



Réf :/UAMOB/FSNVST/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière : Sciences biologiques**

Spécialité : Biochimie appliquée

Présenté par :

BOUIDIA Mila & BERBAR Sirine

Thème

**Tentative de régénération des huiles comestibles par les
raquettes de cactus *Opuntia ficus-indica***

Soutenu le : 03/07/2023

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

M. LEKBAL. Farouk

MAA

Univ. de Bouira

Président

M. KADRI. Nabil

Professeur

Univ. de Bouira

Promoteur

Mme. BACHIRI. Taous

MCB

Univ. de Bouira

Examinatrice

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Dieu le tout puissant, maître des cieux et des terres, merci de nous avoir donné la volonte, le courage et la sante pour realiser ce travail.

Nos remerciements les plus sinceres vont a Mr. KADRI N, notre promoteur qui nous a fait l'honneur d'avoir veille et dirige ce travail par son aide scientifique, ses precieux conseils, son orientation et d'avoir mis tous les moyens a notre disposition.

Nous remercions vivement, M. LEKBAL Farouk, d'avoir accepte de nous honorer en president de jury d'examen. Ainsi que Mme. BACHIRI Taous pour l'honneur qu'elle nous a fait de bien vouloir examiner notre travail.

Nous tenons a exprimer toute notre gratitude a Mr KERBOUB et Mme MEZOUANE et toutes l'equipe du laboratoire (Abed, Kara et Bendib) pour nous avoir accueillis au sein de l' unite de production d'huile MAHROUSSA de Alger, Leurs conseils, leurs orientations et leur patience pour mener a bien notre travail.

Nous remercions particulierement le personnel qui travaillent dans les fast-foods ou nous avons pris nous echantillons d'huiles pour leurs accueils, leurs gentillesses et d'avoir accepte a nous donner ces huiles.

Enfin, nos remerciements les plus sinceres a tous ceux qui ont contribue de pres ou de loin a la realisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

À celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon roi PAPA.

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié MAMAN.

À mon frère Ahmed pour son soutien et l'amour qu'il me réserve.

À ma grande sœur Lydia qui n'a pas cessée de me conseiller encourager tout au long de mes études.

À mes adorables petites sœurs Dyma et Anfal qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

À tous les membres de ma grande famille, mes grands-parents, mes tantes spécialement Imene pour son soutien tout au long de mes études et mes oncles.

À la meilleure de tout le temps Hiba dans les pires moments, nous nous sommes trouvées et traversées ensemble des épreuves. Nous avons partagé des rires, des larmes, des hauts et des bas, je suis extrêmement chanceuse de t'avoir dans ma vie.

À Chahinez ma complice précieuse, pour ton soutien inébranlable et ta présence chaleureuse je te souhaite une vie tout le bonheur du monde et une vie remplie de belles choses.

Sans oublier mon cher binôme Sirine pour sa compréhension, son soutien et sa patience je te souhaite une vie pleine de réussite et de joie.

À Manel, Rayane et Houda qui me sont très chers et qui m'ont encouragé de près ou de loin à finaliser ce travail.

Mila

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A mon très cher père

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es. Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité.

Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.

À ma très chère et douce maman

A celle qui attendue avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a tout donné, qui a toujours été là pour moi, qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et persévérance, à celle qui m'acceptera toujours comme je suis sans demande d'échange, à celle qui tient le paradis sous ses pieds, à mon ange, à ma mère.

A mes chères sœurs et frères

Darine, Raghed, Boualem et faïçal pour leur présence et dévouement. Merci d'avoir toujours soutenu et merci pour tous les bons moments passé ensemble.

A toutes ma famille ; Oncles et Tantes chacun son nom je n'oublier pas mon oncle sidali il m'a toujours aidé d'une manière ou d'une autre et aussi mes tantes houria et kamila
Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A ma belle binôme Mila pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet. C'est un honneur d'étudier avec vous et je te souhaite de réussir dans votre vie.

A tous mes amis spécialement Khadidja, Loubna et Amira, Merci pour leurs amours et leurs encouragements dans ma vie.

Sirine

Table de matières

Liste de figures	
Liste de tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Partie I : Revue bibliographique	
Chapitre 01 : Cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>)	
1. Généralités sur <i>Opuntia ficus-indica</i>	03
1.1. Histoire et origines d' <i>Opuntia ficus indica</i>	03
1.2. Position systématique.....	03
1.3. Répartition géographique.....	04
1.4. Description morphologique.....	04
1.5. Composition chimique des <i>Opuntia ficus indica</i>	05
2. L'importance d' <i>Opuntia ficus indica</i>	06
2.1.1. L'importance écologique.....	07
2.1.2. Importance économique.....	08
2.1.3. Importance pharmaceutique, thérapeutique et nutraceutique.....	09
Chapitre 02 : Les Huiles Comestibles	
1. Les huiles végétales.....	11
2. Composition des huiles végétales.....	11
2.1. Les triglycérides.....	11
2.2. Les Acides Gras.....	11
2.2.1. Les acides gras saturés (AGS).....	11
2.2.2. Les acides gras insaturés.....	12
2.2.3. Les stérols.....	12
2.2.4. Les cires.....	12
3. Les huiles alimentaires.....	13
3.1. Composition des huiles alimentaires.....	13
3.2. Les huiles alimentaires usagées.....	13
3.3. Utilisation comme Huile de friture.....	13
3.4. Composition chimique des huiles de fritures.....	14
3.4.1. Réactions d'oxydation.....	14
3.4.2. Réaction de polymérisation	15
3.4.3. Réaction d'hydrolyse.....	15
4. Les impacts environnementaux des huiles végétales usagées.....	16
5. Valorisation des huiles alimentaires usagées.....	16

Table de matières

5.1. Biocarburant et Biodiesel.....	16
5.2. Saponification.....	17
5.3. Régénération des huiles végétales usées.....	17
6. Les avantages de la collecte et du traitement des huiles végétales usées.....	17

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre I. Matériels et méthodes

I.1. Matériel et Produits utilisés.....	18
I.1.1. Matériels utilisés.....	18
I.1.2. Les produits utilisés.....	18
I.2. Matériels végétales.....	19
I.3. Méthodes.....	19
I.3.1. Extraction du mucilage de cactus.....	19
I.3.2. Préparation de la poudre de cactus.....	19
I.3.3. Préparation des huiles usées.....	20
I.4. Traitement des huiles usées par le cactus.....	21
II. Caractères physico-chimiques (Selon AOAC, 1998).....	22
II.1. La densité relative (20°C).....	22
II.2. La teneur en eau (humidité).....	22
II.3. Indice d'acide.....	23
II.4. Indice de peroxyde.....	23
II.5. Indice d'iode	24
II.6. Indice de saponification.....	25
II.7. Traces de savons (alcalinité de savon).....	26
II.8. Indice d'ester.....	26
II.9. Taux d'impureté.....	27

Chapitre II. Résultats et discussion

1. La densité relative (20°C).....	28
2. La teneur en eau.....	29
3. Traces de savon.....	30
4. Indice d'acide.....	30
5. L'indice de peroxyde.....	31
6. L'indice d'iode.....	32
7. L'indice de saponification.....	33
8. Indice d'ester.....	34

Table de matières

9. Taux d'impuretés.....	35
Conclusion générale.....	36
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumés	

Liste des figures

Figure 01 : Les Fruits d'Opuntia ficus indica.....	04
Figure 02 : Abstractions possibles de l'hydrogène des liaisons C-H allyliques et bi-allyliques des acides gras insaturés.	15
Figure 03 : Séchage de figuier de barbarie.....	20
Figure 04 : Broyage de cactus séché et avoir une poudre fine.	20
Figure 05 : préparation et agitation des mélanges Poudre/ huile et Mucilage/ huile.....	21
Figure 06 : Décantation après le mélange et centrifugation de mélange Mucilage/ huile.....	21
Figure 07 : Indice d'acide des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.	30
Figure 08 : Indice de peroxyde des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.	31
Figure 09 : Indice d'iode des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.	32
Figure 10 : Indice de saponification des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.	33

Liste des tableaux

Tableau I : Les constituants de pulpe de fruit de cactus.	05
Tableau II : Principaux composants des cladodes figuier de Barbarie.....	06
Tableau III : Les Principaux Acides Gras Saturés AGS.....	12
Tableau IV : Matériels utilisées.....	18
Tableau V : Les Produits utilisés.....	18
Tableau VI : Résultats de la densité d'huile traitée par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.....	28
Tableau VII : Les valeurs moyennes de la teneur en eau d'huile traitée par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.	29
Tableau VIII : l'indice d'ester des huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.	34
Tableau IX : Le taux d'impuretés des huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.	35

Liste des abréviations

Liste des abréviations

<p>(C₂H₄OH)₂ : La phénolphtaléine</p> <p>A : acidité.</p> <p>AG : acide gras.</p> <p>AGI : acide gras insaturé.</p> <p>AGMI : acides gras mono-insaturés.</p> <p>AGPI : acide gras polyinsaturé.</p> <p>AGS : acide gras saturé.</p> <p>d²⁰₂₀ : densité relative à 20 °C.</p> <p>g : Gramme</p> <p>H₂SO₄ : Acide sulfurique</p> <p>HM : Huiles traitées par le mucilage.</p> <p>HP : Huiles traitées par la poudre.</p> <p>IA : indice d'acide.</p> <p>IE : indice d'ester.</p> <p>Ii : Indice d'iode.</p> <p>IR : indice de réfraction.</p> <p>IS : indice de saponification.</p>	<p>ISO : International System Organisation.</p> <p>IP : Indice de peroxyde.</p> <p>Kg : kilogramme.</p> <p>KI : Iodure de Potassium.</p> <p>L : litre</p> <p>Meq : Milliéquivalent</p> <p>mL : Millilitre</p> <p>Mol : Mole</p> <p>N : Normalité.</p> <p>NaOH : Hydroxyde de sodium</p> <p>Na₂S₂O₃ : thiosulfate de sodium</p> <p>NTU : Unité standard de mesure de la turbidité</p> <p>OFI : <i>Opuntia ficus indica</i></p> <p>PE : Prise d'essai</p> <p>pH : Potentiel en hydrogène</p> <p>Ti : taux d'impureté.</p> <p>V : Volume</p>
---	--

Introduction Générale

Introduction générale

La famille des cactus comprend environ 16 000 espèces originaires d'Amérique mais dispersées dans le monde entier. Dans cette famille, le cactus est le genre le plus connu *Opuntia ficus indica* Mill, qui est cultivé dans plus de 20 pays. **(INGLESE, P ,2018)**

Opuntia ficus-indica (L.) Mill., communément appelé figue de barbarie ou cactus nopal, est une plante tropicale et subtropicale. Elle peut pousser dans des climats arides et semi-arides et sa répartition géographique comprend le Mexique, l'Amérique latine, l'Afrique du Sud et les pays méditerranéens **(EL-MOSTAFA et al, 2014)**. *OFI* est une plante à croissance rapide qui s'adapte facilement aux sols pauvres et aux faibles besoins en eau. En Algérie, *OFI* est cultivé à la fois comme plante spontanée et comme ressource cultivée dans les régions semi-arides de l'Est, en particulier. **(BRAHMI et al, 2022)**

Les propriétés antioxydantes des composés phénoliques de la figue de barbarie en font un produit important dans la prévention de la santé humaine contre les maladies dégénératives **(ABDEL-HAMEED et al, 2014)**, Et pour une raison de l'intérêt scientifique et du potentiel économique, ces dernières années, *Opuntia spp.* et *OFI* en particulier ont fait l'objet d'une formidable production de littérature scientifique, portant notamment sur les propriétés biologiques et fonctionnelles. **(BRAHMI et al, 2022)**

De nombreux travaux sont au court de réalisation sur des divers types de coagulants d'origine naturelle. Ces coagulants ont l'avantage d'être biodégradables et n'apporte aucun risque pour la santé publique. Parmi les études faites déjà, l'utilisation de cactus comme biofloculant et biocoagulant dans le traitement des eaux usées. Des chercheurs ont utilisé la poudre d'*Opuntia ficus Indica*, pour traiter des eaux usées, ou la turbidité de cette eau est passée de 104 NTU à moins de 5 NTU. Ainsi que dans d'autres étude Le jus de cactus de la même espèce a été utilisé pour élimination des métaux lourds des eaux usées industrielles, la réduction du chrome (VI) était supérieure à 99,5 % lorsque la turbidité était réduite de 100 NTU à 2 NTU. **(BETATACHE et al, 2014)**. Donc d'après ces études le cactus a prouvé son efficacité dans le traitement des eaux usées.

L'huile de cuisson usagée, en particulier issue du processus de friture, fait partie des résidus liquides générés chaque jour dans la plupart des maisons, restaurants, établissements de restauration et cuisines industrielles. Il affecte négativement l'environnement en provoquant la pollution de l'eau, la contamination des sols, la perturbation des écosystèmes marins, l'obstruction des drains et l'augmentation des coûts de traitement de l'eau. **(YACOB et al, 2015)**. Donc il faut trouver une solution pour régler ses huiles dans l'environnement entier soit par recyclage ou bien si possible la régénération.

Introduction générale

Pour illustrer notre travail, nous avons choisi d'un bio-floculant, extrait des raquettes de la plante d'*OFI*. Le but de notre recherche est de traiter les huiles usées (les huiles de friture) par la poudre de cactus et par le mucilage de ce dernier pour savoir s'il a une possibilité de régénérer les huiles usées.

Afin de mieux mener nos études nous avons choisi de faire un stage dans le domaine ou nous avons déplacé vers usine MAHROUSSA SPA filiale AGRODIV à Alger.

La présente étude est subdivisée en deux parties engendrées par une introduction et finalisé avec une conclusion générale :

- **Partie 1 : Revue bibliographique :**

- **Chapitre 01 : Cactus (*Opuntia ficus indica*) :** des généralités sur le figuier de barbarie et ces propriétés, sa composition et son importance dans plusieurs domaines.
- **Chapitre 02 : Les Huiles Comestibles :** Des informations générales sur les huiles comestibles, leurs utilisations dans la friture, et enfin leur valorisation.

