

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master

En Génie des Procédés

Option Génie Chimique

Présenté par

KEROUANE Hamza & KHELIFA Fouzia

Thème

**Optimisation et caractérisation des composés phénoliques d'une
extraction assistée par micro-onde**

Prévue le 25/06/2023

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade		
SAHI Samira	M.C.A	Université Bejaia	Présidente
IHAMOUCHEN Chadia	M.C.A	Université Bejaia	Examinatrice
HAMOUR Nora	M.C.A	Université Bejaia	Encadrante
CHIBANE Nazim	Doctorant	Université Bejaia	Co-encadrant

Année Universitaire : 2022 /2023

Remerciements

Tous d'abord, Merci au bon dieu de nous avoir guidé vers le bon chemin, de nous avoir donné la santé, la volonté, la patience et la motivation pour achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadrente madame HAMOUR Noura pour son soutien et son suivi tout au long de la réalisation de notre travail. Nous exprimons notre profonde gratitude et notre respect pour la confiance qu'elle nous a accordée pendant une année entière.

Nous sommes également reconnaissants de l'intérêt qu'elle a porté à notre travail et de ses précieux conseils. Enfin, nous la remercions encore une fois pour sa disponibilité malgré ses multiples responsabilités. Tenons à remercier notre président de soutenance pour son soutien et son engagement tout au long de notre projet.

Nous sommes également reconnaissants de la patience de monsieur CHIBANE Nazim et de sa capacité à répondre à toutes nos questions et préoccupations. Il a été une source d'inspiration pour nous et nous a encouragés à donner le meilleur de nous-mêmes. Nous le remercions pour son développement et son engagement envers notre succès.

On tient également à exprimer notre reconnaissance envers ceux qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail, madame SAHI Samira pour avoir accepté de présider le jury de soutenance et madame IHAMOUCHEM Chadia pour avoir accepté d'examiner notre mémoire.

En fin, on tient à remercier(es)ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre travail.

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail,

A mes chers parents pour leur soutien, leur patience, leur

Encouragement durant mon parcours scolaire.

A mes chers frères Nacer, Ridha, Ameer et mes sœurs Sabah, Sara, Nihad.

A mes meilleurs amis Massi, Louhab, Youdas et à mes chères amies Lynda, Kahina
qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux qui m'a aidé à préparer ce modeste travail

En fin, je remercie mon binôme Fouzia qui a contribué à la réalisation de ce travail.

KEROUANE HAMZA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail : Á mes très chers parents, tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

À mon cher frère et mes chères sœurs qui ont toujours été avec moi et ceux qui m'ont toujours soutenu.

Je tiens à remercier mon cher mari Djelloule pour sa présence réconfortante et sa source de joie dans ma vie.

A mes meilleurs amies Hayet, Nourhan, Tinhinan, Cylia, Ghania qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A mon binôme Hamza, merci de m'avoir encouragé toute au long de la réalisation de ce travail.

KHELIFA Fouzia

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude Bibliographique

Tableau 1 : Composition en acides gras de l'huile de fruits de pistachier lentisque	10
Tableau 2 : Composition en éléments minéraux du fruit de pistachier lentisque	11

Chapitre II : Matériaux et Méthodes

Tableau 1 : Variables indépendantes et les niveaux des facteurs influençant sur l'extraction assistée par micro-ondes.....	34
Tableau 2 : Les souches microbiennes testées	38

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau 1 : Valeurs expérimentales et prédites des composés phénoliques totaux du plan composite centré	45
Tableau 2 : Analyse de la variance pour l'effet des facteurs sur les composés phénoliques totaux	47
Tableau 3 : Variation de taux d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des feuilles	52
Tableau 4 : Variation de taux d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des fruits.	52
Tableau 5 : Diamètre des zones d'inhibition des bactéries et champignons.....	53

