



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم البيولوجية
Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la
Vie Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaires

Intitulé

Etude comparative des méthodes d'extraction des substances bioactives des matrices végétales telle que la figue de barbarie

Présenté par :

NAIT TAHER Ryma
AMMAR Soumia Nadjla

Devant le jury :

Président :	M ^{elle} BELKASMI F	MAA	Université de MBI de BBA
Encadrant :	M ^r TOUATI N	MCA	Université de MBI de BBA
Examineur :	M ^r GUISSOUS.M	MCB	Université de MBI de BBA

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

*D'abord nous remercions notre **Dieu** le tout puissant qui nous protège tout le temps, et qui nous a donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier très particulièrement notre encadreur **Mr TOUATI.N** pour son aide, sa compétence, sa patience pour élaborer ce mémoire.*

*Toutes nos expressions de respect à **Mme BELKASMI.F** qui nous a fait honneur par sa présence en qualité de présidente de jury.*

*Nos sincères remerciements et considérations sont exprimés à **Mr GUISSOUS.M** qui a accepté d'examiner ce travail et de consacrer de son temps pour l'évaluer.*

*Nous remercions tout enseignant ayant contribué énormément à notre formation. Ainsi nos amis et camarades, en particulier la promotion de **QUALITE DE PRODUITS ET SECURITE ALIMENTAIRE**.*

Merci à toutes les personnes qui de diverses façons et à différents moments nous ont apporté leur aide.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celle qui attend mon retour à chaque coucher de soleil

A celle qui m'a comblé d'affection, d'amour et de tendresse, et qui a veillé à coté de mon berceau pour apaiser mes cris de douleurs, et qui n'a cessé de le faire à jamais :

Ma mère ♥

A mon cher père qui m'a beaucoup aidée avec son soutien tout au long de mes études.

Ahmed ♥

A celui qui n'a cessé de me soutenir moralement et matériellement, m'ouvrant ses bras dans les sombres moments et m'aide à aller vers le mieux :

Mon mari ♥

A ma petite fille (Meriem), pour l'espoir qu'elle grave de jour en jour dans mon cœur.

A mes chers sœurs (Rania ; Chaima) qui m'ont incité à continuer le Master et qui attend ma soutenance avec impatience.

A ma grand- mère (Aicha), mes tantes (Souad, Karima, Salima, Zahia et Salwa) et la famille de mon mari pour ses prières, son amour, ses conseils et son soutien pendant ces dernières années de formation .

Ma camarade Rima, ainsi que sa famille.

A tous mes amis, et mes proches sans exceptions qu'ils soient proche ou loin.

A tous mes enseignants du primaire jusqu'au supérieur.

A toute la promotion de qualité des produits et sécurité alimentaire.

Soumia Nadjla

Dédicace

A cette occasion, je dédie ce travail pour :

♥ *Tout d'abord je remercie le Dieu qui m'a donné le courage et la patience pour atteindre mes objectifs.*

Mes deux familles : NAIT TAHAR et LAZIZI, je commence par VAVA ♥♥ABDARRAHMEN ♥♥qui a donné son cœur, et tout ce qu'il avait pour moi.

♥*A ma raison de vivre ma mère : ♥♥RACHIDA ♥♥qui est pour moi un exemple de sacrifices et de courage.*

♥*A mon seul frère MOUNIR, A mes sœurs et leurs enfants : AMIRA, MERIEM, IMAD, SAMY ET HOUSSEM.*

♥*A mes chers: DADA ALI, DADA YAHIA.*

♥*Une dédicace spéciale à ma grande mère TASSAADIT et ma tante KOUKA et pour mes amis : ZAKARIA, HOUDA, THANINA et ZAHRA et DIHIA.*

♥*A mon binômes SOUMIA et pour sa famille et sa fille MERIEM.*

♥*Ce travail est aussi dédié à mes collègues et a toutes mes amis et professeurs.*

RYMA

Liste des figures :

Figure 1 : Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes(a), fleure(b), fruits(c) et graines(d).....	4
Figure 2 : Photographie d'une coupe transversale de la graine de la figue de barbarie.....	5
Figure 3 : Représentation du spectre électromagnétique et positionnement des micro- ondes domestique	9
Figure 4 : Photographie représentant un magnétron.....	10
Figure 5 : Schemat d'un four micro-ondes respectivement monomode (A) et multimode(B).....	10
Figure 6 : principe de chauffage par microondes.....	12
Figure 7 : Evolution d'une bulle de cavitation à proximité d'une cellule végétale.....	14

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristique morphologiques d'*Opuntia ficus indica*.....3

Liste des abréviations

bs : Base sèche

C° : degré siliceuse

EAG : Equivalent acide gallique

EAM : Extraction assistée par micro-ondes

EAU : Extraction assistée par ultrasons

ECS : Extraction conventionnelle par solvant

FMAE Extraction à pression atmosphérique assistée par micro-ondes (Focused Microwave Assisted Extraction)

GHZ: Gigahertz

h : Heure

KHz : Kiloherz

MHZ : Mégahertz

PMAE : Extraction pressurisée assistée par micro-ondes (Pressurised Microwave Assisted Extraction)

UAE : Extraction assistée par ultra-sons (Ultrasound Assisted Extraction)

US : ultrasons

W : Watt

Table des matières

Introduction	1
I. Figue de barbarie	2
I.1- Origine et distribution géographique	2
I.2. Taxonomie et systématique	2
I.3. Variétés de figuier de Barbarie	2
I.3.1. Les variétés inermes	2
I.3.2. Les variétés épineuses	2
I.4. Description botanique	2
I.5. Utilisations	5
I.6. Propriétés médicinales de figue de barbarie	5
II. Antioxydants	6
II.1. Mécanisme d'action des antioxydants :	6
II.2. Propriétés biologiques des antioxydants.....	6
II.2.1. Composés phénoliques	6
II.2.2. Caroténoïdes	7
III. Extraction des substances bioactives	8
III.1. Extraction conventionnelles (classique).....	8
III.1.1. Distillation	8
III.1.2. Décoction	8
III.1.3. Infusion.....	8
III.1.4. Macération	8
III.1.5. Soxhlet	8
III.2. Extraction assistée par micro onde.....	9
III.2.1. Généralités sur le micro-onde	9
III.2.2. Principe d'extraction	11
III.2.3. Différentes méthodes d'extraction par micro-onde	12
III.2.4. Facteurs influencent l'extraction	13
III.2.5. Avantages et inconvénients de l'extraction assisté par micro- onde	13
III.3. Extraction assistée par ultra-sons	14
III.3.1. Définition :	14
III.3.2. Principe.....	14
III.3.4. Paramètres qui influent l'extraction assisté par ultrason	15
III.3.5. Avantages et inconvénients de l'extraction assistée par ultrason	15

Conclusion 17

Références bibliographiques

Introduction

Quatre-vingt pourcent de la superficie de l'Algérie est aride à semi-aride, elle possède des points forts (climat, ressources phylogénétiques et terrains) pour développer la culture de la figue de barbarie. La plantation de l'opuntia occupent une superficie de 52.000 hectares en Algérie ; avec plus de quarante variétés au total dont six sont à fruit comestible. La figue de barbarie algérienne est non seulement réputée par son goût succulent et sucré, mais contient une grande quantité de graines comparée avec celle du Maroc ou de la Tunisie. Certains la classeraient parmi les meilleures de tout le bassin méditerranéen après celle de Sicile (**Cherif, 2016**).

Les composés phénoliques sont des constituants importants en raison de leur contribution au goût et la couleur du fruit (**Veberic et al., 2008**). Ces dernières années, les composés phénoliques sont un sujet d'intérêt de nombreuses recherches scientifiques en raison de leurs effets positifs sur la santé humaine, attribués principalement à leurs activités antioxydants. L'extraction est une étape importante dans l'isolement, l'identification et la quantification des composés phénoliques.