- **Partie 2 : Partie expérimentale :**

- **Chapitre 01 : Matériels et méthodes :** Description en détails les protocoles utilisés dans les analyses effectuées (Indice d'acide, l'acidité, indice de peroxyde...etc)
- **Chapitre 02 : Résultats et discussions :**
Englobe les résultats et discussions, nous discutons les différents résultats obtenus.

**Partie I : Revue
bibliographique**

Chapitre 01
Cactus (*Opuntia ficus indica*)

1. Généralités sur *Opuntia ficus-indica* :

1.1. Histoire et origines d'*Opuntia ficus-indica* :

Dans l'histoire enregistrée de l'Ancien Monde, *O. ficus-indica* est répertorié depuis le début du 16^{ème} siècle, et on pense que l'espèce a accompagné le premier retour de Christophe Colomb à Lisbonne en 1493 et a placé l'*O. ficus-indica* dans les Caraïbes au moins depuis la fin des années 1400 (GRIFFITH, M. PATRICK, 2004).

Les autochtones leur présentent ce fruit rouge de l'*Opuntia*, appelé **tuna** (mot caribéen tun) (INGLESE, PAOLO, 2018).

Les cactus sont originaires du Mexique et y ont été domestiqués. Aucune plante sauvage n'a été trouvée, et il a été suggéré qu'elle est dérivée de *O. amyloclada* ou *O. megacantha*, deux espèces trouvées dans le centre-nord du Mexique (REYES *et al*, 2005). Mais on le trouve également dans les régions arides et semi-arides d'Afrique et d'Australie, ainsi que dans le sud de l'Europe et de l'Asie (BETATACHE *et al*, 2014).

1.2. Position systématique :

a. Systématique :

Opuntia ficus-indica (L.) Mill., communément connu comme figuier de Barbarie ou cactus nopal, fait partie à la famille des Angiospermes dicotylédones Cactaceae, une famille qui regroupe environ 1500 espèces de cactus (EL-MOSTAFA *et al*, 2014).

Selon la base de la morphologie végétative et florale, la sous-famille d'Opuntioideae comprend le genre *Opuntia* (LABRA *et al*, 2003), dont la série des Ficus-indicae qui comprend l'*Opuntia ficus-indica* Mill (MULAS, M et MULAS, G, 2004).

La classification végétale d'*Opuntia ficus indica* est la suivante : (Wallace et GILSON, 2002)

Règne : *Plantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Embranchement : *Phanérogames*

Sous Embranchement : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous classe : *Caryophyllidae*

Ordre : *Opuntiales*

Famille : *Cactaceae*

Sous-famille : *Opuntioideae*

Tribu : *Opuntieae*

Genre : *Opuntia*

Sous-genre : *Platyopuntia*

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.)

Sous espèce : *Opuntia spp* (NOBEL *et al*, 2002)

b. Terminologie :

Les deux espèces qui sont largement répandues sur terre sont l'*Opuntia vulgaris* Miller et l'*Opuntia Ficus-indica* Miller, mais la plante peut porter des différents noms selon la langue locale

- En Mexique : Nopal
- En Espagne : Nopal, Nopallito, Tuna
- Dans les pays francophones du bassin méditerranéen : Cardasse, Chardon d'Afrique, Figuier à raquettes, Raquerre, Figuier de Barbarie (par corruption du mot Berbérie), Figuier d'Inde,
- En Angleterre : Barbary fig, Devils tongue (langue du diable), Prickly pear (poire à épines), Indian fig tree
- En Arabe : Karrous en N'sarra (chardon des Nazaréens) ou Figuier des Chrétiens, El-tin-el-Choki, El-tin-el-Hindi, El-Kemtheri-el-Chai (SCHWEIZER, 1997).



Figure 01 : *Les Fruits d'Opuntia ficus indica*

1.3. Répartition géographique :

Aujourd'hui les cactus sont largement répandus non seulement de l'Amérique, du Canada à la Patagonie au Chili et en Argentine, mais aussi dans le monde entier. Les cactus sont maintenant omniprésents en Europe, principalement en Italie et dans d'autres endroits du bassin méditerranéen, en Afrique surtout dans les pays du Nord comme la Tunisie et le Maroc, en Asie et en Océanie aussi (LAURA *et al*).

En Algérie ; l'introduction des cactées est similaire à celle du Maroc et de la Tunisie. Plus de 30 000 hectares de cactus sont plantés, dont 60% sont situés dans la commune de Sidi-Fredj (45 km au nord de Souk Ahras) au Nord-Est de l'Algérie. Cette importante plantation a été réalisée dans le cadre du programme de lutte contre la désertification (BOUMALI *et al*,2022) et le reste à Ouled Mimoune, Taoura, Drea et Ouilène (INGLESE, PAOLO, 2018).

1.4. Description morphologique :

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente robuste de 3 à 5 m de haut ; Ils peuvent se répandre sur le sol pour créer des tapis jusqu'à 40 m de diamètre (DEFELICE, MICHAEL, 2004).

Compose un tronc qu'est épais, lignifié, à tissus plats, de forme elliptique ou ovales, vert mal, de 30 à 50 cm de long, de 15 à 30 cm de large, et de 1,5 à 3 cm d'épaisseur, appelés cladodes ou raquettes. (NEFFAR, SOUAD, 2012).

Ses fleurs sont hermaphrodites, solitaires et de différentes couleurs selon les espèces avec des sépales, des pétales et des étamines en nombre indéfini et en disposition spiralée (EL KHARRASSI, 2015) (couleur jaune à rouge avec toutes les nuances intermédiaires), larges de 4 à 10 cm. la floraison a lieu en avril-mai (SCHWEIZER, 1997).

Le fruit est une baie charnue de 4 à 8 cm de long, de couleur allant du jaune pâle au rouge violacé, également recouverte d'épines et la fructification vers juillet-août, dans certaines contrées chaudes et arides la plante fleurit et porte des fruits deux fois dans l'année (SCHWEIZER,1997). La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune orangé, rouge ou violette et parsemée de nombreuses petites graines (HABIBI, 2004).

1.5. Composition chimique des *Opuntia ficus indica* :

Parmi les plantes xérophytes, le cactus résiste au manque d'eau, aux températures élevées et aux sols pauvres, il est l'un des plantes les plus adaptées aux conditions environnementales arides (BARBERA,1999) (SEPÚLVEDA ,2007), en effet il est constitué d'aiguilles, des fruits et d'une réserve d'eau, avec des formes globulaires, colonnaires « les cladodes ». Ils ont une capacité de résistance à chaleur et à la sécheresse.

L'opuntia est riche en eau, avec une humidité élevée de 85% à 90% (FELKLER,1995) et une faible teneur en matière sèche d'environ 6 à 7 %.

a. Composition chimique des fruits :

L'espèce la plus cultivée du genre *Opuntia*, est *Opuntia ficus-indica*, se caractérise par des fruits et une pulpe sucrée et juteuse avec des couleurs différentes : blanc-vert, jaune, violet, rouge ou orange. Les variétés colorées s'appliquent dans le domaine de production de colorants naturels (bétalaïnes) et aussi grâce à leurs propriétés anti oxydantes elles apportent de bienfaits pour la santé.

Le cactus est caractérisé par sa richesse en calcium, avec des avantages nutritionnels évidents aux personnes souffrant de problèmes rénaux et d'hypertension grâce à sa teneur élevée en potassium et faible en sodium. (INGLESE, PAOLO, *et al.*2017).

Tableau I : Les constituants de pulpe de fruit de cactus.

Nature des Constituants	Teneur en gramme (g) pour 100g de pulpes de fruit
Eau	83,8 – 91
Hydrates de carbone	8,1 – 14
Fibre brute	0,02 -3,16
Protéines	0,2 – 1,6
Lipides	0,09 – 0,7

Cendres	0,4 – 0,51
Vitamine C (en mg)	20 – 41
β-Carotène (Vit A) en µg	11,3–53,5

Source : à partir des données SAENZ (2006) et STINTZING et R CARLE (2005).

b. La composition chimique des raquettes :

Les raquettes appelées « cladodes » contiennent une quantité importante d'eau (80% environ) (RODRIQUEZ- FELIX A. et CANTWELL M,1988). Elles sont riches en minéraux (calcium et les oxalates), en vitamines et en acides aminés (ARAGONA *et al.*, 2018). Les cladodes renferment des polyphénols, de fibres, ainsi que des acides gras poly-insaturés. (STINTZING *et al.*, 2001)

Les cladodes sont riches en mucilage qui est des polysaccharides complexes qui gonflent au contact de l'eau. Ces derniers sont constitués de glucose, de galactose, et certains d'autres glucides. (SHARMA R. *et al.*, 2012).

Les cladodes ont d'excellentes activité antioxydants grâce à la présence de plusieurs antioxydants telle que l'acide ascorbique, caroténoïdes, glutathion réduit, cystéine, taurine et aussi des flavonoides comme la quercétine et l'isoquercétine (NAZARENO M. A. et GONZÁLEZ E., 2008) (BOUTAKIOUT. 2015)

Les principaux composants des raquettes de l'*Opuntia ficus indica* en matière sèche MS et en poids frais PF sont mentionnées dans le tableau II :

Tableau II : Composition des raquettes de cactus (BOUTAKIOUT,2015)

Composition	MS (g/100g)	PF (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendres	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéines	4-10	0,5-1
Lipides	1-4	0,2

2. L'importance de *Opuntia ficus indica* :

Opuntia ficus indica est le cactus le plus important au monde. Les anciens Mexicains ont laissé un important héritage c'est la domestication de cette plante, en raison de son utilisation préhispanique pour la production d'aliments et de colorants pour la cochenille.

Durant ces deux décennies passées des recherches sur le figuier de barbarie ont augmenté a cause de l'importance économique liée à son utilisation dans la nourriture et le fourrage et

aussi son capacité nutritionnel. Il peut être utiliser aussi comme un agent pharmaceutique et médicinales d'après plusieurs études. (ANGULO-BEJARANO *et al.*, 2014)

Le figuier de barbarie constitue une culture à intérêt écologique et socio-économique assurées grâce à son adaptation aux conditions désertiques et semi désertiques. Cette plante répond efficacement lorsqu'elle est utilisée pour protéger, restaurer et améliorer le sol.

Il met en valeur des terres marginales et infertiles où d'autres espèces cultivées difficile à se développer. Il ne nécessite pas de méthodes de culture spéciales, d'ajout d'engrais ou de traitements antiparasitaires. (HABIBI, 2004)

Les propriétés positives de la figue de barbarie sont de plus en plus. Il affecte positivement sur l'environnement par la réduction de la production de méthane et in fine les gaz à effet de serre qu'ils produisent. Pour l'homme, le fruit de la figue de barbarie possède des avantages thérapeutiques comme la réduction significative du cholestérol, de l'apport en vitamine C et des propriétés antidiarrhéiques. Ses huiles et crèmes possèdent également de grandes propriétés cicatrisantes et antioxydantes, bien supérieures à l'huile d'argan.

2.1.1. L'importance écologique :

Même dans des conditions extrêmes, les cactus produisent de grandes quantités de biomasse végétale. Avec des précipitations comprises entre 150 et 400 mm/an, la variété intérieure peut produire jusqu'à 100 tonnes de raquettes/ha par an sans fertilisation. (HABIBI, 2004)

Il a été observé au Mexique qu'un rôle de protection et d'amélioration des sols des cactus dans les régions arides et semi-arides. (ARBA, 2009)

Enfaite, il a un rôle important dans les plans de réhabilitation pour l'amélioration des parcours, les arbustes, les brousses ou les zones agricoles pauvres.

Le contrôle de l'érosion est une autre utilisation importante du figuier de Barbarie (*Opuntia* spp.). (INGLESE, PAOLO *et al.*, 2017)

Opuntia est également important comme couverture dans les zones arides et semi-arides, car il peut survivre et se propager dans des conditions de précipitations rares et irrégulières et de températures élevées (REYNOLDS et ARIAS, 2001).

Enfin parmi l'importance de figue de barbarie dans l'écologie l'épuration des eaux usées. Des études ont montré leur pouvoir coagulant et floculant allant du Diaz A. (1999) ou une étude de la capacité du cactus comme un biocoagulant, avec une eau synthétique. Le résultat une eau potable. Aussi Abid et coll. (2009) ont utilisés l'extrait de jus de cactus, dans coagulation-floculation afin de traiter des rejets liquides chargés en chrome.

Le cactus a permis de régler la turbidité. Plusieurs recherches confirment l'efficacité de l'utilisation de l'*Opuntia ficus indica* dans le traitement des eaux usées. Cette plante peut être une alternative naturelle aux produits chimiques utilisés dans la coagulation-floculation classique.

2.1.2. Importance économique :

La principale importance économique des cactus dans le monde réside dans la production de fruits comestibles (**PIMIANTA BARRIOS *et al.*, 1993**). Ces fruits sucrés et juteux sont riches en vitamine C et ont une valeur nutritionnelle similaire à la plupart des fruits tels que les oranges, les pommes, les poires, les abricots, les cerises, etc. (**BARBERA *et al.*, 1992 ; SEPULVEDA et SAENZ, 1990**).

Les cladodes sont utilisés pour la consommation humaine mais très peu, à l'exception des tiges tendres (nopalitos) qui sont consommées comme légumes verts dans certains pays comme le Mexique. Cependant, on sait que le liquide épais sécrété par les tiges est une gomme, ou hydrocolloïde, composée de mucilage polysaccharidique. Ce composant a des utilisations potentielles comme additif pour plusieurs produits industriels, y compris l'industrie agroalimentaire. (**SAENZ *et al.*, 2004**).

