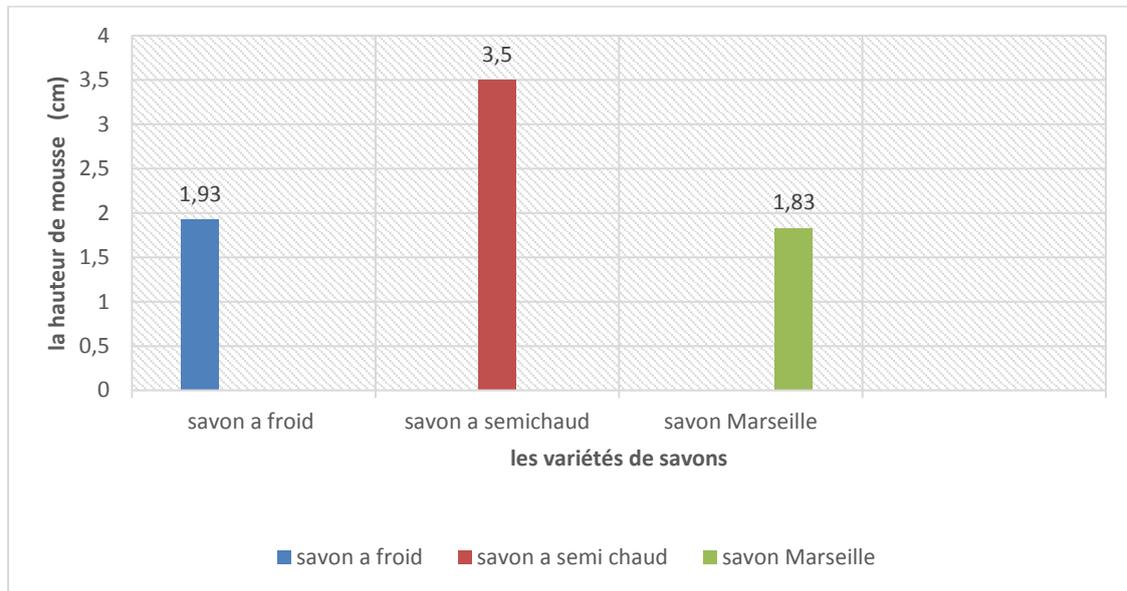


Figure 34: Comparaison de Pouvoir moussant entre les savons et le savon de Marseille

D'après les résultats obtenus dans la figure 34, il est observé que la valeur de pouvoir moussant de notre échantillon de savon est de 3,50cm à semi-chaude et de 1,93cm à froid, ce qui est proche de celle du savon Marseille 1,83cm. Selon (Awang, R. *et al.* 2001), le moussage est une caractéristique importante des détergents, principalement en raison de l'action des tensioactifs. Deux caractéristiques importantes de la mousse sont sa vitesse de formation et sa stabilité.

*Conclusion et  
Perspectives*

## **Conclusion et perspectives**

En conclusion, cette étude a montré que les huiles végétales usées peuvent être récupérées et utilisées efficacement pour la fabrication de savon en utilisant les méthodes à froid et semi-chaude. Les résultats ont montré que les paramètres physico-chimiques des huiles ont été modifiés après la friture, il a été constaté que les indices de peroxyde et d'acidité des huiles de friture ont augmenté, tandis que la densité, la viscosité et la teneur en humidité ont également augmenté. Mais cela n'a pas eu d'effet significatif sur la qualité du savon produit. En ce qui concerne la fabrication du savon, les résultats ont montré que la méthode semi-chaude et la méthode à froid étaient toutes deux efficaces pour produire du savon de qualité comparable au savon de Marseille. Cependant, Les niveaux d'alcali libre étaient similaires pour le savon à froid et le savon semi-chaud, avec une teneur de 0,20% pour chacun, tandis que le savon de Marseille présentait une teneur plus faible de 0,10%. La teneur en humidité du savon à froid était très faible, à 0,50%, tandis que celle du savon semi-chaud et du savon de Marseille était plus élevée. La valeur de pH et le pouvoir moussant de l'échantillon de savon testé étaient similaires à ceux du savon de Marseille.

Cette étude montre le potentiel d'utilisation des huiles végétales usées pour la fabrication de savon, ce qui offre une alternative écologique à l'utilisation de graisses animales. Pour améliorer cette pratique, des études supplémentaires pourraient être menées :

- Pour évaluer l'efficacité de différentes méthodes de purification des huiles.
- Ainsi que pour évaluer la qualité du savon fabriqué à partir d'un mélange de différentes huiles usées.
- De plus, il pourrait être intéressant d'explorer l'utilisation de ces huiles pour la production d'autres produits de soins personnels, tels que les shampooings et les lotions pour le corps.
- Enfin, des études pourraient être menées pour évaluer l'impact environnemental de l'utilisation d'huiles végétales usées pour la fabrication de savon.