Les techniques conventionnelles d'extraction ou d'isolation de composés chimiques de matrices végétales telle que la figue de barbarie présentent souvent des contraintes telles que celles des faibles rendements, des temps d'extraction très longs et d'utilisation de grandes quantités de solvants. Ces dernières années de nombreuses techniques alternatives ayant pour but de pallier à ces problèmes se sont développées. Parmi elles émergent les micro-ondes, et les ultrasons.

Vingt-cinq ans après l'apparition des premiers articles rapportant l'utilisation du chauffage micro-ondes en synthèse chimique et en extraction ; les procédés d'extraction par micro-ondes sont implantés aujourd'hui essentiellement dans le domaine de l'agroalimentaire pour assurer la qualité nutritionnelles (**Chemat et Poux, 2011**).

Afin de bien appréhender cette thématique, le présent manuscrit est organisé en trois grand axes à savoir : un rappel sur la figue de barbarie, le système antioxydant, et enfin les différentes méthodes d'extraction ainsi qu'une comparaison entre ces dernières.

I. Figue de barbarie

I.1. Origine et distribution géographique

Le figuier de barbarie, figue d'inde ou figue épineux, est originaire des régions arides et semi-arides du Mexique (Nharingo and Moyo, 2016). Il a été introduit d'abord en Espagne au 15^{ème} et plus tard, au 16^{ème} siècle, au Nord et au Sud de L'Afrique. Ensuite il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen (Habibi *et al.*, 2004). Sa distribution géographique est localisée principalement dans : le Mexique, la Sicile, le Chili, le Brésil, la Turquie, la Corée, l'Australie, l'Argentine et l'Afrique du Nord (Bendhifi *et al.*, 2013).

I.2. Taxonomie et systématique

La systématique de figuier de barbarie est la suivante (Halmi, 2015)

Règne :	Plantae
Classe :	Magnoliopsida
Ordre :	Caryophyllales
Famille :	Cactaceae
Genre	Platyopuntia
Espèce	Opuntia ficus indica

I.3. Variétés de figuier de Barbarie

I.3.1. Les variétés inermes

Souvent domestiquées et cultivées sur des surfaces limitées. Les plants issus de semis sont épineux la première année et les aiguillons disparaissent à partir de la deuxième année. Il semble qu'il n'y ait pas de variétés absolument inermes, mais à aiguillons plus ou moins rares (Schweizer, 1997; Araba *et al.*, 2000).

I.3.2. Les variétés épineuses

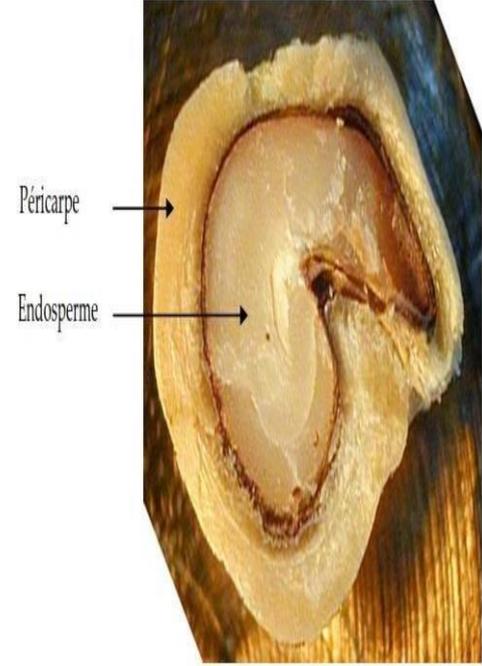
Caractérisées par des épines longues. Il paraît que c'est une variété qui entre en production tardivement après la 6^{ème} ou la 7^{ème} année de plantation.

I.4. Description botanique

Le figuier de barbarie, est une plante succulente résistante à la sécheresse et aux conditions les plus hostiles, il appartient à la famille des Cactaceae qui comprend environ 1500 espèces (Neffar, 2012). Les caractéristiques morphologiques d'*Opuntia ficus indica* sont présentées dans le **Tableau I**

Tableau I : Caractéristique morphologiques d’Opuntia ficus indica.

Compartiments	Descriptions	Photographies
L'appareil racinaire	L'appareil racinaire est superficiel, il facilite l'absorption des eaux souterraines dans les sols de faibles consistances(Chougui et al., 2015).	<p>Figure N°01: Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes(a), fleur(b), fruits(c) et graines(d) (Habibi, 2004 ; Anonyme, 2007).</p>
Cladodes (appelées raquettes)	Sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long, qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles (Schweizer, 1997; Stintzing et al., 2005 ; Feugang et al., 2006)	
Fleurs	se trouvant sur la face la plus exposée au soleil, sont hermaphrodites, de couleur jaune ou orange (Chougui, 2014), deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (Habibi, 2004)	
Fruits	présentent une variabilité de couleur (blanc, vert, jaune, rouge, violet, rouge et brun), de taille, de forme (ovoïde, ronde, elliptique, allongée) et de qualité (Chougui, 2014)	

<p>Les graines</p>	<p>sont dures, indigestes, mais riches en vitamines. On en obtient, après préparation, une huile très recherchée et une farine nourrissante (Schweizer, 1997). De formes plates, plus au moins réniformes ou lenticulaires. Le pourcentage et le nombre de graines par fruit varie en fonction de plusieurs facteurs dont la variété, la physiologie et l'environnement de culture (Habibi, 2004 ; Reyes-Aguero et al., 2005).</p> <p>L'étude morphologique de la graine réalisée par microscopie électronique à balayage et à transmission, permet de préciser l'organisation des tissus en deux parties : le péricarpe et l'endosperme (figure N°03) (Ennouri et al., 2006 ; Habibi et al., 2008).</p>	 <p>Figure N°02: Photographie d'une coupe transversale de la graine de la figue de barbarie (Habibi, 2004).</p>
---------------------------	--	--

I.5.Utilisations

Les produits des extraits de fleurs d'*Opuntia* sont aussi utilisés comme inhibiteurs de la corrosion de divers métaux. Cette activité peut être attribuée à la présence de composés hétérocycliques comme les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins et la cellulose. Ces composés forment une mince couche sur la surface métallique, empêchant ainsi la corrosion (**Saidi et al., 2016**).

Le fruit est transformé en jus, miel (miel de tuna), boissons alcoolisées, confiture et colorant alimentaire (**Habibi, 2004**).

L'huile de graine est employée dans la production de produits anti-âge et antirides (**Habibi et al., 2002**). Les graines de la figue de barbarie peuvent être utilisées comme source d'huiles comestibles vue leur richesse en acides gras essentiels (**Ramadan et Morsel, 2003 b ; Ennouri et al., 2005**).

Les jeunes cladodes, appelés *nopalitos*, sont consommés comme légumes frais ; ils sont aussi utilisés comme ingrédient dans une large gamme de plats (**Sáenz et al., 2002a**). Les raquettes sont, en outre, exploitées en cosmétologie, dans la fabrication de shampoings assouplissants pour cheveux, de crèmes et de laits hydratants pour le visage (**Araba et al., 2000**). Par ailleurs, afin de répondre à la demande mondiale croissante de pectine, des études récentes ont exploré divers produits et sous-produits végétaux, y compris les cladodes d'*Opuntia ficus indica*, en tant que sources de perspective de cet additif les chercheurs suggèrent qu'ils pourraient être exploités pour l'extraction de pectines (**Chaouch et al., 2016**). Le figuier de barbarie est utilisé pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne, il résiste au feu et peut être utilisé comme obstacle à la propagation des incendies (**Araba et al., 2000**). Une réserve fourragère, et un apport alimentaire pour les périodes de transition (automne) et lors des années de sécheresse (**Habibi, 2004**).