Le mucilage est devenu fréquent dans la technologie alimentaire, pas seulement en raison de leurs propriétés épaississantes et/ou gélifiantes, mais aussi en tant que capteur de l'humidité et arrête l'évaporation de ce dernier des aliments, comme mousses et émulsions stables, confiserie et friture aussi remplace les graisses dans la viande et les produits laitiers (**FELKAI-HADDACHE *et al.*, 2016**)

A. Production de fourrage pour le bétail :

La production de fourrage pour le bétail représente la deuxième importance économique du cactus dans le monde. Le figue de barbarie est cultivée sur 2.6 millions d'hectares à travers le globe et il est utilisé pour le fourrage ou le pâturage dans la Tunisie en 600 000 ha, au Mexique en 230 000 ha et en Algérie 150 000 ha (**NEFZAOUI et BEN SALEM, 2001**). Dans le cas d'une situation critique de sécheresse une production de cactus est pour le but d'assurer un stock alimentaire pour le bétail (**PIMIANTA-BARRIOS,1993**).

Les bétails apprécient les cladodes du cactus à cause de leur richesse en eau, en fibres, en protéines et en éléments minéraux (**NEFZAOUI et BEN SALEM, 2001 ; LE HOUEROU, 2000**).

B. Consommation humaine :

Il existe environ 200 sortes de cactus, mais seulement une vingtaine de sortes de fruits ont été exploitées. Les fruits sont riches en sucre, en minéraux et en vitamines. Leur production commercialisation se fait en été et en automne. De plus, les raquettes sont utilisées dans la production maraîchère : les jeunes pagaies sont vendues sous le nom de Nopals ou Nopalitos. (MAPM,2009)

Généralement, les Hispaniques utilisent les jeunes cladodes comme légume. ou ils les consomment pendant le Carême comme des légumes verts ou marinés dans des salades (YOUNG, 2006).

Rodriguez (1999) a rapporté différentes formulations de boissons faites à partir de cladodes tendres. Dans certains pays il existe des confitures et sirop sur le marché (SAENZ *et al.*, 2006).

2.1.3. Importance pharmaceutique, thérapeutique et nutraceutique :

Des propriétés thérapeutiques et nutritionnelles des raquettes et des fruits de cactus a été reporté (ANGULO-BEJARANO *et al.*, 2014). Le mucilage du cactus peut être appliquées dans le domaine de cosmétique mais aussi dans les produits pharmaceutiques (SAENZ *et al.*, 2000). Les cladodes, au Mexique sont utilisés comme des agents thérapeutiques. En médecine populaire, il Ya utilisation des cladodes pour le traitement de la gastrite, de la fatigue, de la dyspnée et des maladies du foie suite à l'abus d'alcool (STINTZING *et al.*, 2005).

A. Utilisation en domaine thérapeutique :

- Nettoyage de colon à cause de ça composition en fibre. (SCHWEIZER, 1997)
- Anxiolytique car le Nopal est un calmant naturel qui apporte un comportement calme et paisible pour le corps organique de la pression. (SCHWEIZER, 1997).
- Diététique, le Nopal semble être efficace sur les graisses et le sucre. (SCHWEIZER, 1997).
- Fortifiant (SCHWEIZER, 1997).
- Il joue un rôle important dans Hyperglycémie (ANGULO-BEJARANO *et al.*, 2014)

B. Utilisation en domaine des cosmétiques :

- L'huile de cactus est utilisée pour cicatriser et protéger la peau (BENATTIA, 2017).
- Le mucilage rentre dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants.
- L'huile essentielle des graines des fruits du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, en stérols et en vitamines, elle est utilisée comme antiride naturel et pour la fabrication des crèmes dermiques antirides. (ARBA, 2009).

C. Autres utilisations :

Plusieurs nouvelles applications pour le cactus sont apparues. Ils ont été développées son pouvoir contre les termites comme bio-insecticide. (ANGULO-BEJARANO *et al.*, 2014).

Chapitre 02

Les Huiles Comestibles

1. Les huiles végétales :

L'huile végétale peut être définie comme une huile végétale liquide à température ambiante (RAFIQ *et al*, 2015). Essentiellement, elles sont composées de triacylglycérols (triglycérides) ($\approx 99\%$) et autres constituants, comme stérols, phospholipides et des vitamines liposolubles (COMBE *et al*, 2010). De nombreuses parties de plantes peuvent produire de l'huile, les huiles disponibles dans le commerce sont principalement extraites des graines (RAFIQ *et al*, 2015)

2. Composition des huiles végétales:

Un corps gras (huile ou graisse) est composé d'une grande variété de constituants ; les triglycérides sont très dominants (95-99 %) : glycérol (3-5 %) et d'acides gras (90-95 %). Des constituants minoritaires présents en faible quantité comme les phospholipides (0,1-0,2 %) et les composés insaponifiables (0,1 à 3 %) représentés par les stérols et les tocophérols & tocotriénols mais contenant également d'autres composants. (Morin O, Pagès-Xatart-Parès X, 2012)

2.1. Les triglycérides :

Un produit ester obtenu à partir d'une molécule de glycérol et de trois molécules d'acides gras. Ils peuvent également être produits artificiellement à partir de la réaction du glycérol et des acides gras. (SENIHA GUNER *et al*. 2006) Les glycérides représentent 98 à 99 % du poids.

2.2. Les acides gras :

Des composants majeurs des lipides. Il ya des acides gras à courtes chaînes (AGCC : 4 à 6 atomes de C), moyennes chaînes (AGML : 8 à 12 C), longues chaînes (AGCL : 14 à 18 C) et très longues chaînes (AGCTL : 20 C ou plus). (CUVELLIER ET MAILLARD, 2012)

Les acides gras prédominants présents dans les huiles et graisses végétales sont des composés saturés et insaturés à chaînes aliphatiques droites. Un pair nombre d'atomes de carbone, de 16 à 18, avec un seul groupe carboxyle, est le plus courant. (DANIEWSKI *et al*, 2003).

Les acides gras se classent en trois catégories :

2.2.1. Les acides gras saturés (AGS) :

Sont des acides gras sans aucune double liaison c'est-à-dire la saturation, dont les atomes de carbone sont reliés entre eux uniquement par de simples liaisons. Ils ont une formule chimique générale : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$. (WALRAND *et al*, 2010).

Acides gras saturés	Nombre d'atome de carbone	Formule chimique
Acide butyrique	4	C ₃ H ₇ COOH
Acide caproïque	6	C ₅ H ₁₁ COOH
Acide caprylique	8	C ₇ H ₁₅ COOH
Acide caprique	10	C ₉ H ₁₉ COOH
Acide laurique	12	C ₁₁ H ₂₃ COOH
Acide myristique	14	C ₁₃ H ₂₇ COOH
Acide palmitique	16	C ₁₅ H ₃₁ COOH
Acide stéarique	18	C ₁₇ H ₃₅ COOH
Acide arachidique	20	C ₁₉ H ₃₉ COOH

Tableau III : Les Principaux Acides Gras Saturés AGS

2.2.2. Les acides gras insaturés :

Dans acides gras insaturés AGI, on trouve les AG mono-insaturés (AGMI), à une double liaison, des AG poly-insaturées (AGPI) c'est-à-dire possédant un nombre de doubles liaisons supérieur ou égal à deux. (CUVELIER *et al.*2004)

A. Les acides gras mono-insaturés :

Sont des acides gras a une seule double liaison. L'acide oléique c'est l'acides gras représentatif des AGMI, 18C, une double liaison en oméga 9 (ω 9) ce qui s'écrit C18 :1 ω 9.

B. Les acides gras Poly-insaturés :

Les acides gras Poly-insaturés contenant deux ou plus de double liaisons (insaturations). Selon Saini 2017. Il existe 2 familles d'AGPI essentiels, nommés par rapport à la position de la dernière double liaison et à C terminale, n-3 (ou oméga-3) et n-6 (ou oméga-6).

2.3. Les stérols :

Les stérols sont des alcools secondaires sans azote de poids moléculaire élevé qui contiennent dans leurs molécules un certain nombre de systèmes alicycliques. Les stérols sont largement distribués dans les règnes animaux, végétaux et fongiques (WINDAUS, ADOLF, 1928).

Dans le règne végétal, les stérols sont appelés phyto-stérols et les plus communs sont le β -sitostérol et le stigmastérol. Et dans les graisses animales, c'est le cholestérol qui est le plus important. (CUVELIER *et al.*, 2004)

2.4. Les cires :

Les cires ou esters de cire sont des esters d'acides gras ainsi que des alcools à longue chaîne à la place du glycérol. En général, les cires constituent des acides gras à longue et très longue chaîne (C16-C36) avec des monohydroxyalcools de haut poids moléculaire (C16-C36). Elles peuvent être subdivisées en cires simples et complexes (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2022)

3. Les huiles alimentaires :

Les huiles comestibles sont celles qui servent à la cuisson ou à la friture. Pour chaque huile, il s'agit d'une température critique ou (point fumage) au-dessus de laquelle elle ne doit pas être chauffée. Où l'huile atteint la température critique, ils se décomposent et forment des composés toxiques et l'huile fume. **(HARWOOD J., APARICIO R, 2000)**

Les huiles alimentaires sont composées de 100 % de lipides (environ 99 % de triglycérides, le reste étant composé principalement de lécithines et de vitamine E), et aussi elles ne contiennent pas d'eau et sont très caloriques.

3.1.Composition des huiles alimentaires :

On trouve des huiles riches en acides gras saturés et en acide oléique comme l'huile d'olive avec respectivement 14% et 81%, aussi il Ya Les huiles riches en acides gras polyinsaturés telle que l'huile de soja avec 58% dont 50 à 60% d'acide linoléique, 20 à 30% d'acide oléique et 5 à 9% d'acide linoléique. Et en fin des huiles telles que l'huile de colza avec 33% d'acides gras polyinsaturés, 60% d'acide oléique et 7% d'acides gras saturés nommes les huiles intermédiaires. **(ALAIS *et al.*2008).**

3.2.Les huiles alimentaires usagées :

Les huiles alimentaires usagées sont les résidus de matières grasses, principalement d'origine végétale, utilisé pour la consommation humaine, les opérations de friture dans l'industrie agroalimentaire ou la restauration commerciale, mais aussi par les particuliers. Les huiles alimentaires usagées sont donc des huiles de cuisson ou des huiles de friture.

Aujourd'hui, le procédé de friture est l'un des plus anciens procédés de préparation des aliments et absorbe l'essentiel de l'huile de cuisson produite et consommée dans le monde. Il est utilisé pour la cuisson, la texturation, la déshydratation et la préparation des aliments. La plus utilisée est la cuisson par déshydratation **(ABAGA, ANGE-GODEFROY ESSONO, 2013)**

3.3.Utilisation comme Huile de friture :

Les huiles alimentaires sont l'un des principaux constituants de l'alimentation utilisée à des fins culinaires. Certains chercheurs ont étudié l'effet de la température sur la stabilité, la viscosité, l'indice de peroxyde et l'indice d'iode pour évaluer la qualité et la fonctionnalité des huiles.

La friture est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour la préparation des aliments. La friture répétée provoque plusieurs réactions oxydatives et thermiques qui entraînent une modification des propriétés physicochimiques, nutritionnelles et sensorielles de l'huile. Pendant la friture, en raison des processus d'hydrolyse, d'oxydation et de polymérisation, la composition de l'huile change, ce qui modifie à son tour la saveur et la stabilité de ses composés. D'autre part des différentes réactions dépendentes de certains facteurs tels que le réapprovisionnement en huile fraîche, les conditions de friture, la qualité d'origine de l'huile de friture et la diminution de leur stabilité oxydative.

Par conséquent, il est essentiel de surveiller la qualité de l'huile pour éviter l'utilisation d'huile abusée en raison des conséquences sur la santé de la consommation d'aliments frits dans de l'huile dégradée, pour maintenir la qualité des aliments frits et pour minimiser les coûts de production associée à une élimination précoce de l'huile. (ZAHIR *et al.*, 2017)

3.4.Composition chimique des huiles de fritures :

L'hydrolyse, l'oxydation et la polymérisation de l'huile sont des réactions chimiques courantes dans l'huile de friture et produisent des composés volatils ou non volatils. La plupart des composés volatils s'évaporent dans l'atmosphère avec de la vapeur et les composés volatils restants dans l'huile subissent d'autres réactions chimiques ou sont absorbés dans les aliments frits.

Les composés non volatils de l'huile modifient les propriétés physiques et chimiques de l'huile et des aliments frits. Ils affectent la stabilité de la saveur ainsi que la qualité et la texture des aliments frits pendant le stockage. La friture diminue les acides gras insaturés de l'huile et augmente le moussage, la couleur, la viscosité, la densité, la chaleur spécifique et la teneur en acides gras libres, en matériaux polaires et en composés polymères (CHOE, E., & MIN, D. B, 2007).

3.4.1. Réactions d'oxydation :

Le rancissement oxydatif des AG est un phénomène chimique, spontané, évolutif, irréversible et altératif. Cela peut avoir deux conséquences principales :

- Il cause une dégradation des qualités nutritionnelles, sensorielles et physiques des aliments ;
- Aussi il entraîne des pathologies, comme des désordres intestinaux chroniques, l'artériosclérose, l'athérogenèse, les maladies neurodégénératives et divers types de cancer, si les produits issus de l'oxydation sont consommés pendant longtemps. (DRIDI, 2016)

L'oxydation se marque par l'attaque de l'oxygène atmosphérique aux AGI portés par les molécules lipidiques. Cette réaction implique :

Le substrat qui est les AGI avec des hydrogènes en position allylique et bis-allylique (Figure), se trouvant généralement estérifiés au sein des triglycérides et des phospholipides qui sont les principales classes de lipides alimentaires, et le réactif qui est l'oxygène atmosphérique.