*Références*

*Bibliographiques*

## Références bibliographiques

**Abdelkrim, F., Bournine, S., & Smail, L. (2019).** Élaboration D'une Lessive Liquide À Base De Savon [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Abdelli, N. & Benamara, K. & Guendouze, N. (2020).** Effet De La Friture Sur La Qualité Physico-chimique Des Huiles Végétales [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Abdelli, N., Benamara, K., & Guendouze, N. (2020).** Effet De La Friture Sur La Qualité Physico-chimique Des Huiles Végétales [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Adjibi, A. G. A., Saizonou, M. V. M. K., Koudoro, Y. A., Agbangnan-Dossa, C. P., & Youssao Ak, A. (2022).** Formulation de savon antiseptique à partir d'extraits de quelques plantes utilisées au Bénin pour le traitement des affections cutanées.

**Aggar, C. (2019).** Effet du mode de friture à la poêle sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile commercialisée « elio » [Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Ahlfarzi. (2012).** Synthèse et caractérisation de nouveaux phospholipides fluorescents et électroactifs [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal].

**Ahmed, K. R., Tounsi, H., & Kirdi, R. (2020).** Formulation et caractérisation physico-chimique d'un savon naturel à froid à base d'huiles végétales [Thèse de Doctorat, Université De Medea].

**Aïssi, V. M., Soumanou, M. M., Tchobo, F. P., & Kiki, D. (2009).** Etude comparative de la qualité des huiles végétales alimentaires raffinées en usage au Bénin. Bulletin d'Informations de la Société Ouest Africaine de Chimie, 6, 25-37.

**Alili, D., Brahim, O., & Doumandji, A. (2022).** Obtention Et Caractérisation Physicochimique Et Chromatographique De L'huile Essentielle Des Graines De Foeniculum Vulgare Mill. (Fenouil Sauvage) [Articles Scientifiques Et Publications, Université Saad Dahleb - Blida].

**Allouache, B., & Issaadi, H. (2014).** Etude de la glycérine et suivi de l'évolution des analyses physico-chimiques [Thèse de Doctorat, Université de bejaia].

**Aluyor, E. O., & Ori-Jesu, M. (2008).** The use of antioxidants in vegetable oils—A review. *African Journal of Biotechnology*, 7(25).

**Amal, E. (2019).** Valorisation des huiles de friture en savon [Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah].

**Antonić, B., Dordević, D., Jančíková, S., Tremlova, B., & Kushkevych, I. (2020).** Physicochemical characterization of home-made soap from waste-used frying oils. *Processes*, 8(10), 1219.

**Antonic, B., Tesikova, K., Jancikova, S., Dordevic, D., & Tremlova, B. (2020).** Used palm oil as material in the soap production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 68(2), 509-516. doi :10.11118/actaun202068020509

**Aouchar, K. & Guermache, B. (2017).** Valorisation Des Huiles De Friture Usagées En Biodiesel Par La Réaction De Transesterification [Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira].

**Ayad, R., Khelaifia, A., Mellit, Z., & Idoui, T. E. (2008).** Influence de la thermooxydation sur la qualité des huiles de friture. Evaluation de leur toxicité et les bienfaits des alicaments (Thèse de Doctorat, Université de Jijel).

**Ayerdi-Gotor, A., Berger, M., Labalette, F., Centis, S., Eychenne, V., Daydé, J., & Calmon, A. (2008).** Variabilité des teneurs et compositions des composés mineurs dans l'huile de tournesol au cours du développement du capitule-Partie II-Phytostérois. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 15(6), 400-406.

**Azme, S. N. K., Yusoff, N. S. I. M., Chin, L. Y., Mohd, Y., Hamid, R. D., Jalil, M. N., ... & Zain, Z. M. (2023).** Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer through community service learning. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100084.

**Belhamel, K., Belkofsi, N., & Saidi, C. (2021).** Contribution à l'étude des procédés d'élaboration de savon antibactérien à base de quelques huiles végétales [Thèse de Doctorat, université Abderahmene Mira. Bejaia].

**Belhamel, K., Nait Mohand, S., & Sebkhil, H. (2020).** Procédés d'Elaboration du Savon Antibactérien. Recherche bibliographique et Essais de fabrication [Thèse de Doctorat, université Abderahmene Mira. Bejaia].