I.6.Propriétés médicinales de figue de barbarie

La figue de barbarie est réputé avoir plusieurs activités biologiques telles que l'activité antioxydants, anti-cancer, anti-inflammatoires, anti-ulcérogènes, anti-gastrites, Action neuroprotectrice, réduction de cholestérol, arrêtent des colique et diarrhée, action hypoglycémiant, traitement contre les maux de reins, remède au dysfonctionnement de la prostate (**Saidi et al., 2016 ; Zou et al., 2005 ; Allegra et al., 2014 ; Galati et al., 2001 ; Kim et al., 2006 ; Cern, 2003 ; Araba et al., 2000 ; Feugang et al., 2006**).

II. Antioxydants

Les antioxydants sont des substances capables de retarder et d'empêcher l'oxydation des substrats (**Pincemail et al., 1998 ; Gramza et Korczak, 2005**). Il existe deux sources d'antioxydants ; la première est endogène qui se compose d'enzymes (super oxyde dismutase, glutathion peroxydase et catalase) et de protéines (ferritine, transferrine, céruloplasmine et albumine). La seconde est exogène apportée par l'alimentation avec des produits végétaux riches en vitamines E et C, caroténoïdes et composés phénoliques (**Rock, 2003 ; Pincemail et Defraque, 2004**). Les cellules utilisent de nombreuses stratégies antioxydantes. Certains composés antioxydants, agissent en piégeant les radicaux libres et en captant l'électron célibataire, les transformant en molécules ou ions stables (**Favier, 2003**).

II.1. Mécanisme d'action des antioxydants :

Les antioxydants jouent un rôle prépondérant dans la prévention des maladies chroniques telles que les pathologies du cœur, le cancer, le diabète, l'hypertension et la maladie d'Alzheimer en combattant le stress oxydant (**Cole et al., 2005 ; Liu, 2003 ; Riboli & Norat, 2003**). D'une manière générale, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'une autre molécule en s'oxydant lui-même. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électrons. Les antioxydants les plus connus sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique, le tocophérol, ainsi que les composés phénoliques. Les propriétés antioxydantes de ces composés sont attribuées en partie, à leurs capacités à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) et superoxydes ($\text{O}_2\cdot$) (**Rice-Evans et al., 1995 ; Burda et al., 2001 ; Antolovich et al., 2002 ; Bartosz, 2003**).

II.2. Propriétés biologiques des antioxydants

II.2.1 Composés phénoliques

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes qui dépendent essentiellement du nombre et de la position de leurs groupements fonctionnels et sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par l'organisme (**Edeas, 2007**). Ces composés possèdent la structure chimique idéale pour exercer une activité scavenger sur les radicaux libres (**Madhan et al., 2007**).

Les flavonoïdes interviennent dans la prévention de nombreuses maladies telles que les cancers et les maladies cardiovasculaires (**Ko et al., 2000 ; Manach et al., 2004 ; Tripoli et al., 2007**). Leurs effets sur la santé dépendent de la quantité consommée et de leur disponibilité biologique (**Manach et al., 2004**). Ces activités sont attribuées en partie aux propriétés antioxydantes de ces composés naturels.

Ils possèdent aussi des propriétés antimicrobiennes ; à titre d'exemple les acides cinnamiques et caféiques sont les représentants majeurs des composés phénoliques et présentent l'état d'oxydation le plus élevé. Le thym, herbe aromatique et médicinale, qui contient des teneurs appréciables en acide caféique montre une efficacité contre les virus, les bactéries et les Mycètes (**Cowan, 1999**). Des études récentes ont montré que l'administration orale des flavonoïdes avec des quantités bien suffisantes protège contre des infections causées par Shigella, Salmonella typhimurium et Staphylococcus aureus (Hadi, 2004). Les composés phénoliques manifestent des activités contre un spectre de parasites : tel que le genre Leishmania et plasmodium (**Nowakowska, 2007**).

II.2.2.Caroténoïdes

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les ERO. Ce sont essentiellement des piègeurs d'oxygène singulet (1O_2) en la transformant en oxygène moléculaire triplet (3O_2) plus stable, mais ils peuvent également neutraliser les radicaux libres ($ROO\bullet$) par transfert d'hydrogène (**Stahl et al., 2000**

; Rock, 2003). Leur activité antioxydante est meilleure avec l'augmentation des doubles liaisons, à titre d'exemple le lycopène piège les radicaux libres et l'oxygène singulet avec une efficacité supérieure à celle du β -carotène (**Stahl et al., 2000 ; Rock, 2003**).

III. Extraction des substances bioactives :

III.1. Extraction conventionnelles (classique)

III.1.1. Distillation

C'est une pratique très ancienne utilisant la vapeur d'eau pour récupérer les principes volatiles. De nos jours cette technique traditionnelle est encore utilisée à Constantine pour l'extraction de certaines plantes aromatiques (**Benzeggouta, 2014**).

III.1.2. Décoction

Elle convient pour l'extraction de matières végétales dur ou très dur : bois, écorce, racines, ou des plantes avec des constituants peu solubles. Elle consiste à faire bouillir les plantes fraîches ou séchées dans de l'eau pendant 10 à 30 min, pour bien extraire les principes médicinales (**Baba-Aïssa, 2000; Kraft et Hobbs, 2004**).

III.1.3. Infusion

L'infusion est une méthode d'extraction des principes actifs ou des arômes d'un végétal par dissolution dans un liquide initialement bouillant qui se refroidi (**Nguyen Van, 2010**). Après cette opération, on filtre le produit pour obtenir un infusé (**Pradal, 2016**).

III.1.4. Macération

La macération est une méthode d'extraction liquide-solide à température ambiante pendant une durée de 30 min à 48 h. Dans de l'eau froide (macération aqueuse) ou une huile végétale (macération huileuse), pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours, pour permettre aux constituants actifs de bien diffuser (**Kraft et Hobbs, 2004**). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle présente un risque de contamination bactérienne du produit final en l'absence d'ébullition (**Nguyen Van, 2010**).

III.1.5. Soxhlet

Le principe de l'extraction au Soxhlet nécessite que l'échantillon soit placé dans un porte- cartouche qui est progressivement rempli de solvant. Lorsque le liquide atteint le niveau de débordement, un siphon aspire le soluté du porte-cartouche et le décharge dans le ballon de distillation. Cette opération est répétée jusqu'à ce que l'extraction soit terminée (**Luque de Castro et Priego-Capote, 2010**). L'avantage de cette méthode est que l'échantillon est en contact de manière répétée avec du solvant frais (déchargé des solutés déjà extraits).

L'extraction est effectuée avec du solvant chaud favorisant la dissolution des composés recherchés. Aucune filtration n'est nécessaire après l'extraction (Luque de Castro et Garcia Ayuso, 1998). Néanmoins, la durée importante d'extraction, la grande quantité de solvant consommée et l'exposition de l'échantillon à haute température pendant une période relativement longue (Penchev, 2010).

III.2.Extraction assistée par micro-onde

III.2.1.Généralités sur le micro-onde

III.2.1.1.Historique

La recherche sur les micro-ondes commença dans les années 1930, avant de devenir le sujet scientifique de l'heure au cours de la seconde guerre mondiale en raison de leur utilisation dans les radars de défense. En 1946, dans une usine de radars, un dénommé Percy Spencer remarqua que la barre de chocolat contenue dans ses poches avait fondu et ce, malgré le fait qu'il n'était à proximité d'aucune source de chaleur. Cet inventeur ne prit pas grand temps avant d'identifier le lien entre cet événement et les radars environnants. Quelques années et plusieurs expériences plus tard, M. Spencer donna naissance au premier four à microondes : mesurant 1,80 m de haut pour 340 kg au total, son « bébé » portait alors le nom de Rada range et était sans doute inconscient de la révolution qu'il allait apporter dans les cuisines du monde entier.