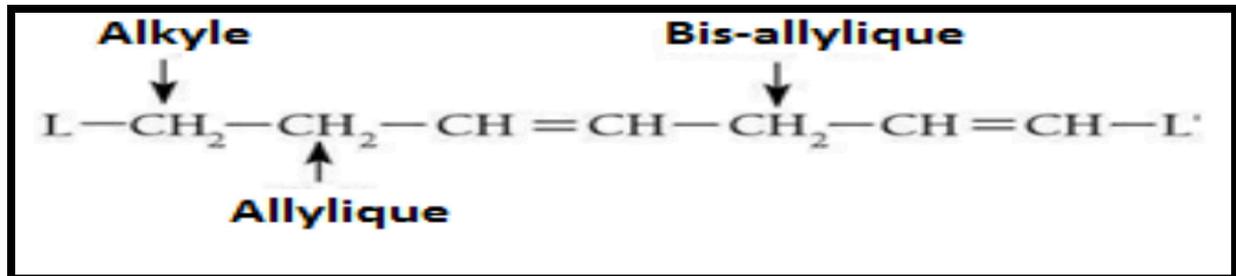


Figure 02 : Éliminations possibles de l'hydrogène des liaisons C-H allyliques et bi-allyliques des acides gras insaturés. (DRIDI, 2016).

3.4.2. Réaction de polymérisation :

La polymérisation est un processus dans lequel une substance de faible poids moléculaire est convertie en une substance de poids moléculaire plus élevé de même composition tout en maintenant l'arrangement des atomes présents dans la molécule de base (JAMES G et SPEIGHT, 2020)

La polymérisation se produit pendant la friture, entraînant la formation de composés de masse moléculaire élevée et de matières particulaires polaires.

Les huiles riches en acide linoléique sont plus susceptibles de polymériser pendant la friture que les huiles riches en acide oléique. Les polymères formés lors de la friture sont enrichis en oxygène. Les composés polymères oxydés accélèrent l'oxydation de l'huile. Les polymères accélèrent la décomposition de l'huile, augmentent la viscosité de l'huile, réduisent le transfert de chaleur, créent de la mousse pendant la friture et créent une couleur indésirable dans les aliments (SHARMA *et al.*).

3.4.3. Réaction d'hydrolyse :

L'hydrolyse des huiles et des graisses est une opération ou laquelle les huiles sont régité avec le KOH éthanolique pour la formation du glycérol et des acides gras. La production d'AG et de glycérol à partir d'huiles est importante notamment dans les industries oléochimiques (SALIMON *et al.*, 2011)

4. Les impacts environnementaux des huiles végétales usagées :

Le débarrasage des huiles se fait généralement dans les canalisations en les jetant dans les éviers, les WC ou les égouts par plusieurs personnes. Cet action cause des dégâts néfastes sur l'environnement par ; le bouchage des canalisations avec les graisses jetées dans les éviers et

les WC, ainsi que les dépôts graisseux créent des zones anaérobies conduisant à des effets négatives; et enfin arrivant aux égouts, les huiles finiront dans une station d'épuration des eaux usées et compliqueront très fort son fonctionnement ou pollueront des cours d'eau. (STAINIER, 2013)

Les huiles de pétrole, les huiles végétales et les graisses animales partagent des propriétés physiques communes qui produisent des effets environnementaux similaires à ceux décrits dans la littérature. Ils comprennent :

- * Suffocation d'animaux et de plantes enduits d'huile
- * Eutrophisation due aux micro-organismes, au phytoplancton et aux algues qui utilisent l'huile de friture usagée comme source de nourriture
- * Réduction de la teneur en oxygène dissous et la mort des plantes et des animaux aquatiques en raison de l'existence de la couche d'huile sur les plans d'eau qui empêche la lumière du soleil d'atteindre les plantes aquatiques étouffant la photosynthèse
- * Production d'odeur rance
- * Colmatage des systèmes de drainage et des usines de traitement des eaux
- * Isolement du sol de l'air et de l'eau, tuant les vers de terre et les bactéries nécessaires à la régénération des plantes
- * Prolifération de rats et de vermine qui se nourrissent de l'huile de cuisson usée solidifiée, ce qui crée un problème de lutte antiparasitaire ou un danger pour la santé. (SINGH-ACKBARALI *et al*,2017)

5. Valorisation des huiles alimentaires usagées :

5.1. Biocarburant et Biodiesel :

Les biocarburants peuvent être définis comme des carburants de transport liquides produits à partir de ressources de biomasse renouvelables telles que des plantes, des sous-produits animaux ou des micro-organismes. Parmi les types de biocarburants, il existe le biodiesel (LINDA ET THOMAS, 2022).

La production de biodiesel est un procédé réalisé par trans-estérification, qui est une technique dans laquelle des huiles végétales, des graisses animales ou des huiles à base de micro-algues sont mélangées avec des alcools (éthanol ou méthanol) en présence de catalyseurs homogènes (acides ou basiques) ou hétérogènes. Selon la procédure et les réactifs utilisés, cette méthode peut être réalisée à froid ou à chaud (BOULAL *et al* ,2016).

5.2. Saponification :

Le savon est le produit d'un processus chimique appelé saponification, est une réaction chimique qui se produit lorsque des graisses ou des huiles entrent en contact avec une base.

Dans cette réaction, les unités triglycérides des graisses réagissent avec NaOH ou de KOH et produisent un mélange de savon et de glycérine (LUNDY.M, 2022) (BHAVANI *et al*, 2023).

5.3.Régénération des huiles végétales usées :

D'après Art2 du décret exécutif n° 04-88 du Aouel Safar 1425 correspondant au 22 mars 2004, la régénération des huiles comprend les opérations qui permet de produire des huiles de base par un raffinage d'huiles usagées impliquant, la séparation des contaminants, produits d'oxydation et additifs que ces huiles contiennent.

Le recyclage des huiles usagées pourrait non seulement réduire les problèmes d'élimination, mais, plus important encore, augmenterait l'utilisation efficace des ressources alimentaires et agricoles. (ATSUSHI MIYAGI,2003).

6. Les avantages de la collecte et du traitement des huiles végétales usées :

La valorisation de déchets est un concept clé pour réduire l'impact environnemental et les coûts des productions chimiques (AZENNA *et al*, 2023). Donc, il est nécessaire de mettre en place un système de collecte sélective et un traitement particulier des huiles usagées, afin de :

- L'augmentation de la capacité d'épuration des systèmes d'assainissement, diminution de la production de déchets dans les usines dépuratrices, diminution des rejets de graisses dans le milieu naturel et l'amélioration du fonctionnement des bacs d'aération pour protéger l'environnement contre la pollution.

- Économies financières du réseau d'assainissement collectif par le fonctionnement du réseau et fonctionnement de l'usine dépuratrice (CAR/PP, 2000).

Les huiles végétales usagées sont largement diffusées et faciles à recycler. De plus, à partir du traitement des huiles, il est possible d'obtenir de nombreux produits chimiques avec des applications dans plusieurs segments de marché : de l'énergie (combustion), des transports (biodiesel), de l'industrie (lubrification), de l'alimentation (ingrédients comestibles), cosmétiques (SEROURI *et al*, 2021).

- Obtention des produits nouveaux qui peuvent être utilisés comme matières premières dans l'élaboration des aliments, des peintures, des détergents, des humectants, des tensioactifs, des biocombustibles, et réduire par la même occasion les rejets d'huiles non contrôlés (CAR/PP, 2000).

Partie II : Partie Expérimentale

Chapitre I :

Matériels et Méthodes

Ce travail a été effectué à deux parties, le traitement des huiles usées par le cactus qui a été effectué au niveau de la faculté SNVST université de Bouira, La deuxième partie qui est les analyses des huiles a été effectuée au niveau de l'industrie agroalimentaire EPE MAHROUSSA SPA filiale AGRODIV (huile de safia), pendant une période de stage du mai à juin 2023.

I. Matériels et méthodes :

1. 1. Matériel et Produits utilisés :

Le matériel et les produits utilisés lors de cette étude expérimentale sont rassemblés dans les tableaux.

1.1.1. Matériels utilisés :

Tableau IV : Matériels utilisés.

Verreries	Entonnoir
Passoire	Tubes à centrifuger
Barreaux magnétique	Ampoule à décanter
Papier filtre	Broyeur épice
Pilon et mortier	Tamiseur
Centrifugeuse	Agitateur
Réfrigérant à reflux	Étuve
Chauffe ballon	Balance électrique
Thermomètre	/

1.1.2. Les produits utilisés :

Tableau V : Les Produits utilisés.

Produit	Formule brute	Masse molaire (g/mol)	Densité	Pureté(%)
Éthanol	C ₂ H ₅ O	46,07	0,789	99,8
Hydroxyde de potassium	KOH	56,1	/	95
Acide chlorhydrique	HCl	36,46	1,18	36
Phénophtaléine	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	318,32	/	
Chloroforme	CHCl ₃	119,38	119,4	99

Acide acétique	CH ₃ COOH	60,04	1,0480	99,5
Iodure de potassium	KI	166,01	/	99
Empois d'amidon	C ₆ H ₁₀ O ₅	162,141	/	/
Thiosulfate de sodium	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	248,18	/	99
Tétrachlorure de carbone	CCL ₄	153,82	153,82	99,9
Réactif de wijjs	ICI	162,357	1,06	98,3

1.2. Matériel végétale :

Collection de cactus : le cactus a été collecté de plusieurs arbre de l'espèce *Opuntia ficus-indica* dans la commune de Bouderbala – Lakhdaria durant le mois de Mars 2023 pour la poudre et pour le gel le mois d'avril 2023 pour qu'il reste frais.

Collection des huiles : Les huiles de fritures ont été collectées dans 3 fast-foods de la ville de Lakhdaria durant le mois d'avril 2023 selon la méthode suivante :

Les fast-foods ont été choisis en raison de la très grande quantité d'huile utilisée chaque jour. Les huiles usagées (3L) pour chaque fast-food ont été mélangées, homogénéisées pour former la matière première de régénération.

1.3. Méthodes :

1.3.1. Extraction du mucilage de cactus :

Les cladodes ont été bien lavées, après avoir enlevé les épines, éplucher et broyer par un mixeur. Le liquide obtenu a été recueilli et filtrée au tamisage. Enfin une agitation pour l'homogénéisation pendant 15 à 20 minutes.

1.3.2. Préparation de la poudre de cactus :

Les morceaux de cactus (1cm×1cm) ont été pesés puis déposés les uns devant les autres sur des plateaux bien nettoyés, sèches à l'air libre.

Une vérification du changement la couleur est régulièrement faite, qui est un bon indicateur sur déshydratation. Après 20 jours les morceaux ont été broyés avec un pilon et mortier puis pour avoir une poudre très fine nous avons utilisé le broyeur à épice et enfin le tamisage de la poudre à 200µm.



Figure 03 : Séchage de figuier de barbarie.



Figure 04 : Broyage de cactus séché et avoir une poudre fine.

1.3.1. Préparation des huiles usées :

Des quantités des huiles comestibles usées recueillies à partir des fast foods ont été préparées dans cette étape. Avant de traiter l'huile usée à la poudre et le mucilage de cactus, l'huile subit une filtration pour l'élimination des impuretés, telles que les particules de fritures et les autres impuretés. Cela a été réalisé tout d'abord par une compresse et une passoire puis à l'aide d'un entonnoir muni d'un papier filtre placé sur ce dernier dans un bécher. Deux litres d'huile usagée ont été filtrés pour deux échantillons recueillis respectivement.

Les huiles ont été centrifugées à 1500 tr/min pendant 10 minutes. Ensuite, elles ont été laissées au repos pendant 10 minutes avant la décantation dans un bécher.

1.4. Traitement des huiles usées par la poudre et le mucilage de cactus :

Les huiles usées ont été divisées en 6 échantillons de 200 ml ou 3 ont été traitées avec la poudre de cactus à des concentrations différentes 0,1, 0,2 et 0,3g/ml respectivement.

Les 3 autres ont été mélangées avec le mucilage de cactus avec trois concentrations 0,1, 0,2 et 0,3ml/ml respectivement.

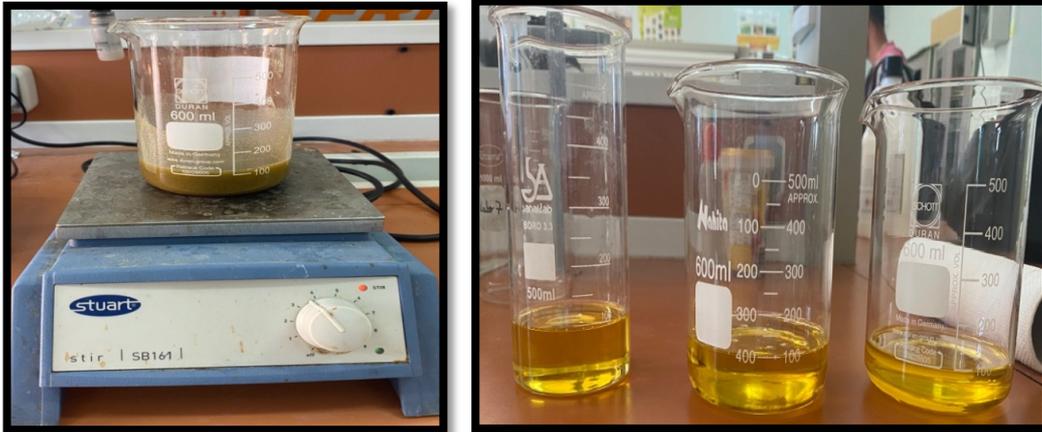


Figure 05 : préparation et agitation des huiles traitées avec la poudre et le mucilage.

La durée d'agitation a été de 2 heures pour HP et 15 minutes pour HM, ensuite les échantillons ont été mis dans des ampoules à décantés avec du coton afin d'éliminer les résidus de la poudre et du mucilage. Les huiles traitées par le cactus ont été filtrées avec du papier filtre pour éliminer les micro impuretés. Les HM ont été centrifugées avant filtration pour séparer le mucilage qui reste et subit la même filtration à la fin avec du papier filtre.