**Belkofsi, N., Saidi, C., & Belhamel, K. (2021).** Contribution À L'étude Des Procédés D'élaboration De Savon Antibactérien À Base De Quelques Huiles Végétales [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Benammar, W. (2017).** Contribution À L'étude De La Qualité De L'huile D'argania Spinosa De Tindouf (algérie) Par Des Méthodes Physicochimiques [Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen].

**Benhamou, K. (2017).** Évaluation De La Qualité Des Huiles De Bains De Fritures Des Fastfoods De La Ville D'azeffoune. [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Benmoussa, H. & Chaia, Z. (2020).** Valorisation D'un Sous -produit De La Variété De Dattes « Ghars » Par Son Incorporation Dans La Fabrication Du Savon Dans La Région Du Souf [Mémoire de Master, Université Hamma Lakhdar - Eloued].

**Bennama, W. (2016).** Etude de la rémanence d'un savon additionné à l'huile essentielle de citron (*Citrus limon*) [Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem].

**Bensalem, G. (2015).** L'huile de lentisque (*Pistacia lentiscus L.*) dans l'Est algérien : caractéristiques physico-chimiques et composition en acides gras. [Mémoire Magister, université constantine].

**Bentouati, Y., & Ait Ahmed, N. (2019).** Contribution à l'étude de l'influence des fritures sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja [Thèse de Doctorat, université Abderrahmane Mira-Bejaia].

**Blibek, A. & Khider, S. (2016).** Impact Des Huiles Alimentaires Usagées Sur L'environnement Et Essai De Leur Valorisation [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Bontemps, V. (2009).** L'industrie du savon à Naplouse : mémoire et identité locale. In La mémoire, outil et objet de connaissance (pp. 213-235). Aux Forges de Vulcain

**Bouchama, A. & Lamrani, A. (2017).** Traitements Et Valorisation Des Déchets Graisseux [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Bouchemal, C. & Bouraoui, R. & Roula, L. & Ldoui, T. (2008).** Contrôle De La Qualité De L'huile D'olive Vierge : Influence De La Région [Autre, Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel].

**Boué, A. (2015).** Savons : recettes à faire soi-même. Rustica éditions. (Pp. 11-13).

**Bouguermouh, D. & Sadoun, S. & Boukehil, G. (2021).** Enrichissement De L'huile D'olive Par Un Corps Gras. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Bouhadad, F. & Imrahene, N. (2018).** Effet De Rapport Frites / Volume Sur La Qualité De L'huile « Labelle » Pendant Des Fritures Répétées. [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Bouhaloufa, S. & Mouder, N. (2018).** Evaluation De La Qualité Des Huiles De Bains De Fritures Des Fastfoods De La Ville D'azazga. [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Bourachouche, K. & Boudei, A. & Bouariche, Z. (2017).** Caractérisation Physico-chimique Des Huiles Végétales Alimentaires. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Bourachouche, K. & Boudei, A. & Bouariche, Z. (2017).** Caractérisation Physico-chimique Des Huiles Végétales Alimentaires. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Brahiti, S. & Dahmana, Z. & Mekhoukhe, A. (2018).** Revalorisation Des Sous-produits De Raffinage Des Huiles Végétales : Cas Des Pâtes De Neutralisation [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Bravo, S. M. (2018).** Impact de la friture sur la qualité des acides gras des poissons d'eau saumâtre (*Coptodon guineensis* et *Sarotherodon melanotheron*) et d'eau marine (*Scomber scombrus* et *Trachurus trachurus*) consommés dans le Sud du Bénin [Mémoire de Master, Université d'Abomey-Calavi].

**Chahbi, M. (2016).** Formulation d'une huile spéciale friture à base d'un mélange de trois huiles à l'aide des plans de mélange [mémoire de master, université sidi mohammed ben abdellah].

**Chamoumi, M., Faucheux, N., Jones, J. P., & Brunel, D. (2013).** Optimisation de la production du biodiesel à partir d'huiles de microalgues et d'huiles usées [Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke].

**Chelouche, F. & Smail, L. (2017).** Effet De La Lumière Sur La Qualité De Deux Huiles Commercialisées En Algérie. [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Cheng, G., Zhang, M., Lu, Y., Zhang, Y., Lin, B., & Von Lau, E. (2023).** A novel method for the green utilization of waste fried oil. *Particuology*, 84, 1-11.

**Cherair, O. (2021).** Contribution Des Espèces Endémiques Dans Le Système Médicinal Traditionnel De La Région De Ghardaïa (communes : Ghardaïa Et Guerrara). [Mémoire de Master, Université De Ghardaïa].