III.2.1.2.Définition

Les micro ondes (MO) sont des ondes électromagnétiques, possédant un champ électrique et magnétique perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, avec une fréquence situées entre 300 MHz et 300GHz.

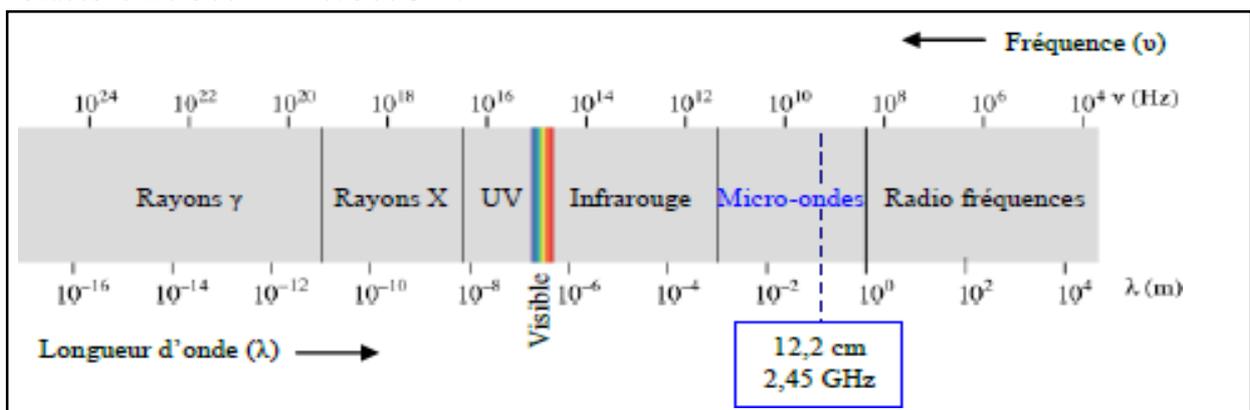


Figure 3: Représentation du spectre électromagnétique et positionnement des micro- ondes domestique (Michel, 2011)

Les micros ondes domestiques et industrielles sont généralement utilisés à une fréquence de 2.45GHz, ayant une puissance de 600 à 1000 Watts et une longueur d'onde de 12.2 cm (Mandel *et al.* , 2007 ;Jain *et al.* ,2009). Les micros ondes sont positionnées sur le spectre électromagnétique entre infrarouges et les rayons X. les longueurs d'ondes associées s'étalant de 1 cm à 1 m (Jain *et al.*, 2009).

III.2.1.3.Appareillage

Un four micro-ondes est constitué d'un générateur de micro-ondes, aussi nommé magnétron, qui génère les microondes à partir d'énergie électrique ; d'un guide d'ondes métalliques qui propage les micro-ondes du magnétron à l'échantillon ; et d'une cavité dans laquelle le réacteur sera placé (Eskilsson et Bjorklund, 2000; Mandal *et al.*, 2007):



Figure 4: Photographie représentant un magnétron (Meziane, 2014)

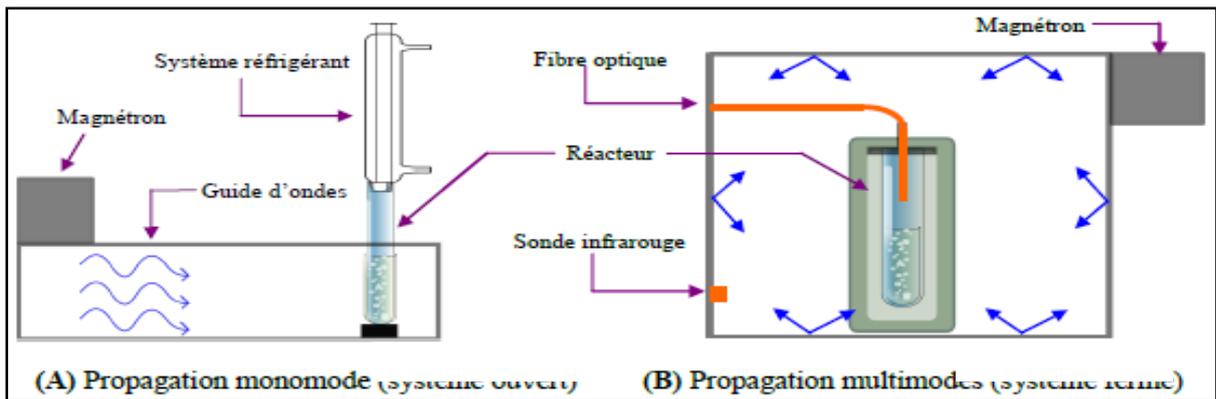


Figure 5: Schémat d'un four micro-ondes respectivement monomode (A) et multimode (B)(Mandal et al.,2007).

III.2.1.4. Utilisation dans l'industrie

a. Séchage

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments et peut être défini comme un transfert simultané de masse et de la chaleur dans laquelle l'activité de l'eau d'une denrée alimentaire est abaissée par l'alimentation d'eau. (Alibas et al., 2007).

b. Décongélation et le tempérage

Cette méthode consiste à appliquer de la chaleur à la surface des aliments surgelés et permettre ainsi la chaleur de se propager vers l'intérieur. Le gain de temps constitue un réel avantage. En ce qui concerne le tempérage par micro-onde ; cette méthode dépend de plusieurs facteurs qui varient avec la température ; la forme irrégulière et hétérogène de l'aliment à tempérer. (Chemat, 2014).

c. Cuisson

C'est un processus complexe décrit comme un transfert simultané de chaleur et de masse. Elle induit une série de changements physiques, chimiques et biochimiques dans les aliments. En raison de la faible diffusion thermique sur les aliments le temps de cuisson est important. Therdthai N et Zhou W.B., (2003).

d. Blanchiment

Le blanchiment est un des plus importants procédés en matière de la conservation des aliments. Il consiste à immerger les fruits ou les légumes dans l'eau bouillante ou dans la vapeur pendant une courte période. Le blanchiment par micro-ondes est une alternative au blanchissement classique avec des contrôles de température précis, sur le temps plus courts permettant ainsi un gain d'énergie au cours du processus (Chemat, 2014).

III.2.2. Principe d'extraction

Les radiations micro-ondes interagissent avec les dipôles des molécules polaires où ces dernières tentent de s'orienter dans la direction de champ et comme cela elles chauffent. L'énergie électrique est convertie en énergie cinétique qu'est ensuite transformée partiellement en chaleur par cette rotation dipolaire.

L'alignement des dipôles par rapport au champ électrique est contrarié par les forces d'interactions entre molécules qui peuvent être assimilées à des forces de frottement internes, qui s'opposent à la libre rotation des molécules. (Pangarkar, 2008; Ferhat et al., 2010).