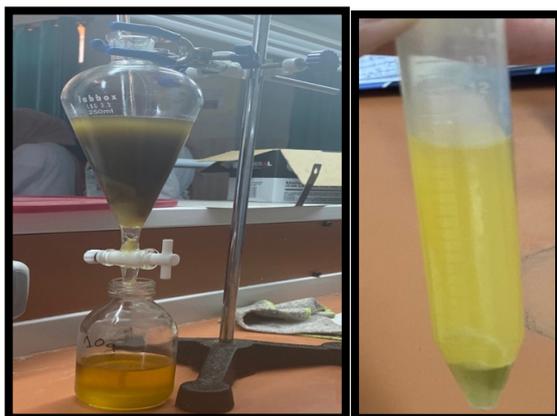


Figure 06 : Décantation après le traitement et centrifugation de l'huile traitée par le mucilage.

II. Propriétés physico-chimiques : (Selon AOAC, 1998)

II.1. La densité relative (20C°) :

C'est le rapport de la masse d'un certain volume d'huile à 20°C, et la masse d'un volume égal d'eau distillée à la même température.

À l'aide d'une balance analytique, effectuer de pesées successives de volume égal d'huile et d'eau à la température de 20°C.

- **Mode opératoire**

Une masse **m1** d'un bécher rempli d'eau a 20C° été déterminé, après avoir pesée le bécher vide **m0**. Ensuite le bécher a été remplis avec l'huile et pesée et déterminé **m2**, ou la formule de la densité relative est donnée :

$$d_{20}^{20} = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)$$

m0: Masse (g) du bécher vide.

m1 : Masse (g) du bécher rempli d'eau.

m2: Masse (g) du bécher rempli d'huile.

II.2. La teneur en eau (humidité) :

L'humidité est basée sur la détermination du poids de l'huile avant et après séchage à l'étuve, toute diminution du poids indique la présence d'humidité.

- **Mode opératoire :**

Un bécher séché à l'étuve et refroidit dans un dessiccateur a été pesé (soit P0 le poids correspondant). Puis, 20 g d'huile ont été pesé dans ce bécher.

Ce dernier est introduit dans une étuve réglée à 110 °C pendant 30 minutes, ensuite, il est pesé après refroidissement dans un dessiccateur, cette opération est répétée jusqu' à la stabilisation du poids (PF). L'humidité est calculée avec l'équation :

$$H\% = m - (m_1 - m_0) / m \times 100$$

Où :

H% : l'humidité en pourcentage.

m : masse de la prise d'essai.

m0 : masse de cristalliseur vide.

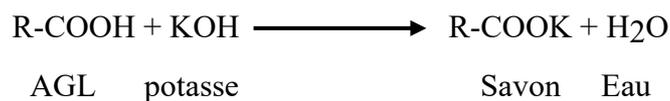
m1 : masse final de cristalliseur.

II.3. Indice d'acide :

L'acidité est le pourcentage d'acide gras libre dans la matière grasse (huile), elle est exprimée en pourcentage d'acide oléique. Il nous renseigne sur le degré d'hydrolyse. L'indice d'acide Consiste à la neutralisation uniquement des acides gras libres par une solution de KOH à chaud en présence de phénolphtaléine ces derniers se caractérisent par le virage de la couleur rose vers transparente.

- **Mode opératoire :**

Tout d'abord Une masse de 10g de l'huile a été solubilisé dans 75 ml de solution d'alcool neutralisée (éthanol), quelques gouttes d'un indicateur coloré phénolphtaléine ont été ajoutée. Enfin la solution a été titré avec le KOH à 0.1N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante et le volume de KOH pour neutralisation a été note à la fin.



- **Expression de calcul :**

$$\text{Indice d'acide} = \frac{M_1 \times V \times N}{P}$$

$$\text{Acidité \%} = \frac{I_A}{2}$$

Où

M₁ : masse molaire de KOH = 56,1 g/mol.

N : Normalité de KOH à 0.1N.

V : volume de KOH nécessaire au titrage

P : poids de la prise d'essai. **I_A** : indice d'acide.

II.4. Indice de peroxyde :

C'est la quantité de produit présente dans l'échantillon exprimée en milliéquivalent gramme d'oxygène actif par kilogramme de corps gras oxydant l'iodure de potassium. Cet indice nous renseigne sur le degré d'oxydation et d'altération des matières grasses.

Il consiste à un traitement d'une quantité d'huile en solution dans l'acide acétique et le chloroforme par une solution d'iodure de potassium (KI) ; le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré.

- **Mode opératoire :**

Une masse de 5g de l'échantillon (huile) a été solubilisé dans 10 ml de chloroforme, ensuite 15 ml d'acide acétique, avec 1 ml d'iodure de potassium KI ont été ajoutés. Le flacon a été aussi tôt bouché, agité durant 1 minute et laissé durant 5 minutes à l'abri de la lumière. 75 ml d'eau distillée a été ensuite ajoutée tout en agitant vigoureusement et en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon comme indicateur. Enfin La solution a été titrée à l'aide de la solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) a 0.01 N, jusqu'à l'apparition de la couleur transparente et parallèlement un essai à blanc (sans huile) a été effectué.

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

$$I_p \text{ (m\acute{e}q g O}_2 \text{ / kg MG)} = \frac{(N \times (V_1 - V_0) \times 1000)}{P}$$

Où:

V₀ : volume de la solution de thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en ml.

V₁ : volume de thiosulfate de sodium utilisé en ml.

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0,01N.

P : prise d'essai en gramme.

I_p : indice de peroxyde exprimé en milliéquivalent gramme d'oxygène actif par kilogramme de matière grasse.

II.5. Indice d'iode :

L'indice d'iode est le nombre en gramme d'iode fixé par 100g de corps gras. Il nous renseigne sur le degré d'insaturation des chaînes carbonées des acides gras constitutifs des matières grasses. Cette réaction d'addition est utilisée pour déterminer qualitativement l'insaturation des corps gras.

- **Mode opératoire :**

Une masse de 0,13 g d'huile, a été solubilisé dans 15 ml de tétrachlorure de carbone. Un volume de 25 ml du réactif de Wijs a été ensuite additionné. Le flacon a été maintenu fermé, agité, puis

placé à l'abri de la lumière pendant une heure. Un volume de 20 ml d'une solution à 10 % d'iodure de potassium et 150ml d'eau ont ensuite été ajoutées tout en agitant soigneusement.

L'iode libéré a été enfin titré avec le thiosulfate de sodium (0,1 N) en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon. En parallèle un essai à blanc dans les mêmes conditions a été effectué.

- **Expression de calcul**

Où :

$$I_i = \frac{N(V - V_0) \times 12,69}{P}$$

V : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml.

V₀ : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml.

N : normalité de thiosulfate de sodium.

12,69 : masse d'iode correspondant à 1ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras.

II.6. Indice de saponification :

L'indice de saponification correspond au nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour saponifier les acides gras contenus dans un gramme de matière grasse. Cette valeur est d'autant plus élevée que les acides gras sont de faible poids moléculaire.

- **Mode opératoire**

Une masse 2g d'huile ont été introduit dans un ballon à fond rond puis 25 ml de solution KOH dans l'éthanol à 0.5 N ont été ajoutée, la solution a été portée à l'ébullition dans un chauffe ballon surmonté d'un réfrigérant à reflux pendant une heure.

Après refroidissement le mélange a été récupérée dans un bécher, enfin le mélange a été titré avec l'acide chlorhydrique HCl à 0.5 N en présence de quelque gouttes de l'indicateur coloré (phénolphtaléine) jusqu'à la disparition de la couleur rose et réapparition de la couleur initiale du mélange (transparente). En parallèle un essai à blanc dans les mêmes conditions a été effectué.

L'indice de saponification a été déterminé selon l'équation suivante :

$$IS = \frac{((V_0 - V) \times N \times M)}{P} \quad \text{Où :}$$

V₀ : volume en ml de HCl utilisé pour l'essai à blanc.

V : volume en ml de HCl utilisé pour l'échantillon à analyser.

P : prise d'essai en grammes.

N : la normalité de l'acide chlorhydrique HCl 0.5N.

II.7. Traces de savons (alcalinité de savon)

L'alcalinité est exprimée en oléates de sodium en partie par million (ppm). L'alcalinité du savon est libérée directement dans l'acétone en présence de bleu de bromophénol (indicateur coloré), elle est ensuite titrée par l'acide chlorhydrique (HCl à 0,01N).

- **Mode opératoire :**

Dans un ballon 48,5ml d'acétone et 1,5ml d'eau distillée ont été introduit. Quelques gouttes de bleu de bromophénol ont été ajoutés, suivit d'une neutralisation par l'acide chlorhydrique à 0,01N jusqu'à la zone de virage coloré (jaune).

Ensuite, une masse de 40g d'huile a été ajoutée à cette solution, le mélange a été agité.

La solution est titrée avec l'acide chlorhydrique (0,01N) jusqu'au virage de la couleur au jaune de l'indicateur.

- **Expression des résultats :**

$$TS = \frac{V \cdot N}{Eq \text{ savon} \cdot 100/m}$$

Où :

Ts : traces de savon (ppm).

V : volume en (ml) de la solution d'acide chlorhydrique.

m : prise d'essai en (g).

N : normalité de HCl.

Eq savon : masse molaire de l'oléate de sodium (304g/mol).

II.8. Indice d'ester

Indice d'ester d'un corps gras est la masse d'hydroxyde de potassium (KOH), exprimée en milligramme, nécessaire pour saponifier les acides gras estérifiés présents dans un gramme de corps gras. Il permet aussi de déterminer la masse molaire (donc la structure) des glycérides, cet indice n'est pas mesuré.

L'indice d'ester est donné par la relation suivante :

$$\text{Où : } I_E = I_S - I_A$$

I_E : Indice d'ester. I_S : Indice de saponification. I_A : Indice d'acide.

II.9. Taux d'impuretés

L'altération des corps gras peut être estimée par le calcul du pourcentage d'impuretés. Le taux d'impuretés est donné par la relation suivante :

$$\% \text{ d'impuretés} = \frac{I_A}{I_S} \times 100$$

I_A : Indice d'acide. I_S : Indice de saponification.

Analyse statistique :

La représentation graphique et les tableaux des données a été réalisée grâce au logiciel Graph Pad Prism 8.0.2. La valeur moyenne est accompagnée de l'erreur standard sur la moyenne (Moyenne \pm SEM). La différence entre deux valeurs est considérée comme significative lorsque $P < 0,05$. L'analyse statistique des résultats a été réalisée en utilisant l'analyse des variances (ANOVA). La signification de la différence testée est déterminée en comparant la probabilité P associée à la statistique du test de Fischer au seuil théorique de $\alpha = 0,05$. Ainsi lorsque $P > 0,05$, il n'existe pas de différence significative, par contre lorsque $P < 0,05$, il existe une différence significative entre les différentes moyennes.

Chapitre II : Résultats Et Discussion

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats d'analyses des paramètres Physico-chimiques des huiles alimentaires usées (friture) traitée par la poudre de cactus et aussi son mucilage avec des différentes concentrations.

Les résultats de cette partie expérimentale sont interprétés par des graphes et des tableaux regroupés ci-dessous.

1. Les propriétés physico-chimiques des huiles :

1.1. La densité relative (20°C) :

La détermination de la densité est un des critères de pureté d'une huile. Elle est en fonction de la composition chimique des huiles et de la température. Dans cette étude, il a été déterminé ce critère de pureté à une température de 20°C (ROBIN,1990).

Les résultats sont mentionnés dans le tableau VI.

Tableau VI : Résultats de la densité d'huile traitée par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.

	Norme C.A	Témoin (Huile usée)	HP (g)			HM (ml)		
			10	20	30	10	10	30
Densité 20°C	0,919_0,924	0,952 ±0,013 ^a	0,950 ±0,02 ^a	0,945 ±0,010 ^a	0,924 ±0,008 ^a	0,946 ±0,005 ^a	0,942 ±0,008 ^a	0,940 ±0,004 ^a

Norme C.A : norme de Codex Alimentarius, **HP :** Huile traitée par la poudre de cactus, **HM :** huile traitée par le mucilage de cactus.

Les résultats présentant la même lettre (a) ne sont pas significativement différents ($p > 0.05$)

Il a été remarqué que les résultats des valeurs de la densité relative (d_{20}^{20}) sont diminués dans les deux huiles traitées, soit par la poudre de cactus soit par son mucilage.

Il a été observé que les valeurs de la densité des huiles traitées par la poudre de cactus sont diminuées progressivement dans les trois concentrations 0,950, 0,945 et 0,924 respectivement par rapport à l'huile usée (témoin) qui a une valeur de 0,952. Contrairement aux huiles traitées par le mucilage il a été marqué une légère diminution avec des valeurs de 0,946, 0,942

et 0,940 respectivement. Statistiquement, le mucilage ne diffère pas significativement de la poudre ($p>0,05$).

Les résultats obtenus sont supérieurs par rapport à la norme établie par le ‘‘codex STAN 210-1999’’ qui est de 0,919 jusqu’à 0,924, sauf HP a une concentration de 30g qui a été conforme à la norme.

Cette diminution peut s'expliquer par les différentes quantités d'eau et d'autres particules présentes dans l'huile. Même après un long usage de l'huile, la densité ne change pas beaucoup.

1.2. La teneur en eau :

Le tableau représente les résultats de la teneur en eau des huiles avant et après le traitement par la poudre et le mucilage de cactus.

Tableau VII : Les valeurs moyennes de la teneur en eau d’huile traitée par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.

	Norme C.A	Témoin (Huile usée)	HP (g)			HM (ml)		
			10	20	30	10	20	30
Teneur en eau (%)	$\geq 0,2$	0,117 $\pm 0,01^a$	0,059 $\pm 0,009^a$	0,023 $\pm 0,002^a$	0,020 $\pm 0,003^a$	0,129 $\pm 0,01^a$	0,083 $\pm 0,01^a$	0,394 $\pm 0,004^a$

Norme C.A : norme de Codex Alimentarius, **HP :** Huile traitée par la poudre de cactus, **HM :** huile traitée par le mucilage de cactus.