**Chouikh, S. & Degdeg, H. & Idoui, T. (2016).** Qualité Des Huiles À Friture Et Effet Des Produits De Dégradation Sur La Santé [Mémoire de Master, Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel].

**Coiffard, L., & Couteau, C. (2020).** Soap and syndets: differences and analogies, sources of great confusion. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 24(21), 11432-11439.

**Didouche, Y. (2012).** Etude Des Sous-produits Issus Du Traitement Des Oléagineux Et Perspectives De Valorisation [Thèse de Doctorat, Université M'hamed Bougara - Boumerdes].

**Djedaia, M. S. (2017).** Etude physico-chimique et caractérisation du fruit de la plante lentisque (*Pistacia Lentiscus L.*). [Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba].

**Djezzar, S. & Chidah, B. & Tamendjari, A. (2021).** Amélioration De La Stabilité Oxydative Des Huiles Raffinées [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

**Doré, C. & Varoquaux, F. (2020).** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Editions Quae.

**Européenne, N. (1999).** Corps gras d'origines animale et végétale-Détermination de l'indice d'acide et de l'acidité. Norme Française NF EN ISO, 660, 60-204.

**Evon, P. (2008).** Nouveau procédé de bioraffinage du tournesol, plante entière par fractionnement thermo-mécano-chimique en extruder bi-vis : étude de l'extraction aqueuse des lipides et de la mise en forme du raffinat en agromatériaux par thermomoulage. [Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France].

**Félix, S., Araújo, J., Pires, A. M., & Sousa, A. C. (2017).** Soap production: A green prospective. *Waste management*, 66, 190-195.

**Fitta, F., & Ghe Deir Amar, F. (2017).** Synthèse du biodiesel par transestérification des huiles de friture usées (HFU) [Mémoire de Master, Université de Kasdi merbah university-ouargl].

**Gagnon, Y. (2021).** Étude de l'extraction des huiles végétales en milieu aqueux assistée par des tensioactifs [Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne].

**Gossa, F., & Mekchiche, K. (2014).** Extraction et caractérisation physico-chimique des huiles des graines de conifèresa [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah–Ouargla].

**Hacheme, C., Tchobo, F. P., Mazou, M., & Djossou, A. J. (2022).** Impact des pratiques de conservation et de traitements culinaires des huiles sur la survenue des maladies cardiovasculaires. EPAC/CAP/UAC.

**Hamlat, A. & Yahia Cherif, N. (2018).** Essai d'élaboration d'un savon transparent [Mémoire de Master, Université de Béjaia, Algérie].

**Hanache, Z., Ouazene, N., & Kacemi, N. (2020).** Modélisation par les plans d'expériences du procédé de la décoloration de l'huile de tournesol [Thèse de doctorat, Université Abderrahmane mira-Béjaia].

**Hassi, A. (2017).** Etude de la rémanence d'un savon additionné à l'huile essentielle de citron (citrus limon) [Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en biologie, spécialité: valorisation des substances naturelles végétales]. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem (Algérie), Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

**Houenoude, M. A. (2016).** Amélioration Des Conditions De Conditionnement De L'huile De Palme Produite Au Centre Songhai De Porto-Novo. Epac/Uac.

**Idoko, O., Emmanuel, S. A., Salau, A. A., & Obigwa, P. A. (2018).** Quality assessment on some soaps sold in Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 37(4), 1137-1140.

**International Organization for Standardization. (1975). ISO 696** : Détergents - Détermination du pouvoir moussant - Méthode de la colonne de mousse. Genève, Suisse : ISO

**ISO 3960 :2007**, intitulée "Produits pétroliers - Détermination de l'acidité - Méthode potentiométrique"

**ISO 672, (1978).** Savons -- Dosage de l'eau et des matières volatiles par étuvage.

**ISO 684, (1974).** Analyse des savons — Détermination de la teneur en alcali libre total

**ISO. (2007). ISO 3960:** animal and vegetable fats and oils: determination of peroxide value- Iodometric (visual) endpoint determination.

**ISO. (2020). ISO 3104** : Produits pétroliers - Liquides opaques et transparents - Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique. Norme internationale

**Kadri, S., & Tabta, S. (2018).** Préparation de savons solides et liquides antiseptiques à base d'huiles végétales.

**Kara, T., & Khouas, C. (2021).** Valorisation des huiles de frites usagées en savonnerie [Thèse de doctorat, Université Mou-loud Mammeri, Tizi-Ouzou].