L'extraction assistée par microondes est un processus par lequel l'énergie microonde accélère l'extraction. Ce traitement accélère la rupture des cellules en provoquant une augmentation rapide de la température et de la pression interne dans les parois des cellules végétales (Inoue et al., 2010). Autrement dit, l'extraction assistée par Micro-ondes (EAM) offre un transfert rapide d'énergie et un chauffage simultané de l'ensemble « solvant et matrice végétale solide ». En absorbant l'énergie des microondes, l'eau présente dans la matrice végétale favorise la rupture des cellules facilitant ainsi la libération des produits chimiques de la matrice et améliorant leur extraction (Florent, 2011). Le principe de cette procédure est illustré dans la figure 4 :

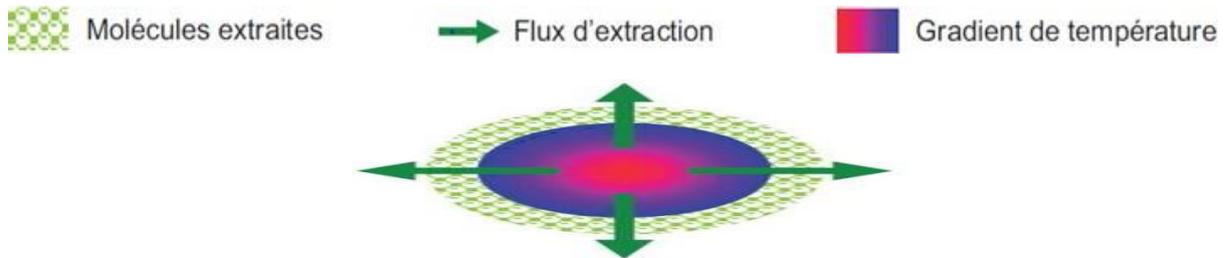


Figure 6 : principe de chauffage par microondes (Al-Harashseh et al., 2004).

III.2.3. Différentes méthodes d'extraction par micro-onde

Il existe différentes méthodes d'extraction solide liquide se distinguant par l'utilisation ou non d'un solvant et la nature de solvant. Ainsi selon la nature du solvant et donc de ses propriétés diélectriques. Ganzler et Lane , en 1986 , furent les premiers à présenter une technique d'extraction par solvant assistée par micro-ondes. Ce procédé consistait à irradier par micro-ondes de la matière végétale en présence d'un solvant absorbant fortement les micro- ondes (méthanol) pour l'extraction de composés polaires ou bien en présence d'un solvant transparent aux micro-ondes (hexane) pour l'extraction de composés apolaires. L'ensemble était chauffé sans jamais atteindre l'ébullition durant de courtes périodes entrecoupées par étapes de refroidissement. Cette technique se présentait comme beaucoup plus efficace qu'une méthode conventionnelle et permettait de réduire le temps d'extraction et donc les dépenses en énergie.

Les progrès dans l'extraction de micro-ondes ont donné lieu à trois techniques qui sont l'extraction par solvant assistés par MO (Microwave Assisted Solvent Extraction), la

distillation par MO (Microwave Assisted Distillation), et l'extraction par MO Combinant l'hydro diffusion et la gravité (Microwave Hydrodiffusion and Gravity). Au fil des ans, des procédures basées sur l'extraction par MO ont remplacé certains procédés classiques d'extraction qui ont été utilisées pendant des décennies dans les laboratoires et les entreprises.

III.2.4. Facteurs influencent l'extraction

Le rendement d'extraction peut être influencé par certains facteurs (**Eskilsson et Bjorklund, 2000 ; Wang *et al.*, 2010**) tels que :

- **La nature et le volume du solvant** : Le choix du solvant dépend de la solubilité de la matrice, de l'interaction matrice-solvant et surtout de la capacité du solvant à absorber les micro-ondes. Le volume du solvant doit être suffisant pour garantir que l'échantillon est bien immergé au cours du processus d'extraction ;
- **Le temps d'extraction** : Le temps d'extraction est extrêmement court. En augmentant la durée d'extraction, un risque de dégradation peut se produire ;
- **La température d'extraction** : Une augmentation de la température induit une diminution de la viscosité des solvants et par conséquent une meilleure diffusion de celui-ci dans les parties internes de la matrice ;
- **La puissance d'irradiation** : Elle est généralement minimisée pour éviter d'atteindre des températures d'extraction trop élevées et à l'inverse, augmentée pour diminuer le temps d'extraction ;
- **La nature de la matrice** : La présence d'eau dans les échantillons améliore les taux de récupération des composés cibles (**Eskilsson et Bjorklund, 2000; Wang *et al.*, 2010**).

III.2.5. Avantages et inconvénients de l'extraction assisté par micro- onde

L'extraction par micro-onde présente plusieurs avantages, à savoir : la rapidité (temps d'extraction d'ordre de secondes), la réduction de la consommation du solvant et l'amélioration du rendement d'extraction (**Wang et Waller., 2006, Grigonis *et al.*, 2005**). Cependant, il est à noter quand même que la température élevée (100-150°C) pose des problèmes quand il s'agit de l'extraction des antioxydants (**Reighar et olesik, 2006**).

III.3.Extraction assistée par ultra-sons

III.3.1.Définition :

Les ultrasons sont des ondes vibrationnelles mécaniques de fréquence allant de 20 à 100 kHz pour l'extraction des composés bioactives (Ghitescu *et al.*,2015).

III.3.2.Principe

Les ondes sonores peuvent se propager dans une matière et elles impliquent des cycles d'expansion et de compression lors de la propagation dans le milieu. L'expansion peut créer des bulles qui se forment, se développent et s'effondrent dans un liquide. Près d'une surface solide, l'effondrement de cavité est asymétrique et produit un jet de liquide à grande vitesse, ce phénomène est appelé la cavitation acoustique (Benamor, 2008). Les ultrasons perturbent la structure de la paroi cellulaire induisant ainsi la lyse des cellules et accélérant la diffusion des molécules à travers les membranes et en brisant les membranes cellulaires (Bourgou *et al.*,2016). Autrement dit, les effets mécaniques des ultrasons induisent une plus grande pénétration du solvant dans les matériaux cellulaires et améliorent le transfert de masse. Les ultrasons dans l'extraction peuvent également perturber les parois cellulaires, facilitant la libération de leur contenu. Par conséquent, l'efficacité de rupture des cellules et du transfert de masse sont cités en tant que deux facteurs principaux menant aux bonnes performances de l'extraction avec la puissance ultrasonique (Ghitescu *et al.*,2015).

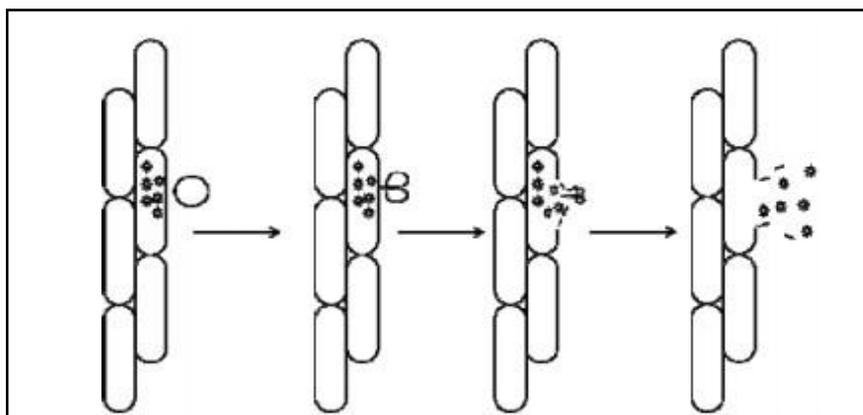


Figure 7: Evolution d'une bulle de cavitation à proximité d'une cellule végétale (Sébastien, 2010)

III.3.3.Procédé

Lors d'une extraction solide-liquide assistée par US, l'échantillon est immergé dans le solvant et est soumis aux ultrasons à l'aide d'une sonde US, appelée également sonotrode, ou d'un bain à US (Pradal, 2016).

III.3.4.Paramètres qui influent l'extraction assisté par ultrason

Le choix approprié du solvant et de la température permet une meilleure extractibilité des composés phénoliques. De plus, l'optimisation des paramètres d'extraction assistée par ultrasons tels que la fréquence, la puissance des ultrasons, le temps d'extraction ainsi que la distribution d'ondes ultrasonores permet aussi d'augmenter le rendement d'extraction (Wang & Weller, 2006).