Les résultats présentant la même lettre (a) ne sont pas significativement différents ($p>0,05$)

D’après les résultats de tableau, il a été observé que les trois valeurs des huiles traitées par la poudre de cactus ont été trouvées inférieures à celle de l’huile usée 0,059%, 0,023% et 0,020% respectivement %. Et dans le cas des huiles traitées par le mucilage de cactus, les valeurs se varient entre 0,129% et 0,394%.

Les résultats obtenus ont montré que la majorité des échantillons d’huiles traitées par la poudre et le mucilage ont une humidité relativement faible, dans les environs de 0,1%.

Statistiquement, la poudre ne diffère pas significativement de mucilage $p>0,05$.

Selon le ‘‘Codex Alimentarius STAN 210-1999’’ le taux moyen de l’humidité des huiles végétales est 0.2% ; donc la plupart des résultats obtenus sont conformes à la norme à l’exception de HM à une concentration de 30 ml qui a été trouvée supérieure la norme.

Ces résultats peuvent s'expliquer par la quantité de l’eau contenue dans le mucilage qui atteint 95g/100g (BOUTAKIOUT,2015).

1.3. Traces de savon :

Les résultats de trace de savon sont nuls dans tous les échantillons même par rapport à l'huile usée. Selon "Codex Alimentarius STAN 210-1999" la teneur en savon de l'huile fini ne doit pas être supérieure à 0,005 ppm, donc les résultats sont conformes au CA.

1.4. Indice d'acide :

L'indice d'acide est établi pour mesurer la quantité d'acides gras libres résultant des réactions hydrolytiques des triglycérides. Il est considéré comme un critère de qualité permettant d'avoir des informations sur l'état de conservation d'une huile ; une huile de bonne qualité doit présenter une acidité faible ou nulle. (KPOVIESSI *et al.*, 2004).

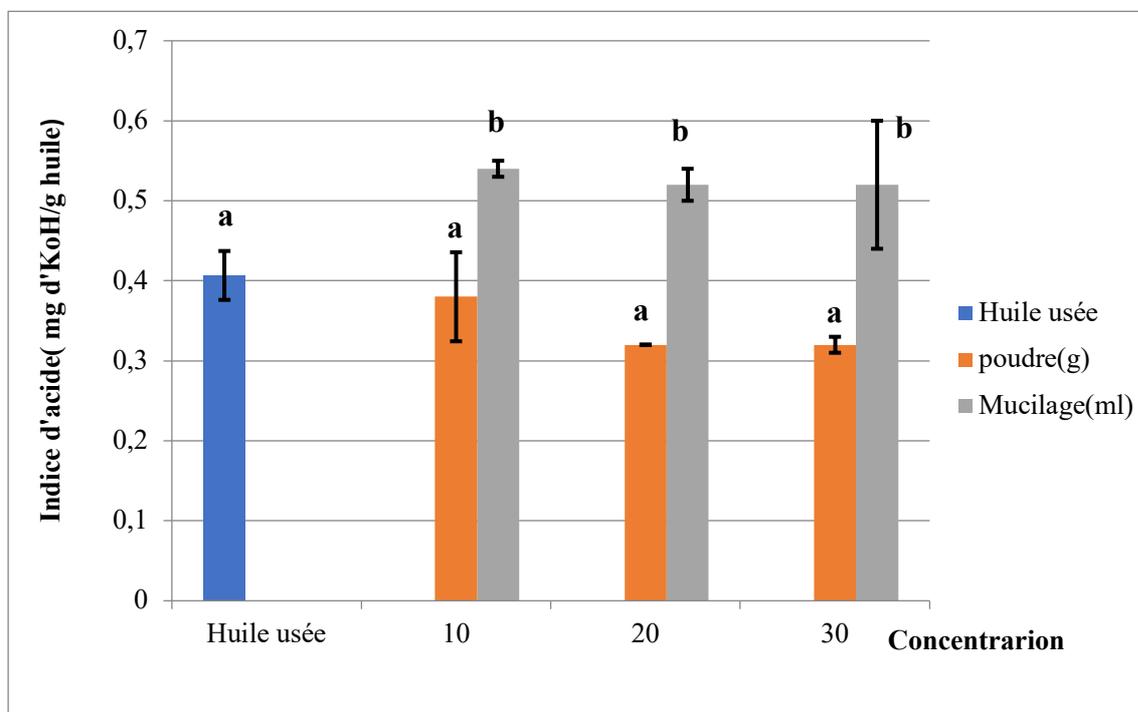


Figure 07 : Indice d'acide des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.

Les résultats indiqués par les deux lettres a et b présentent une différence significative ($p < 0,05$)

D'après les résultats consignés dans la figure 07, il a été observé que les valeurs des huiles traitées par la poudre de cactus oscillent entre 0,32 et 0,38 mg KOH/g MG et celles traitées par le mucilage de cactus varient entre 0,52 et 0,54 mg KOH/g MG. Par contre celle de l'huile usée (témoin) est de 0,40 mg KOH/g MG. Il a été constaté que les valeurs moyenne de l'indice d'acide de l'huile traitée par le mucilage sont plus élevées par rapport aux huiles traitée par la poudre mais aussi élevé par rapport au témoin (huile usée).

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré que les valeurs moyennes de la poudre sont significativement différentes de celle du mucilage $p < 0.05$.

Ces résultats montrent que la poudre a nettement amélioré ce paramètre par rapport au mucilage. Ceci s'explique par l'acidité du mucilage avant de le mélanger $\text{pH} = 4,6$. Ces valeurs sont dans l'intervalle des caractéristiques de la qualité des huiles végétales fixées par le "CODEX STAN 210-1999" qui est au maximum de 0,6 % pour les huiles raffinées.

1.5. L'indice de peroxyde :

L'indice de peroxyde est un paramètre pour évaluer le degré d'oxydation chimiquement lié à une huile ou à corps gras sous forme de peroxydes, en particulier d'hydroperoxydes. Plus l'indice de peroxyde est élevé, plus l'huile est oxydée. (KABRE *et al.*,2021)

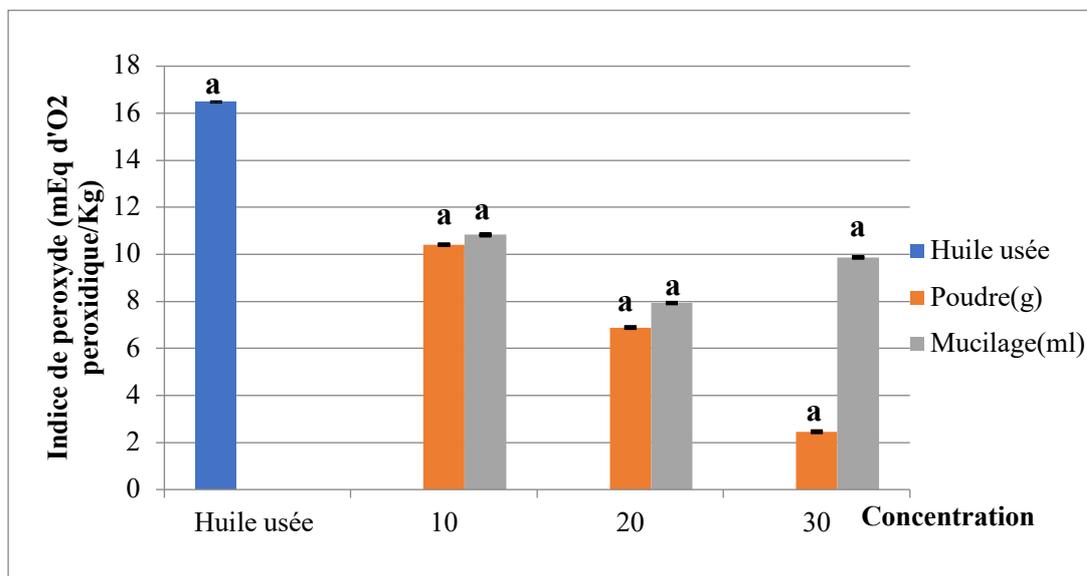


Figure 08 : Indice de peroxyde des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.

Les résultats indiqués par une même lettre (a) ne présentent pas une différence significative ($p < 0,05$)

Les résultats du figure 08 montrent que la valeur de l'indice de peroxyde d'huile usée est plus élevée que la norme 10 meq d'O₂/kg maximum avec une valeur de 16,48 meq d'O₂/kg, on remarque une diminution des valeurs de l'indice de peroxyde dans les huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus. Les résultats de IP dans l'huile traitée par la poudre ont diminué en augmentant les concentrations avec une valeur de 10,41 meq d'O₂/kg, 6,89 meq d'O₂/kg et 2,46 meq d'O₂/kg pour 10,20 et 30g/ml respectivement. Une légère diminution est remarquée dans les valeurs de IP pour l'huile traitée par le mucilage avec une valeur allant du 10,83 meq d'O₂/kg jusqu'à 7,93 meq d'O₂/kg pour les concentrations 10ml/ml et 20ml/ml mais il a été observé qu'il ya une augmentation de la valeur d'IP dans la concentration 30ml/ml, qui peut être due à l'exposition de l'échantillon à l'air et la lumière durant la manipulation. Mais en général les résultats sont inférieurs à l'huile usée ou la plupart des valeurs sont conformes aux normes du codex alimentarius (1999).

De plus, l'analyse ANOVA a montré que la poudre ne diffère pas significativement de mucilage $p < 0.05$.

1.6. L'indice d'iode :

L'indice d'iode permet de mesurer le degré d'insaturation globale d'une matière grasse. Il renseigne, donc, sur le degré d'oxydation des huiles. (ADRIAN *et al.*, 1998)

Selon KPROVIESSI *et al* (2004), les valeurs élevées de cet indice indique la richesse de l'huile en AGI.

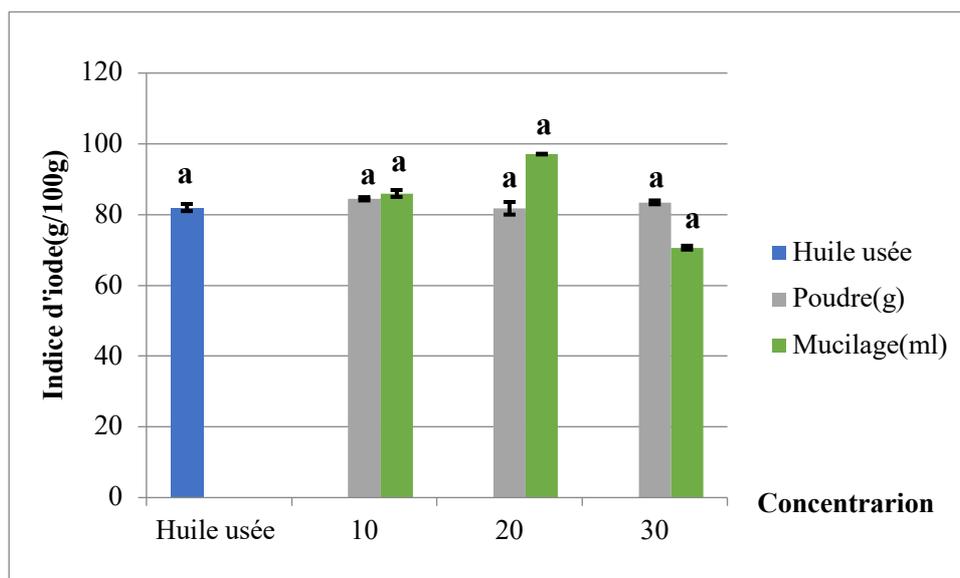


Figure 09 : Indice d'iode des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) à des différentes concentrations.

Les résultats indiqués par une même lettre (a) ne présentent pas une différence significative ($p > 0,05$)

D'après les résultats obtenus dans l'histogramme illustrées dans la figure 09. Il a été consigné qu'il y'a une augmentation des valeurs dans les huiles traitées par le cactus que ça soit la poudre ou mucilage avec une meilleure valeur pour l'huile traitée par le mucilage avec une concentration de 20ml/ml de 97,1mg/100g respectivement, par rapport au l'huile usée, cette valeur se rapproche de la norme qui est de 124-139mg/100g, cela peut s'expliquée par l'augmentation de degré d'insaturation des AG. Concernant l'huile traitée par le mucilage a la concentration 30ml/ml, la valeur d'II a été trouvée avec une valeur 70,67mg /100g. Cette diminution peut s'expliqué par la saturation des AGI. Donc les huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus ont récupérées leurs propriétés et leurs caractéristiques et sont devenues optimales à la consommation.

En effet, l'analyse de la variance (ANOVA) a montré que les valeurs de l'huile traités par la poudre ne sont pas significativement différentes de celle du l'huile traités par le mucilage $p > 0.05$.