**Khechmar, D. & Zaafr, S. & Akroum, S. (2017).** Activité Antifongique De Quelques Huiles Végétales Sur Les Champignons Responsables De Mycoses Humaines. [Mémoire de Master, Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel].

**Khellaf, K., Zoukari, R., & Hafsi, S. (2022).** Préparation d'un savon à partir de la graisse de la bosse de dromadaire et de l'huile d'olive.

**Kone S.** Fabrication de savons améliorés. Technical Information F5f. Germany. 2000

**Kouidri, S., & Lami, M. (2020).** La qualité des huiles de bains de friture de certains Fast-foods de la wilaya de Tizi-Ouzou [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou].

**Kumar, A., Sharma, A., & C Upadhyaya, K. (2016).** Vegetable oil: nutritional and industrial perspective. Current genomics, 17(3), 230-240

**Laceb, M., & Louerguioui, A. (2022).** Etude de la stabilité des huiles de table (tournesol, soja et olive) lors des fritures répétées [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou].

**Maisonneuve, L., Chollet, G., Grau, E., & Cramail, H. (2016).** Vegetable oils: a source of polyols for polyurethane materials. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 23(5), D508-10.

**Maotsela, T., Danha, G., & Muzenda, E. (2019).** Utilization of Waste Cooking Oil and Tallow for Production of Toilet “Bath” Soap. *Procedia Manufacturing*, 35, 541-545.

**Meghzili, F. (2022).** Création d’une entreprise de recyclage des huiles alimentaires usagées - Wilaya de Mila [Master's thesis, Université des Frères Mentouri, Constantine 1].

**Merzelkad-Hallal, R. (2021).** Les complexes touristiques sahariens de Fernand Pouillon en Algérie, entre conception et analogie. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*.

**Myagmar, A., Myagmar, A. O., Usukhbayar, B., Zambal, O., Ganbat, B., & Urdmunkh, S. E. (2022).** Determination Of Some Properties Of Cooking Oil And Environmentally Friendly Technology To Make A Soap. *Universum: технические науки*, (2-7 (95)), 55-59

**Namani, F. (2022).** Préparation d’un savon bio à base de produits naturel.

**Nekrouf, C. & Mendaci, N. & Berkoune, O. (2019).** Contrôle Qualité De L’huile D’olive De La Wilaya De Tizi-ouzou [Mémoire de Docteur en Science Médicale, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].

**Ogunsuyi, H. O., & Akinnowo, C. A. (2012).** Quality assessment of soaps produced from palm bunch ash-derived alkali and coconut oil. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 16(4).

**Ollivier, V., Ollivier, D., & Artaud, J. (2015).** Analyse des lipides. *Techniques de l'ingénieur*.

**Ouatas, H., Mansouri, S., & Arbia, W. (2020).** Développement d'une crème cicatrisante à base de chlorophylle [mémoire de master, universite de medea].

**Ouled Sidi Omar, S. (2016).** Contribution à l’étude de la détermination de la qualité physico-chimique des forages de la région de Metlili (wilaya de Ghardaïa)

**Pioch, D. (2018).** Les huiles végétales : diversité d'usages et filières en compétition.

**Pioch, D., Plasari, E., Chakir, A., & Billaud, F. (2006).** Transformation Par Voie Thermique De Triglycerides Et D’acides Gras. Application A La Valorisation Chimique Des Dechets Lipidiques [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Lorraine].

**Rafiq, M., Lv, Y. Z., Zhou, Y., Ma, K. B., Wang, W., Li, C. R., & Wang, Q. (2015).** Use of vegetable oils as transformer oils—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 308-324.

**Rahayu, S., Pambudi, K. A., Afifah, A., Fitriani, S. R., Tasyari, S., Zaki, M., & Djamahar, R. (2021, April).** Environmentally safe technology with the conversion of used cooking oil into soap. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1869, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.

**Roman, O. (2012).** Mesure et prédiction de la réactivité des lipides au cours du chauffage d'huiles végétales à haute température [Thèse doctorat, AgroParisTech, olesea Roman]

**Rzozi, S. B.** Les Utilisations Alternatives Des Huiles Vegetales.

**Saadoudi Hadjer, A. R. (2022).** Savon à base d'huile de friture usagée [Thèse doctorat, faculté des sciences et de la technologie Université Mouhamed El Bachir El Ibrahimy de Bordj Bou Arréridj].

**Saidi, A. & Salmi, N. (2019).** Approche d'étude sur les perspectives de la valorisation des huiles alimentaires usagées [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri - Constantine 1].