III.3.5.Avantages et inconvénients de l'extraction assistée par ultrason

L'un des avantages de l'extraction assistée par ultrason est la température modérée de travail qui permet une réduction de la consommation d'énergie et une préservation de l'intégrité des substances bioactives sensibles à la chaleur (Pradal, 2016), en plus de l'amélioration du rendement de l'extraction, c'est-à-dire une extraction plus courte et plus efficace (Goula, 2013). Par contre, du point de vue inconvénients, cette méthode ne permet pas de renouveler le solvant pendant le processus d'extraction (Penchev, 2010), d'une part et l'effet délétère de l'énergie ultrason sur les constituants actifs des plantes médicinales par la formation des radicaux libres et par conséquent des changements indésirables dans les molécules médicamenteuses (Handa, 2008) d'autre part.

IV.Comparaison des méthodes d'extraction

- 1-Hayat *et al.*, (2009) ont comparé ECS, EAU, EAM pour l'extraction des acides phénoliques des écorces de mandarine. L'EAM donne la teneur la plus élevée en acide férulique (0,239 g/100 g bs) par rapport à EAU (0,235g/100 g bs) et ECS (0,205 g/100 g bs).
- 2- Dahmoune *et al.*, (2013) ont comparé 3 méthodes d'extraction des composés phénoliques des écorces de citron : ECS, EAU et EAM. Les auteurs ont rapporté qu'il n'y a pas de différence significative entre les teneurs en PT des extraits obtenus par les différentes méthodes d'extraction.

Par contre, l'extrait obtenu par EAM présente l'activité antioxydante la plus élevée, suivie par ECS et EAU.

- 3- L'activité antioxydante faible des extraits obtenus par EAU et ECS peut être due à la durée prolongée d'extraction d'où l'exposition aux conditions défavorables (la lumière et l'oxygène)
- 4- D'après Jacotet -Navaroo *et al.*, (2015), l'extraction des polyphénols totaux de Romarin par EAM (Ethanol/ Eau, 30 min, 78°C, 85 kWh/ kg) donne le rendement le plus élevé comparativement à la méthode UAE.
- 5- les teneurs en phénols totaux ($2,363 \pm 0,014$ g EAG/100 g de poudre des écorces d'orange) et en flavonoïdes totaux ($1,265 \pm 0,023$ g rutine/100 g de poudre des écorces d'orange) de l'extrait obtenu par la méthode EAM (ratio: m/v:5g/50ml, 10 s, 35°C, éthanol 80%, 170 W et 3 extractions successives.) sont plus élevées que celles obtenues dans l'extrait obtenu par EAU (ratio: m/v:5g/50ml, 30 min, 35°C, éthanol 80%, 125 W et 3 extractions successives) (M'Hiri, 2015)
- 6- Les UAE sont plus adaptés pour l'extraction de molécules thermosensibles car la température d'extraction utilisée est plus basse que celle de EAM, et cette dernière consomme jusqu'à 5,7 fois plus d'énergie que UAM(bian) (Pradal, 2016).

Conclusion

Le figuier de barbarie est traditionnellement utilisé à des fins médicinales. Il constitue un remède naturel qui s'avère efficace contre diverses maladies et ceux grâce aux substances antioxydants qu'il renferme. De ce fait, ces substances sont un sujet d'intérêt de nombreuses recherches scientifiques en raison de leurs effets positifs sur la santé humaine.

Plusieurs méthodes d'extraction des antioxydants, que ce soit traditionnelles (distillation, décoction, infusion, soxhlet et macération) ou modernes (extraction assisté par ultrasons ou par micro- ondes) ont vu le jour

Plusieurs travaux de comparaison entre les méthodes d'extraction par micro-onde et par ultrasons sur la base de l'influence de ces méthodes sur le rendement d'extraction de composés phénoliques, et dont la plupart converge à dire que l'extraction par micro-onde est meilleure à celle par ultrasons. Ci-dessous quelques résultats rapportés par certains auteurs : Hayat et al., (2009) ont comparé, EAU, EAM pour l'extraction des acides phénoliques des écorces de mandarine. L'EAM donne la teneur la plus élevée en acide férulique (0,239 g /100 g bs) par rapport à EAU (0,235g/100 g bs). D'après Jacotet Navaroo et al.(2015), l'extraction des polyphénols totaux de romarin par EAM (Ethanol/ Eau, 30 min, 78°C, 85 kWh/ kg) donne le rendement le plus élevé comparativement à la méthode UAE.(90/10, v/v ;40°C , 15kWh/kg). M'Hiri, 2015, a montré que les teneurs en phénols totaux de poudre des écorces d'orange et en flavonoïdes totaux de l'extrait obtenu par la méthode EAM (ratio : m/v : 5g/50ml, 10 s, 35°C, éthanol 80%, 170 W et 3 extractions successives.) sont plus élevées que celles obtenues dans l'extrait obtenu par EAU (ratio: m/v:5g/50ml, 30 min, 35°C, éthanol 80%, 125 W et 3 extractions successives. Dahmoune et al., (2013) ont comparé 3 méthodes d'extraction des composés phénoliques des écorces de citron : ECS, EAU et EAM. Les auteurs ont rapporté qu'il n'y a pas de différence significative entre les teneurs en PT des extraits obtenus par les différentes méthodes d'extraction. Par contre, l'extrait obtenu par EAM présente l'activité antioxydant la plus élevée, suivie par ECS et EAU. L'activité antioxydant faible des extraits obtenus par EAU et ECS peut être due à la durée prolongée d'extraction d'où l'exposition aux conditions défavorables (la lumière et l'oxygène)

Perspectives

Comme perspective, il serait intéressant d'approfondir ce travail par :

-Réaliser une étude pratique comparative entre les méthodes conventionnelle et non conventionnelles.

-Réaliser une étude pratique comparative afin de développer des extractions combinées (ex :MO-US).

Références bibliographiques :

- Al-Harabsheh, M. and Kingman, S.W.** (2004). Microwave-assisted leaching-a review. *Hydrometallurgy*.73 (3-4), 189-203 .
- Alibas Ozkan I., Akbudak B., Akbudak N.**(2007) «Microwaver drying characteristics of spinach», *Journal of Food Engineering*, 78, 577.
- Allegra, M., Ianaro,A., Tersigni, M., Panza, E., Tesoriere, L., and Livrea, M.A.** (2014). Indicanxanthin from cactus pear fruit exerts anti-inflammatory effects in carrageenin-induced rat pleuris.J. Nutr., 144, 185-192.
- Antolovich, M., Prenzler, P.D., Patsalides, E., McDonald, S., Robards, K.**(2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst* ; 127; 183-198. apoptosis in human myeloid leukemia cells. *Food and Chemical Toxicology*, 38, 861-
- Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbahri, L., Boubekraoui, A., Ait Hammou, A., Zemmouri, A., and Sbaa, A.** (2000): Valorisation du figuier de barbarie en élevage. Transfert de technologie en agriculture, 1-4.
- Baba-Aïssa, F** (2000). Encyclopédie des Plantes Utiles, Flore d'Algérie et du Maghreb, Substances Végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. EDAS Algérie.
- Benamor, B** (2008). Maitrise de l'Aptitude Technologique de la Matière Végétale dans les Opérations d'Extraction de Principes Actifs; Texturation par Détente Instantanée Contrôlée DIC. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle.
- Bendhifi, M., Baraket, G., Zourgui, L., Souid, S., and Salhi-Hannachi, A.,** (2013): Assessment of geneticdiversity of Tunisian Barbary fig (*Opuntia ficus indica*) cultivars by RAPD markers and morphological traits. *Scientia Horticulturae.*, 158, 1-7.
- Benzeggouta, N** (2014). Evaluation des Effets Biologiques des Extraits Aqueux de Plantes Médicinales Seuls et combinées. Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine.
- Bourgou, S., SerairiBeji, R., Medni, F., and Ksouri, R.** (2016) : Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d'*Euphorbia helioscopia* . *Journal of new sciences.*, 28(12), 1649-1655.
- Burda, S., Oleszek, W.,** (2001). Antioxidant and antiradical activities of flavonoids. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49, 2774-2779.
- Cern, P.** (2003). Clinical Studies .
- Chaouch, M.A., Hafsa, J., Rihouey, C., Le Cerf, D., Majdoub, H.** (2016). Effect of pH during extraction on the antioxidant and antiglycated activities of polysaccharides from *Opuntia ficus indica*. *Journal of Food Biochemistry.*, 40, 316-325.