1.7. L'indice de saponification :

L'indice de saponification d'un corps gras est d'autant plus élevé que la chaîne carbonée des acides gras est courte. (TCHIEGANG *et al*, 2004)

Les résultats de variation des moyennes des indices de saponification des échantillons étudiés sont illustrés dans la figure 10 :

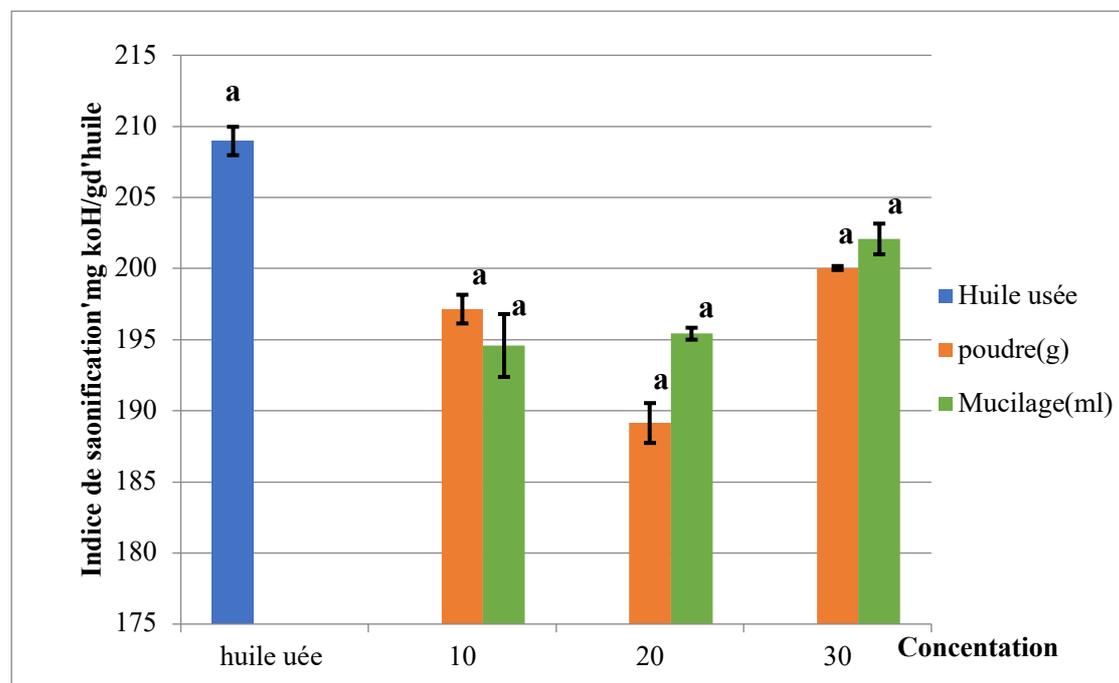


Figure 10 : Indice de saponification des huiles traitées par le cactus (poudre et mucilage) a des différentes concentrations.

Les résultats présentant la même lettre (a) ne sont pas significativement différents ($p > 0.05$)

D'après les valeurs de IS des échantillons analysés, il est observé qu'il ya une amélioration dans tous les échantillons, ou les valeurs ont diminuées pour atteindre les limites fixées par le "codex STAN 210-1999" (189 –195 mg KOH / g MG Pour les huiles raffinées)

En outre, les valeurs obtenues dans cette étude pour HP au 10,20 et 30/100ml sont 197,15 mg KOH / g MG 189,14 mg KOH / g MG et 200,04 mg KOH / g MG respectivement, ou il a été constaté qu'elles se rapprochent aux normes établies par le codex(norme,,,,), par rapport à l'huile usée 208,97 mg KOH / g MG. De même il a été observé une légère diminution des valeurs de HM avec 194,59 mg KOH / g MG 195,42 mg KOH / g MG et 202,08 mg KOH / g MG respectivement. Donc dans toutes les huiles traitées par le cactus Il y aurait une diminution de la longueur des chaines d'acides gras.

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré que les valeurs de l'huile traités par la poudre ne sont pas significativement différentes de celle du l'huile traités par le mucilage $p>0.05$.

1.8. Indice d'ester :

L'indice d'ester est déterminé par l'indice de saponification et l'indice de l'acidité des huiles. Cet indice est utilisé pour connaitre la longue de chaines carbonées des AG et évaluer la masse molaire des esters présents dans les huiles. (LAZOUNI *et al* ,2007)

Les résultats des valeurs moyennes d'indice d'ester sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau VIII : l'indice d'ester des huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.

	HP(g)		
Concentration	10	20	30
Indice d'ester	196,7±0,01 ^a	188,8±0,003 ^a	199,7±0,003 ^a
	HM (ml)		
Concentration	10	20	30
Indice d'ester	194,05±0,05 ^a	194,9±0,05 ^a	201,5±0,01 ^a
Huile usée	208,5±0,01 ^a		

HP : Huile traitée par la poudre de cactus, **HM** : huile traitée par le mucilage de cactus.

Les résultats présentant la même lettre (a) ne sont pas significativement différents ($p>0,05$)

D'après les résultats ci-dessus, il a été constaté que les valeurs de l'huile traitée par la poudre de cactus ainsi que le mucilage varient entre 188,8 et 201,5 mg KOH/g. Cette différence peut être due à la variation de l'indice de saponification et l'indice de l'acide.

Statistiquement, la poudre ne diffère pas significativement de mucilage $p>0,05$.

1.9. Taux d'impuretés :

Les résultats de taux d'impureté sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IX: Le taux d'impuretés des huiles traitées par la poudre et le mucilage de cactus avec les différentes concentrations.

	HP (g)		
Concentration	10	20	30
Taux d'impureté (%)	0,19±0,01 ^a	0,16±0,013 ^a	0,15±0,015 ^a
	HM (ml)		
Concentration	10	20	30
Taux d'impureté (%)	0,27±0,04 ^b	0,26±0,01 ^b	0,25±0,01 ^b
Huile usée	0,19±0,02 ^a		
Norme C.A	1%		

Norme C.A : norme de Codex Alimentarius, **HP** : Huile traitée par la poudre de cactus, **HM** : huile traitée par le mucilage de cactus.

Les résultats indiqués par les deux lettres a et b présentent une différence significative ($p < 0,05$)
 Il a été remarqué que les résultats de taux d'impureté ne dépassent pas 1%. Donc les valeurs sont conformes à la norme établie par le "codex STAN 210-1999" qui est de $\leq 1\%$. L'analyse de la variance (ANOVA) a montré que les valeurs moyennes de la poudre sont significativement différentes de celle du mucilage $p < 0,05$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

D'après les résultats de cette étude nous pouvons dire que les expériences effectuées ont montré que la poudre de cactus et le mucilage ont un impact satisfaisant dans les trois différentes concentrations dans les analyses physico-chimiques déterminées, où dans la plupart des résultats il a été observé que le cactus a réglé les paramètres de l'huile et il a pu améliorer les critères de qualité des huiles selon les normes de Codex alimentarius.

Le cactus peut avoir une contribution intéressante dans le domaine du développement des ressources naturelles. D'autre part, il permet la possibilité d'introduire un nouveau réactif biodégradable dans le procédé de traitement physico-chimique par floculation et coagulation. Nous espérons par ce travail remplacer certains agents inorganiques largement appliqués dans le domaine du traitement des huiles et présentant des inconvénients sur l'environnement et en particulier la santé humaine. Le cactus aura donc de fortes chances d'être une alternative à la régénération des huiles usées.

On conclut que cette étude comparative, a montré une très bonne efficacité de raquettes de cactus soit en poudre ou mucilage dans la régénération des huiles usées.

Perspectives :

- Pour une meilleure régénération des huiles par utilisation du cactus, il faut une optimisation des concentrations de poudre et de mucilage.
- Dosage comparative des acides gras en utilisant la méthode Chromatographie en phase gazeuse « CPG »
- Identification de la composition chimique de l'espèce locale utilisée.
- Suivre la durée de conservation de ses huiles traitées par la poudre et le mucilage
- Les meilleurs résultats des analyses peu se faire en abri de la lumière ainsi que d'éviter l'air durant les manipulations.
- Donner plus d'importance à la régénération des huiles usées afin d'avoir un nouveau domaine de recyclage.

Les références bibliographiques

Références bibliographiques

Les Références Bibliographiques :

A

- Abaga, A. G. E. (2013). Valorisation non alimentaire des huiles de friture usagées en tant que biolubrifiants (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- Abid, A., Zouhri, A., & Ider, A. (2009). Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait de cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 5(3).
- Abdel-Hameed, E. S. S., Nagaty, M. A., Salman, M. S., & Bazaid, S. A. (2014). Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food chemistry*, 160, 31-38.
- ADRIAN J., DAUVILLIER P., POIFFAIT A. et POTUS J. (1998). Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Lavoisier, Edition : Tec & doc. pp : 100-110.
- Alais, C., Linden, G., & Miclo, L. (2008). *Biochimie alimentaire* (pp. 260-p). Dunod
- Angulo-Bejarano, P. I., Martínez-Cruz, O., & Paredes-López, O. (2014). Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*, 10(3), 196-217.
- Arba, M. (2009, May). Le cactus opuntia une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. In *Actes du Symposium International AGDUMED-durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol* (pp. 14-16). Rabat: Cana Print.
- Aragona, M., Lauriano, E. R., Pergolizzi, S., & Faggio, C. J. N. P. R. (2018). *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural product research*, 32(17), 2037-2049.
- Atsushi Miyagi; Mitsutoshi Nakajima (2003). Regeneration of used frying oils using adsorption processing. , 80(1), 91–96. Doi:10.1007/s11746-003-0657-5
- Azzena, U., Montenero, A., Carraro, M., Crisafulli, R., De Luca, L., Gaspa, S., ... & Milanese, C. (2023). Recovery, purification, analysis and chemical modification of a waste cooking oil. *Waste and Biomass Valorization*, 14(1), 145-157.
- AOAC (1998). *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington, DC. USA: Association of Official Analytical Chemists

B

- Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta, E. (1999). *Agroecología, cultivo y usos del nopal* (No. 634.775 A3). Roma: FAO.Sepúlveda E. C. Sáenz, E. Aliaga and C. Aceituno, 2007: Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*: 68:4, 534-545p
- Barbera, G., Carimi, F., & Inglese, P. (1992). Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic botany*, 10-20
- BENATTIA, F. K. (2017). *Analyse et Application des Extraits de pépins de Figes de Barbarie* (Doctoral dissertation, 08-01-2018).

Références bibliographiques

- Betatache, H., Aouabed, A., Drouiche, N., & Lounici, H. (2014). Conditioning of sewage sludge by prickly pear cactus (*Opuntia ficus Indica*) juice. *Ecological Engineering*, 70, 465-469.
- Bhavani, J., Chinnathambi, M., Sandhanam, S., Jothilingam, S., Arthi, S., & Monisha, N. (2023). FORMULATION AND EVALUATION OF HERBAL SOAP BY USING NATURAL INGREDIENTS.
- Brahmi, F., Blando, F., Sellami, R., Mehdi, S., De Bellis, L., Negro, C., ... & Makhlouf-Boulekbache, L. (2022). Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures. *Industrial Crops and Products*, 184, 114977.
- Bouariche, Z., Bourachouche, K., & Boudei, A. (2017). Caractérisation Physico-chimique des huiles végétales alimentaires (Doctoral dissertation, Université Abderrahmane Mira).
- Boulal, A., Khelafi, M., Gaffour, H., & Bakache, Y. (2016). Synthèse de biodiesel en utilisant des huiles végétales usagées. *Revue des énergies renouvelables*, 19(3), 409-413.
- Boumali, N. E. I., Mamine, F., Foued, C., Montaigne, E., & Arbouche, F. (2022). Analyse du processus d'émergence de la filière figue de barbarie et de ses coproduits en Algérie : potentiel, contraintes et perspectives (No. hal-03619997).
- Boutakiout, A. (2015). Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*) (Doctoral dissertation, Angers).

C

- Choe, E., & Min, D. B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of food science*, 72(5), R77-R86.
- Combe, N., & Rossignol-Castera, A. (2010). Huiles végétales et friture. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(6), S44-S51
- Cuvelier, C., Cabaraux, J. F., Dufrasne, I., Hornick, J. L., & Istasse, L. (2004). Acides gras : nomenclature et sources alimentaires. In *Annales de Médecine Vétérinaire* (Vol. 148, No. 3). *Annales Medecine Veterinaire*, Liege, Belgium.
- Cuvelier, M. E., & Maillard, M. N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *ACL Oilseeds and fats crops and lipids*, 19(2), 125-132.
- CODEX STAN 33-1981. (2015). NORME POUR LES HUILES D'OLIVE ET LES HUILES DE GRIGNONS D'OLIVE Adopt.e en 1981. R.vision : 1989, 2003, 2015. Amendement : 2009, 2013.

D

- Daniewski, M., Jacórzyński, B., Filipek, A., Balas, J., Pawlicka, M., & Mielniczuk, E. (2003). Fatty acids content in selected edible oils. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 54(3), 263-267.
- DeFELICE, M. S. (2004). Prickly pear cactus, *Opuntia* spp.—a spine-tingling tale. *Weed Technology*, 18(3), 869-877.
- Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E., & Forster, C. F. (1999). A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochemistry*, 35(3-4), 391-395.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Purriños, L., Munekata, P. E. S., Echegaray, N., & Lorenzo, J. M. (2022). Introduction and classification of lipids. In *Food Lipids* (pp. 1-16). Academic Press.

Références bibliographiques

- DRIDI W. (2016). Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau-dans-huile. Thèse de doctorat en chimie physique. Ecole doctorale des sciences chimiques. Bordeaux-Carthage. p5.

É

- El Kharrassi, Y. (2015). Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (*Opuntia* spp.) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2 (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Androletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. H. S., ... & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19(9), 14879-14901.

ف

- Felker, P. (1995). Forage and fodder production and utilization. FAO Plant Production and Protection Paper (FAO).
- Felkai-Haddache, L., Dahmoune, F., Remini, H., Lefsih, K., Mouni, L., & Madani, K. (2016). Microwave optimization of mucilage extraction from *Opuntia ficus indica* Cladodes. *International journal of biological macromolecules*, 84, 24-30.

Ġ

- Güner, F. S., Yağcı, Y., & Erciyes, A. T. (2006). Polymers from triglyceride oils. *Progress in polymer science*, 31(7), 633-670.
- Griffith, M. P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91(11), 1915-1921.

Ħ

- Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Harwood, J. (2000). Handbook of olive oil: analysis and properties (p. 4). R. Aparicio (Ed.). Gaithersburg, MD: Aspen.

Ĵ

- Inglese, P. (2018). Ecologie, Culture Et utilisations du Figuier De Barbarie. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui, A., & Saenz, C. (2017). Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Ĵ

- James G. Speight. (2020). Refining chemistry. The Refinery of the Future (Second Edition), 85-124

Ķ

- Kabre, E., Hien, H., Karene, H., Kabore, C. S., Meda, N. I. S. D., Sourabie, B. P. O., ... & Nikiema, F. (2021). Évaluation de la teneur en vitamine A et de l'indice de peroxyde des huiles végétales couramment vendues dans les marchés au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), 2366-2379.
- KPOVIESSI D.S., GEORGE C., ACCROMBESSI, KOCHOOH C., MOHAMED M., SOUMANAU et MOUDACHIROU M. (2004). Propriétés physicochimiques et compositions

Références bibliographiques

de l'huile non conventionnelle de pourghère (jatropha-curca) de différentes régions du Benin, (7). pp: 1007 – 1012.