**Saidi, A., Tatar, N., & Aidli, A. E. (2020).** Effet de la friture sur l'huile de table.

**Sbai, R., Tayebi, A., & Mana, S. (2022).** Etude d'extraction et caractérisation physico-chimique d'une huile des grains d'arachides (Etude comparative entre deux variétés d'El-oued et de Timimoune) [Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-Adrar].

**Selaimia, R. (2018).** Etude De L'huile D'olive D'algerie. [Thèse de Doctorat, Université 8 Mai 1945 - Guelma].

**Semssoum, L., & Hachache, N. (2022).** Valorisation des huiles alimentaires usagées.

**Senoussaoui, Z., & Berrekbia, D.(2022).** Caractérisation de biodiesel à partir des huiles de friture [Thèse doctorat, Université Kasdi Marbah Ouargla].

**Severac, E. (2010).** Valorisation enzymatique des huiles végétales [Thèse doctorat, Université de Toulouse, INSA,France].

**Siham, B., Benbekai, E., & Smail, L. E. (2020).** Formulation et analyse d'un savon liquide pour l'hygiène intime.

**Smail, L. E., Bournine, S., & Abdelkrim, F. (2019).** Élaboration d'une lessive liquide à base de savon.

**Smail, L. E., Makhoul, L., & Azag, R. (2014).** Essai de fabrication d'un savon a base de l'huile d'olive et de nigelle.

**Smail, L. E., Mokri, L., & Sellah, L. (2015).** Préparation d'un savon pâteux et liquide à base d'huiles végétales.

**Soumanou, M. M., Tchobo, F. P., Etorh, A. P., & Accrombessi, G. (2005).** Valorisation des huiles végétales d'origine béninoise par alcoololyse enzymatique. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 12(4), 320-325.

**Tshiombe, V. E. Martin Kabantu Van E. Tshiombe** Quelques constantes physiques de l'huile de safou.

**Véronique, O., Denis, O., Jacques, A. (2015).** Analyse des lipides. Techniques de l'ingénieur

**Vivian, O. P., Nathan, O., Osano, A., Mesopirr, L., & Omwoyo, W. N. (2014).** Assessment of the physicochemical properties of selected commercial soaps manufactured and sold in Kenya.

**Yakoubi, T., Younsaoui, S., & Hamitri, F. E. (2020).** L'impact de l'ajout de l'huile des noyaux de datte dans la fabrication d'un savon.

**Zheng, J. (2016).** Développement d'un procédé pour l'époxydation et la carbonatation des huiles végétales : application à l'huile de coton.

# *Annexes*

Annexes



**Annexe 1** : Images des différentes huiles commercialisées en Algérie (Koudri, S.*et al.*2020)

Marque	Nature de l'huile
Huile ELIO	80% Soja, 20% Tournesol
Huile FLEURIAL	100% Tournesol
Huile FRIDOR	25 % tournesol, 25 % soja et 50 % ODF
Huile AFIA	95% Soja, 5% maïs
Huile LYNOR	90% Soja, 10% Palme
Huile SAFIA	100% Soja
Huile LABELLE	100% Soja

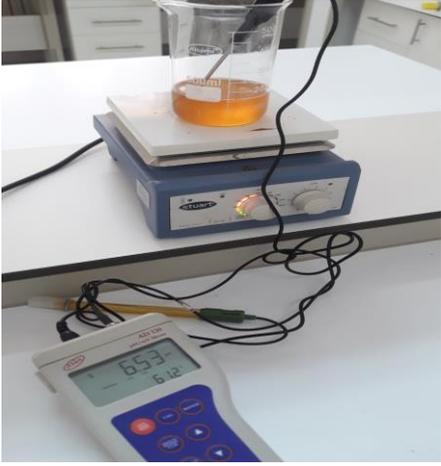
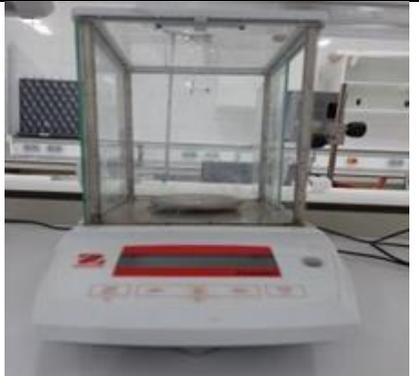
**Annexe 2** : Différentes huiles produites en Algérie et leur composition (Koudri, S.*et al.*2020)

Nom	Forme pharmaceutique.	Caractéristique :	Formule standard :
Le savon de Marseille.		Un ou plusieurs sels de sodium d'acides gras. Aucun additif	Tallowate de sodium, eau, cocoate de sodium, glycérine, chlorure de sodium, hydroxyde de sodium.