- Chemat F et Poux M.** 2011, «Techniques d'activation par ultrasons et micro-ondes», dans des procédés durables : du concept à la concrétisation industrielle, Ed. DUNOD
- Chemat F,** 2014. Eco-Extraction Du Végétal. France. DUNOD.
- Cherif. E., (2016).** Figue de barbarie : Un cactus source de richesse. L'essentielle de
- Chougui, N. (2014).** Caractérisation physico-chimique et évaluation du pouvoir antioxydant de variétés de figues de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L) de Bejaia. Université de Bejaia
- Chougui, N., Djerroud, N., Naraoui, F., Hadjal, S., Aliane, K., Zeroual, B., and Lariat, R.** (2015): Physico chemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. *Food chemistry.*, 173 :382-390.
- Cole, M.A., Zhang, L., Liu, X.** (2005): Remediation of pesticide contamination soil by planting and compost addition , *compost science and utilization*, vol.3, no.4, p.20-30.
- Cowan M.M.** (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews* 12(4), 564-582.
- Dahmoune, F., Boulekbache, L., Moussi, K., Aoun, O., Spigno, G., and Madani, K.** (2013) : Valorization of citrus limon residues for the recovery of antioxidants: evaluation and optimization of microwave and ultrasound application to solvent extraction. *Industrial Crops and Products.*, 50, 77-87.
- Edeas, M.** (2007). Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie* 5, 264-270.
- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., and Hamadi, A.** (2005): Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chemistry.*, 93, 431-437.
- Ennouri, M., Fetoui, H., Bourret, E., Zeghal, N., and Attia, H. (2006):** Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology.*, 97, 1382-1386.
- Eskilsson, C.S., Bjorklund, E.** (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, 902: 227–250
- Favier, A.** (2003). Le stress oxydant. *L'actualité chimique*, 108-115.
- Ferhat M.A., Meklati B. Y., Chemat F.** (2010) Citrus d'Algérie, Les Huiles Essentielles et leurs Procédés d'Extractions. O.P.U. Algérie.
- Feugang, M.J., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F.C., Zou, C.** (2006): Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience.*, 11, 2574- 2589.
- Florent, D. (2011).** Caractérisation de nouvelles molécules et variabilité chimique de trois plantes du continuum Corsésar daigne: *Chamaemelummixtum*, *Anthemismaritima* et

Eryngiummaritimum. Thèse de doctorat en Chimie. Université de corse-pascal paoli : 234.

Galati, E.M., Monforte, M.T., Tripodo, M.M., d'Aquino, A., and Mondello, M.R. (2001). Antiulcer activity of *OpuntiaFicus –indica* (L.) Mill. (cactaeceae): ultrastructuralst.

Ghitescu, R. E., Volf, I., Carausu, C., Bühlmann, A. M., Gilca, I. A. et Popa, V. I. (2015) : Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from spruce wood bark. *UltrasonicsSonochemistry.*, 22, 535–541.

Goula, A. M. (2013). Ultrasound-Assisted Extraction of Pomegranate Seed Oil – Kinetic Modeling. *Journal of Food Engineering.*, 117, 492-498.

Gramza, A. and Korczak, J. (2005) :Tea constituents (*Camellia sinensis*L.) as antioxidants in lipid systems. *Trends in food science &technology.*, 16, 351-358. udy. *J.Ethnopharmacol.*, 76, 1-9. Grass(*Hierochloëodorata*), *The Journal of Supercritical Fluids*, 33 (3): 223-233.

Grigonis, D.,Venskutonis, P. R., Sivik, B., Sandahl, M. et Eskilsson, C. S. (2005).

Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultra structurale et chimique de la figue de Barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. 264p.

Habibi, Y., Heux, L., Mahrouz, M., and Vignon, M. R. (2008). Morphological and Structural study of seed pericarp of *Opuntiaficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers.*, 72, 102-112.

Habibi, Y., Heyraud, A., Mahrouz, M., and Vignon, M. (2004): Structuralfeatures of pectic- polysaccharides from the skin of *Opuntiaficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Research.*, 339, 1119-1127.

Habibi, Y., Mahrouz, M., and Vignon, M.R. (2002): Isolation and structure of D-xylans from pericarp seeds of *Opuntiaficus- Indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate.Research.*, 337,1593-1598.

Halmi, S. (2015).Étude chimique et botanique .Approche biologique et pharmacologique d'*Opuntia ficus indica*.L.

Handa, S. S., Khanuja, S. P. S., Longo, G. etRakesh, D, D. (2008). Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants.ICS-UNIDO. p 23-24.

Hayat, K., Hussain, S., Abbas, S., Farooq, U., Ding, B., Xia, S., Ji, C., Zhang, X., and Xia, W. (2009) : Optimized microwave-assisted extraction of phenolic acids from citrus mandarin peels and evaluation of antioxidant activity in vitro. *Separation and Purification Technology.*, 70, 63-70.

Inoue, T., Tsubaki, S., Ogawa, B., Onishi, K., Azuma, J.I., 2010. Isolation of hesperidin from peels of thinned Citrus unshiu fruits by microwave-assisted extraction. *Food chemistry*.123,542-547.

Jacotet-Navaroo M. et al ,(2015) : Ultrasound versus Microwave as Green Processes for Extraction of Rosmarinic, Carnosic and Ursolic Acids from Rosemary. *UltrasonicsSonochemistry.*, 27, 102-109.

Jain, T., Jain, V., Pandey, R., Vyas, A., Shukla, S.S. (2009). Microwave assisted extraction for phytoconstituents – An overview . *Asian J. Research Chem*, 2(1):19-25.

Kim, J.H., Park, S.M., Ha, H.J., Moon, C.J., Shin, T.K., J.M., Lee, N.H., Kim, H.C., Jang, K.J., and Wie, M.B. (2006). *Opuntia*ficus-indica attenuates neuronal injury in vitro and vivo models of cerebral ischemia. *J.Ethnopharmacol.*, 104, 257-262.

Ko, W., Kang, T., Lee, S., Kim, N., Kim, Y., Sohn, D., and Lee, B. (2000).

Kraft K et Hobbs C. (2004). *Pocket Guide to Herbal Medicine*. Thieme, Stuttgart, New York. p16.

Liu, L., Fishman, M. L., Kost, J., Hicks, K. B., (2003). Pectin-based systems for colonspecific drug delivery via oral route. *Biomaterials*.24,3333-3343.

Luque de Castro, M.D., and Gracia-Ayuso, L.E. (1998): Soxhlet Extraction of Solid Materials An Outdated Technique With a Promising Innovative Future. *AnalyticaChimica Acta.*, 369, 1-10.

Luque de Castro, M.D., and Priego-Capote, F. (2010) :Soxhlet extraction: Past and present panacea. *J Chromatogr A.*, 1217, 2383-2389.