- Labra, M., Grassi, F., Bardini, M., Imazio, S., Guiggi, A., Citterio, S., ... & Sgorbati, S. (2003). Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker. *Plant Science*, 165(5), 1129-1136.
- Laura, I., & Monica, N. Functional components and medicinal properties of cactus products.
- Le Houérou, H. N. (2000, October). Cacti (*Opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in th Mediterranean Basin. In IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581 (pp. 21-46
- Linda G. Roberts, Thomas Smagala. (2022). Biofuels. Reference Module in Biomedical Sciences
- Lundy Matthew (2022). A Note Describing Effective Ways of Saponification. *J Adv Chem*. 12:211
- Lazouni, H. A., Benmansour, A., Taleb-Bendiab, S. A., & D CHABANE, S. A. R. I. (2007). COMPOSITION DES CONSTITUANTS DES HUILES ESSENTIELLES ET VALEURS NUTRITIVES DU *Foeniculum vulgare* Mill. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 7-12.



- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime Nouveaux aliments pour les ruminants à base de fruits de cactus, (2009,Mai). https://www.agrimaroc.net/bulletins/btta_176.pdf
- Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012). Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 63-75
- Mulas, M., & Mulas, G. (2004). Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112.



- Nazareno M. A. et González E. (2008). Antioxydant properties of cactus products. *Cactusnet*, Issue 11, p 18-28.
- Neffar, S. (2012). Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk-ahras et Tébessa (Doctoral dissertation, Annaba).
- Nefzaoui, A., & Ben Salem, H. (2001). *Opuntia*: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA (West Asia/North Africa) region. FAO Plant Production and Protection Paper (FAO).
- Nobel, P. S. (Ed.). (2002). *Cacti: biology and uses*. Univ of California Press



- Pimienta-Barrios, E. (1993). Vegetable cactus (*Opuntia*). *Pulses and Vegetables*, Chapman & Hall, London, 1993, 177-191.
- Possibilités de Recyclage et Utilisation des Huiles Usées. (2000) Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre (CAR/PP),57-58.

Références bibliographiques

R

- 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.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., & Hernández, H. M. (2005). Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (CACTACEAE). *Agrociencia*, 39(4), 395-408.
- Reynolds, S. G., & Arias, E. (2001). Introduction in: Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO Plant Production and Protection Paper No. 169. Rome, Italy. 146 pp *Mondragon-Jacobo, C., Ed*, 1-4.
- Rodríguez, D. (1999). Desarrollo de una bebida pasteurizada a base de nopal. In Aguirre, JR, Reyes, JA Memoria. VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosí, México (pp. 75-76).
- Rodríguez-Felix A. et Cantwell M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant foods for human nutrition*, 38 (1), p 83-93.
- Rohman, A., & Man, Y. B. C. (2011). The use of Fourier transform mid infrared (FT-MIR) spectroscopy for detection and quantification of adulteration in virgin coconut oil. *Food Chemistry*, 129(2), 583-588.
- Robin, D. (1990). Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille).

S

- Saenz, C. (2000). Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*, 46(3), 209-225
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of arid environments*, 57(3), 275-290.
- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal, Carmen Sáenz. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. 162.
- Saini R D. (2017). Chemistry of Oil & Fats and their Health Effects. *International Journal of Chemical Engineering Research.*, 9(1), 105-119. ISSN 0975-6442 <http://www.ripublication.com>
- Salimon, J., Abdullah, B. M., & Salih, N. (2011). Hydrolysis optimization and characterization study of preparing fatty acids from *Jatropha curcas* seed oil. *Chemistry central journal*, 5, 1-9
- Schweizer, M. (1999). *Docteur Nopal: médecin du bon Dieu*. APB, Aloe plantes et beauté.
- Sepulveda, E., & Saenz, C. (1990). Note. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* (Spain).
- Serouri, A., Taleb, Z., Mannu, A., Garroni, S., Senes, N., Taleb, S., ... & Abdoun, S. K. (2021). Variation of used vegetable oils' composition upon treatment with algerian clays. *Recycling*, 6(4), 68.
- Sharma, R., & Mann, B. Module 13: Changes occurring in oils and fats during frying.
- Sharma R., Kaur A., Kaur M. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus-indica*: A review journal of applied pharmaceutical Science, 02 (07), p 15-18.

Références bibliographiques

- Singh-Ackbarali, D., Maharaj, R., Mohamed, N., & Ramjattan-Harry, V. (2017). Potential of used frying oil in paving material: solution to environmental pollution problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 12220-12226.
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S. ... & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research*, 49(2), 175-194.
- Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*, 212, 396-407.

T

- Tchiégang, C., Oum, M. N., Dandjouma, A. A., & Kapseu, C. (2004). Qualité et stabilité de l'huile extraite par pressage des amandes de *Ricinodendron heudelotii* (Bail.) Pierre ex Pax pendant la conservation à température ambiante. *Journal of food engineering*, 62(1), 69-77.

W

- Wallace RS, Giles AC. (2002). Evolution and systematic. *Biology and Uses*, P.S. Nobel Ed, 1-21
- Walrand, S., Fisch, F., & Bourre, J. M. (2010). Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique ? *Nutrition clinique et métabolisme*, 24(2), 63-75.
- Windaus, A. (1928). Constitution of sterols and their connection with other substances occurring in nature. Noble Lecture.

Y

- Young, K. A. (2006). The Mucilage of *Opuntia Ficus Indica*: a natural, sustainable, and viable water treatment technology for use in rural Mexico for reducing turbidity and arsenic contamination in drinking water.
- Yacob, M. R., Kabir, I., & Radam, A. (2015). Households willingness to accept collection and recycling of waste cooking oil for biodiesel input in Petaling District, Selangor, Malaysia. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 332-337.

Z

- Zahir, E., Saeed, R., Hameed, M. A., & Yousuf, A. (2017). Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3870-S3876.

Annexes

Annexe A : Solutions préparées

La solution saturée KI	Iodure de potassium se prépare en saturant l'eau avec du KI, en ajoutant de l'iodure de potassium solide à l'eau, jusqu'à ce que celui-ci ne se dissolve plus.
Thiosulfate de sodium à 0,01 N	(Solution de thiosulfate de sodium à 0,01 N à partir de Na ₂ S ₂ O ₃ à 0,1 N : Prendre 100 ml de la solution à 0,1 N à l'aide d'une fiole de 100 ml et la transvaser dans la fiole de 1000 ml. Rincer la fiole deux fois avec l'eau distillé, mettre les eaux de rinçage dans la fiole de 1000 ml et ajuster au trait de jauge avec de l'eau distillé.
Alcool neutralisé	Dissoudre 1 g de phénolphtaléine dans 100 mL d'alcool éthylique à 95°.
Solution KI a 10%	10 grammes de KI introduit dans une fiole jaugée de 1L et complétée avec de l'eau distillée jusqu'à trait de jauge.
KOH a 0,5 N dans éthanol	Faire dissoudre 28,06 g de KOH dans 1L d'éthanol.

Annexe B : CODEX STAN 210-1999 (page 8 - 13)

AUTRES FACTEURS DE COMPOSITION ET DE QUALITÉ

Ce texte est destiné à être appliqué par les partenaires commerciaux à titre facultatif et ne concerne pas les gouvernements.

1. FACTEURS DE QUALITÉ

1.1 La couleur, l'odeur et la saveur de chaque produit doivent être caractéristiques du produit désigné. Celui-ci doit être exempt de saveur et d'odeur étrangères et de toute rancidité.

	<u>Concentration maximale</u>
1.2 Matières volatiles à 105 °C	0,2 % m/m
1.3 Impuretés insolubles	0,05 % m/m
1.4 Teneur en savon	0,005 % m/m
1.5 Fer (Fe) :	
Huiles raffinées	1,5 mg/kg
Huiles vierges	5,0 mg/kg
Oléine de palme brute	5,0 mg/kg
Stéarine de palme brute	7,0 mg/kg
1.6 Cuivre (Cu) :	
Huiles raffinées	0,1 mg/kg
Huiles vierges	0,4 mg/kg
1.7 Indice d'acide :	
Huiles raffinées	0,6 mg KOH/g d'huile
Huiles obtenues par pression à froid et huiles vierges	4,0 mg KOH/g d'huile
Huiles de palme vierges	10,0 mg KOH/g d'huile
1.8 Indice de peroxyde :	
Huiles raffinées	jusqu'à 10 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile
Huiles vierges et huiles pressées à froid	jusqu'à 15 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile

	Oléine de palme ²	Stéarine de palme ²	Superoléine de palme ²	Huile de colza	Huile de colza (à faible teneur en acide érucique)	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
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	0.910-0.920 x=20°C	0.914-0.920 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
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	1.465-1.469	1.465-1.467	1.460 - 1.473	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
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	194-202	193-205	180-205	168-181	182-193	180-199	186-198	186-194	186-195	189-195	188-194
(i) Indice d'iode	≥ 56	≤ 48	≥ 60	94-120	105-126	90-115	136-148	80-100	104-120	124-139	118-141
Insaponifiable (g/kg)	≤ 13	≤ 9	≤ 13	≤ 20	≤ 20	≤ 65	≤ 15	≤ 10	≤ 20	≤ 15	≤ 15

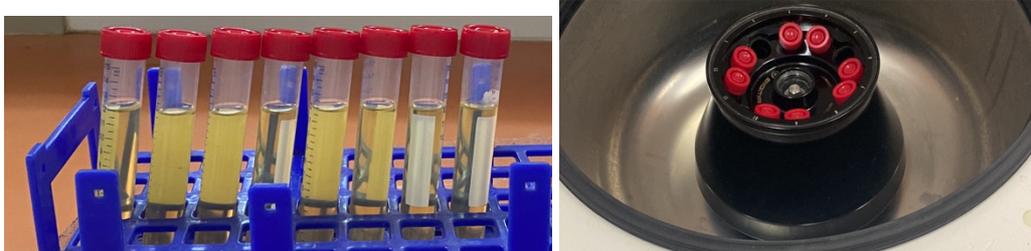
Annexe C :

Étapes de préparation des huiles usées :

1. Filtration :



2. Centrifugation :



Resumés

Resumé:

Le cactus, une plante abondante, et offre diverses options pour le traitement des liquides tels que l'eau et l'huile et ne présente aucun danger à la santé humaine. La présente étude consiste à utiliser un nouvel agent naturel biodégradable à base de cactus (la poudre, et le mucilage) dans un procédé de régénération. Pour tester l'efficacité de cet agent biologique, des essais ont été réalisés sur des échantillons des huiles usées des fast foods de la wilaya de Bouira en les mélangeant avec la poudre et le mucilage de cactus type *Opuntia ficus indica* a des différentes concentrations.

Des analyses physico –chimique ont été effectués pour les huiles usées (brute) et (traitée). Les résultats ont montré l'efficacité de cactus en tant qu'agent régénérateur des paramètres de qualité. En général, le cactus a réglé considérablement de nombreux paramètres de l'huile utilisée

De manière générale, le cactus a réduit de nombreux paramètres de qualité des huiles usées (Indice d'acide, Indice de peroxyde, Indice de saponification... etc). Par conséquent, le cactus peut être un matériau utile pour la régénération de l'huile usée, ce qui le rend approprié pour les régions du monde, où le cactus est disponible.

Les mots clés : Cactus, L'huile usée, régénération des huiles, Agent biodegradable, *Opuntia ficus indica*.

Abstract :

The cactus, an abundant plant, and offers various options for the treatment of liquids such as water and oil and poses no danger to human health. The present study consists in using a new biodegradable natural agent based on cactus (the powder, and the mucilage) in a regeneration process. To test the effectiveness of this biological agent, tests were carried out on samples of used oils from fast foods in the wilaya of Bouira by mixing them with the powder and mucilage of cactus type *Opuntia ficus indica* at different concentrations.

Physico-chemical analyzes were carried out for used oils (raw) and (treated). The results showed the effectiveness of cactus as a quality parameter regenerator. In general, the cactus has considerably adjust many parameters of the oil used

In general, the cactus reduced many quality parameters of used oils (acid index, peroxide index, saponification index, etc.). Therefore, cactus can be a useful material for waste oil regeneration, making it suitable for areas of the world, where cactus is available.

Key words: Cactus, used oil, oil regeneration, Biodegradable agent, *Opuntia ficus indica*.

الملخص

الصبار نبات وفير، ويقدم خيارات متنوعة لمعالجة السوائل مثل الماء والزيت ولا يشكل أي خطر على صحة الإنسان. تتكون الدراسة الحالية من استخدام عامل طبيعي جديد قابل للتحلل الحيوي يعتمد على الصبار (المسحوق والصمغ) في عملية التجديد. لاختبار فاعلية هذا العامل البيولوجي، تم إجراء الاختبارات على عينات من الزيوت المستعملة من الأطعمة السريعة بولاية بتركيوات مختلفة. *Opuntia ficus indica* البويرة عن طريق مزجها مع مسحوق الصبار والصبار من نوع تم إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية للزيوت المستعملة (الخام) و (المعالجة). أظهرت النتائج فعالية الصبار كمجدد لمعامل الجودة. بشكل عام، قام الصبار بضبط العديد من معايير الزيت المستخدم بشكل كبير بشكل عام، قلل الصبار العديد من معايير الجودة للزيوت المستعملة (مؤشر الحمض، مؤشر البيروكسيد، مؤشر التصين، إلخ). لذلك، يمكن أن يكون الصبار مادة مفيدة لتجديد نفايات الزيوت، مما يجعله مناسباً لمناطق العالم، حيث يتوفر الصبار

الكلمات المفتاحية: الصبار، الزيت المستعمل، تجديد الزيت، عامل التحلل الحيوي، *Opuntia ficus indica*.