**Annexe 3** : Caractéristique et Formule standard du savon Marseille (Coiffard, L.*et al.*2020).

Matériels	Appareils	Réactifs
Entonnoir Buchner	Réfractomètre	Solution de NaCl à 10 %.
Ampoule à décantier	Étuve	Peroxyde d'hydrogène (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
Fiolle	PH-mètre	Phénolphtaléine
Balance de précision	Viscosimètre	Solution de KOH
Agitateur magnétique	Un thermomètre	Chloroforme
Balance de précision		Iodure de potassium
Erlenmeyer		Acide acétique
Burette		Empois d'amidon
Ballon Buchi		Solution de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,01 N)
Mixeur		Eau distillée
Papier filtre		Hydroxyde de potassium alcoolique (0,5 N)
Moules en silicone		Solution d'acide chlorhydrique (0,5 N)
Erlenmeyer		Acide sulfurique 0,1 N
Chauffe-ballon		Éthanol
		Hydroxyde de sodium (NaOH)

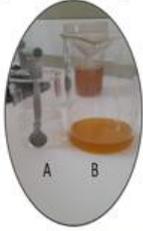
**Annexe 4 :** Différents Matériels utilisées

		
Viscosimètre de type Fungilab	Ph mètre / thermomètre de type AD 130	Réfractomètre de type ATAGO
		
Etuve de type MEMMERT	Agitateur magnétique de type STUART	Balance analytique de type OHAUS
		
Extracteur à reflux de type ELECTROTHERMAL		

Annexe 5 : Différents appareils utilisées

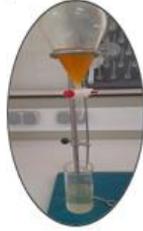
### 1-Traitement d'huile

45g d'huile + Solution NaCl  
+5ml peroxyde d'hydrogène



A:Solution NaCl  
B:Huille friture

séparation la couche aqueuse  
aqueuse et l'huile



### 2-Analyse physico-chimique d'huile

Indice d'acidité



indice de saponification



indice de peroxyde



la densité d'huile



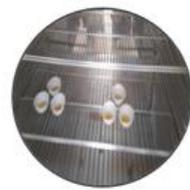
Indices de réfraction des huiles



viscosité dynamique



L'humidité

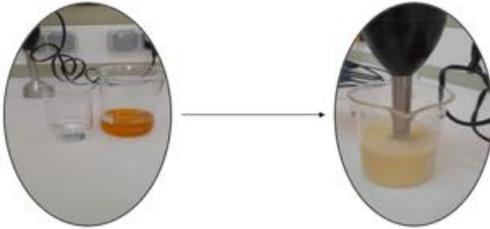


### 3-production du savon

Par deux méthode (à froid / à semi- chaud )

30g d'huile +solution de NaOH

mélanger à l'aide du mixeur



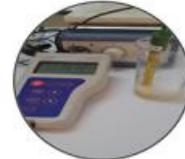
Le mélange a ensuite été versé dans les moules de silicone et laissé au séchage pendant 24 heures.

### 4-Analyse physico-chimique du savon

Pouvoir moussant



Potentiel hydrogéné (pH)



Taux humidité



Teneur en alcali libre



## Annexe 6 : Protocole expérimental

Huile	Avant friture	Après friture
m (g)	9.4989	9.5270
m 0 (g)	4.5207	4.5704
m 1 (g)	5	5
Densité	0.90414	0.91408

**Annexe 7** : Les résultats de la densité des variétés d'huile

Huile	Avant friture	Après friture
m 0 (g)	53.3847	58.3385
m 1 (g)	66.73	68.1865
m 2 (g)	66.7258	68.15775
Humidité (%)	0.033	0.2195

**Annexe 8** : Les résultats d'humidité des variétés d'huile

Huile	Avant friture	Après friture
V 0 (ml)	0.3	0.3
V 1 (ml)	0.5	2.9
Indice de Peroxyde (meq O2/Kg).	3	26

**Annexe 9** : Les résultats de l'indice de peroxyde des variétés d'huile

Huile	Avant friture	Après friture
V de NaOH (ml)	0.6	2.9
Acidité (%).	0.1692	0.817

**Annexe 10** : Les résultats de l'indice d'acidité des variétés d'huile

Huile	Avant friture	Après friture
V 0 (ml)	28.3	28.3
V 1 (ml)	7.73	7.56
Indice de saponification mg KOH/g MG	288.498	290.878