M’Hiri N. (2018). Étude comparative de l’effet des méthodes d’extraction sur les phénols et l’activité antioxydante des extraits des écorces de l’orange “ Maltaise demi sanguine” et exploration de l’effet inhibiteur de la corrosion de l’acier au carbone. Thèse de doctorat, Université de Lorraine

Madhan, B., Krishnamoorthy, G., Rao, J. R., and Nair, B. U. (2007). Role of green tea polyphenols in the inhibition of collagenolytic activity by collagenase.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., and Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 2004. **79** (5): p. 727-747.

Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. (2007): Microwave assisted extraction – an innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. *PharmacognosyReviews.*, 1(1), 7-18.

Meziane, D (2014). Extraction assistée par micro-ondes des antioxydants à partir de *Rosmarinus officinalis* L. et de ses coproduits. Thèse de doctorat, Université de Science et de la technologie Houari Boumediene.

Michel, T (2011). Nouvelles méthodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification: Application aux molécules bioactives de l'argousier (*Hippophaë rhamnoides*). Thèse de doctorat, Université d'ORLEANS.

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. Thèse de doctorat en biologie végétal. Université Badji Mokhtar Annaba.

Nguyen van, C (2010). Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurale ; applications aux opérations d'extraction et de transestérification in situ. Thèse de Docteur de UFR Pôle Sciences et Technologie, Université de Rochelle, 170p.

Nharingo, T. and Moyo, M. (2016): Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of environmental management.*, 166, 55-72.

Nowakowska, Z (2007). A review of anti-infective and anti-inflammatory chalcones.

Pangarkar V.G. (2008). Microdistillation, Thermomicrodistillation and Molecular Distillation Techniques. In: Handa S.S., Khanuja S.P.S., Longo G., Rakesh D.D. (Eds) *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*. International Centre For Science and High Technology, Trieste, Italy. p 129-143.

Penchev P.I (2010). Etude Des Procédés D'extraction et de Purification de Produits Bioactifs A Partir de Plantes Par Couplage de Techniques Séparatives A Basses et Hautes Pression. Thèse de doctorat, Université de Toulouse.

Pincemail, J., and Defraigne, J. O. (2004). Les antioxydants : un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène.

Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., and Defraigne, J. (1998). Mesure et utilisation des antioxydants en médecine humaine. *Médecine Sphères*.

Pradal, D (2016). Eco-procédés d'extraction de polyphénols antioxydants à partir d'un co-produit agro-alimentaire. Thèse de doctorat, Université Lille 1.

Ramadan, M. F., and Mörsel, J. T. (2003b) : Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: a good source of poly unsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83, 447-456.

- Reighard, T. S. et Olesik, S. V.** (2006). Bridging the Gap Between Supercritical Fluid *Research*, 4(4): 304-308.
- Reyes-Agüero, JA., Aguirre-Rivera, JR., and Hernández, HM.** (2005): Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia.*, 39(4), 395- 408.
- Rice-Evans C.A., Miller N.J., Bolwell P.G., Bramley P.M., Pridham J.B.** (1995). The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*; 22; 375-383.
- Rock, E.** (2003). Stress oxydant, micronutriments et sante. Thèse de doctorat, Université d'été de Nutrition Clermont-Ferrand., 37, 42-6 ..
- Sáenz, C., Corrales-García, J., and Aquino-pérez, G.** (2002): Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineale. *Biology and uses*, pp.211-234.
- Saidi, N., Elmsellem, H., Ramdani, M., Yousfi, F., Rmili, R., Azzaoui, K., Aouniti, A., and Chahboun, N.** (2016): A Moroccan *Opuntia Ficus Indica* methanolic flowers extract as an eco-friendly antioxidant and anti-corrosion for mild steel in 1 M HCl.
- Schweizer M.** (1997). Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu. Clamecy ; PARIS (France). 81 p..
- Sébastien V.** (2010). Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation - Chapitre 4 : Enrichissement exogène de l'huile d'olive par ultrasons .Thèse de doctorat, Université d'Avignon, France.
- Stintzing , F.C and Carle, R.**(2005) : Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research.*, 49, 175-194.
- Therdthai N., Zhou W.B.,** 2003, «Recent advances in the studies of bread baking process and their impact on the bread baking technology», *Food Science and Technology Research*, 9, 219.
- Tripoli, E., Guardia, M. L., Giammanco, S., Majo, D. D., and Giammanco, M.** (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties : A review. *Food Chemistry*, 104, 466-479.
- Veberic R., Colaric M. et Stampar F.** (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*ficus carica L*) in the northern Mediterranean region. *Food Chemistry*, 106: 153-157.
- Wang, L., and Weller, C.L.,** (2006) : Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology.*, 17, 300-312.

Wang, LY., Xi, G.S., Zheng, C.Y., Miao, S.F.(2010).Microwave-assisted extraction of flavonoids from Chinese herb Radix puerariae (Ge Gen).).*Journal of Medicinal Plants Research*, 4(4): 304-308.

Zou, D.M., Brewer, M., Garcia, F., Feugang, J.M., Wang, J., Zang, R., Liu, H., and Zou, C.P. (2005). Cactus Pear : a nature product in cancer chemoprevention. *Nutrition journal*, 4, 25-29.

Résumé :

Le figuier de barbarie appartient à la famille des Cactacées. Cette dernière se différencie par des caractéristiques physiologiques et morphologiques permettant à celle-ci de résister contre la sécheresse et donc à s'adapter et se développer dans les steppes (zones arides et semi-arides). L'Opuntia constitue une source très importante en antioxydants, ce qui nous a poussés à étudier ses méthodes d'extraction.

L'objectif général de notre travail est d'étudier l'effet de la méthode d'extraction des antioxydants de graines de figue de barbarie sur l'activité antioxydant attribuable aux substances bioactives. Pour cela, on a étudié les différentes méthodes d'extraction conventionnelles et modernes, et on a jeté la lumière sur la comparaison de l'extraction par microondes et ultrasons . Le meilleur rendement d'extraction a été attribué à l'extraction assistée par micro-ondes

Mots clés : figue de barbarie, graines, microondes, ultrason, activité antioxydant.

Abstrat :

The prickly pear belongs to the Cactaceae family. The latter is differentiated by physiological and morphological characteristics allowing it to resist drought and therefore to adapt and develop in the steppes (arid and semi-arid areas). Opuntia is a very important source of antioxidants, which prompted us to study its methods of extraction.

The general objective of this work is to study the effect of the method of extracting antioxidants from prickly pear seeds on the antioxidant activity attributed to bioactive substances. For this, we studied the different conventional and modern extraction methods ,and shed light on the comparaison of microwave and ultrasonic extraction. The best extraction yield was attributed to the micro-assisted extraction wave

Key words : prickly pear, seeds, microwave, ultrasound, antioxidant activity.

المخلص

ينتمي التين الشوكي إلى عائلة الصبار. تتميز هذه الأخيرة بخصائص فسيولوجية ومورفولوجية تسمح لها بمقاومة الجفاف وبالتالي التكيف والتطور في السهوب (المناطق القاحلة وشبه القاحلة). يعتبر هذا الجنس مصدرًا مهمًا جدًا لمضادات الأكسدة ، مما دفعنا إلى دراسة طرق استخلاصه.

الهدف العام من هذا العمل هو دراسة تأثير طريقة استخلاص مضادات الاكسدة من بذور التين الشوكي على النشاط المضاد للأكسدة المنسوب للمواد الحيوية النشطة لهذا قمنا بدراسة طرق الاستخلاص التقليدية و الحديثة المختلفة و سلطنا الضوء على المقارنة بين الاستخلاص بالميكروويف و الموجات فوق الصوتية حيث تعود افضل نتيجة استخلاص الى الميكروويف .
الكلمات المفتاحية: التين الشوكي ,البذور , الميكروويف , الموجات فوق الصوتية ,النشاط المضاد للأكسدة