**Annexe 11** : Les résultats de l'indice de saponification des variétés d'huile

Savon	A Froid	A semi-chaude	Marseille
V (ml)	0.5	0.5	0.26
Alcali libre totale (%)	0.2	0.2	0.1064

**Annexe 12** : Les résultats d'alcali libre totale des variétés des savons

Savon	A froid	A semi-chaude	Marseille
m 0 (g)	56.7169	71.2184	23.910
m 1 (g)	58.2714	72.7751	25.464
m 2 (g)	58.1260	72.6144	25.296
Humidité (%)	1.93	10.233	10.81

**Annexe 13** : Les résultats d'humidité des variétés des savons

Tableau 2 : Propriétés chimiques et physiques des huiles végétales brutes (voir Annexe de la norme)

	Huile d'arachide	Huile de babassu	Huile de coco	Huile de coton	Huile de pépins de raisin	Huile de maïs	Huile de moutarde	Huile de palme	Huile de palmiste	Oléine de palmiste <sup>2</sup>	Stéarine de palmiste <sup>2</sup>
Densité relative (x°C/eau à 20 °C)	0.912-0.920 x=20°C	0.914-0.917 x=25°C	0.908-0.921 x=40°C	0.918-0.926 x=20°C	0.920-0.926 x=20°C	0.917-0.925 x=20°C	0.910-0.921 x=20°C	0.891-0.899 x=50°C	0.899-0.914 x=40°C	0.906-0.909 x=40°C	0.902-0.908 x=40°C
Densité apparente (g/ml)								0.889-0.895 (50°C)		0.904-0.907	0.904-0.906
Indice de réfraction (ND 40 °C)	1.460-1.465	1.448-1.451	1.448-1.450	1.458-1.466	1.467-1.477	1.465-1.468	1.461-1.469	1.454-1.456 à 50°C	1.448-1.452	1.451-1.453	1.449-1.451
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	187-196	245-256	248-265	189-198	188-194	187-195	168-184	190-209	230-254	231-244	244-255
Indice d'iode	86-107	10-18	6.3-10.6	100-123	128-150	103-135	92-125	50.0-55.0	14.1-21.0	20-28	4-8.5
Insaponifiable (g/kg)	≤ 10	≤ 12	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≤ 28	≤ 15	≤ 12	≤ 10	≤ 15	< 15
Ratios d'isotopes de carbone stables*						-13.71 à -16.36					

Tableau 2: Propriétés chimiques et physiques des huiles végétales brutes (voir Annexe de la norme) (suite)

	Oléine de palme <sup>2</sup>	Stéarine de palme <sup>2</sup>	Superoléine de palme <sup>2</sup>	Huile de colza (à faible teneur en acide érucique)	Huile de colza (à faible teneur en acide)	Huile de son de riz	Huile de carthame	Huile de carthame (à forte teneur en acide oléique)	Huile de sésame	Huile de soja	Huile de tournesol (à forte teneur en acide oléique)	Huile de tournesol (à teneur moyenne en acide oléique)
Densité relative (x °C/eau à 20 °C)	0.899-0.920 x=40° C	0.881-0.891 x=60°C	0.900-0.925 x=40°C	0.914-0.920 x=20°C	0.910-0.920 x=20°C	0.910-0.929	0.922-0.927 x=20°C	0.913-0.919 x=20°C; 0.910-0.916 x=25°C	0.915-0.924 x=20°C	0.919-0.925 x=20°C	0.918-0.923 x=20°C	0.914-0.916 x=20°C
Densité apparente (g/ml)	0.896-0.898 à 40°C	0.881-0.885 à 60°C	0.897-0.920					0.912-0.914 à 20°C				
Indice de réfraction (ND 40 °C)	1.458-1.460	1.447-1.452 à 60°C	1.463-1.465	1.465-1.467	1.460-1.473	1.460-1.467	1.467-1.470	1.460-1.464 à 40°C; 1.466-1.470 à 25°C	1.465-1.469	1.466-1.470	1.461-1.468 à 25°C	1.461-1.471 à 25°C
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	194-202	193-205	180-205	182-193	180-199	186-198	186-194	186-195	186-195	189-195	188-194	182-194
Indice d'iode	≥ 56	≤ 48	≥ 60	105-126	90-115	136-148	80-100	104-120	118-141	124-139	78-90	94-122
Insaponifiable (g/kg)	≤ 13	≤ 9	≤ 13	≤ 20	≤ 65	≤ 15	≤ 10	≤ 20	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15