Liste des Figures

Chapitre I : Etude Bibliographique

Figure 1 : Arbuste de pistachier lentisque	6
Figure 2 : « Larmes » de résine qui s'écoulent du tronc de pistachier lentisque	7
Figure 3 : Partie aérienne (branche, feuilles et fruits)	7
Figure 4 : Feuille de pistachier lentisque	8
Figure 5 : Pistachier lentisque en floraison	8
Figure 6 : Fruits rouge et noires de pistachier lentisque	9
Figure 7 : L'aire de répartition du genre pistacia	9
Figure 8 : Structure chimiques des composés phénoliques	12
Figure 9 : Huile essentielle	16
Figure 10 : Mardys Immortelle Super Serum 15ml	16
Figure 11 : Defence Gel Nett Px Grasse 150 ml	16
Figure 12 : Clarins Sos Lashes Serum Mascara	16
Figure 13 : Equipements d'une extraction assistée par micro-Onde	19
Figure 14 : Plan composite pour deux facteurs	21

Chapitre II : Matériaux et Méthodes

Figure 1 : Feuilles et Fruits de pistachier lentisque	29
Figure 2 : Montage de extraction assistée au micro-onde	31
Figure 3 : Pâte des fruits de PL	31
Figure 4 : Poudre des feuilles PL	31
Figure 5 : Installation d'équipement d'une extraction assisté au micro-onde	32
Figure 6 : Filtration de l'extrait	33
Figure 7 : Spectrophotométrie UV-visible	36
Figure 8 : Schéma réactionnel de réduction du DPPH avec une substance anti oxydante	37
Figure 9 : Différents étapes d'ensemencement	40
Figure 10 : Spectroscopie infrarouge à transformé du Fourier	41

Liste des Figures

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure 1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	44
Figure 2 : Présentation du modèle de surface de réponse développé pour la TPC des feuilles du pistachier lentisque	48
Figure 3 : Présentation du modèle de surface de réponse développé pour la TPC des fruits du pistachier lentisque	49
Figure 4 : Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des feuilles de pistachier lentisque.	50
Figure 5 : Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des fruits de pistachier lentisque.....	51
Figure 6 : Résultat de test antibactérien	54
Figure 7 : Résultat de test antifongique.....	55
Figure 8 : Spectre IRTF pour l'extrait des feuilles.	56
Figure 9 : Spectre IRTF pour l'extrait des fruits.....	57

Liste des abréviations

Abs : Absorbance

ANOVA: Analyses of Variance

cm : Centimètre

CPT : Composés Phénoliques Totaux

EAG : Equivalent Acide Gallique

EAM : Extraction assistée au Micro-onde

DMSO : Diméthylsulfoxyde

DPPH : 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

h : Heure

IC50 : Concentration inhibitrice à 50 % des radicaux

IR-TF : Infrarouge-transformation fourrier

g : Gramme

GHz : Gigahertz

KBr : Bromure de potassium

L : Litre

m : Mètre

MH : Muller Hinton

MHz : Mégahertz

min : Minute

mg : Milligramme

ml : Millilitre

mm : Millimètre

MS : Matière sèche

Na₂CO₃ : Carbonate de Sodium

nm : Nanomètre

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PL : Pistachier lentisque

PCC : Plan composite centré

R² : Coefficient de corrélation

R² corrigé : Coefficient de corrélation corrigé

S : Seconde

TPC : La teneur en composés phénoliques totaux

Liste des abréviations

UFC : Unité formatrice de colonie

UV-visible : Ultraviolet visible

w : Watt

λ max : Longueur d'onde maximale

% : Pourcentage

Tables des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1 Généralités sur le pistachier lentisque	4
I.1.1 Description de pistachier lentisque	4
I.1.1.1 Classification	4
I.1.1.2 Taxonomie de pistachier lentisque	4
I.1.1.3 Données toxicologiques	5
I.1.1.4 Description botanique	5
I.1.2 Répartition géographique de pistachier lentisque	9
I.1.3 Composition chimique	10
I.2 Biomolécules du pistachier lentisque	11
I.2.1 Composés phénoliques.....	11
I.2.2 Huiles essentielles	13
I.3. Utilisation de pistachier lentisque	13
I.3.1 Utilisation de la plante	13
I.3.2 Utilisation thérapeutique.....	13
I.3.3 Utilisation dans domaine Alimentaire	15
I.3.4 Utilisation de la plante du pistachier dans le domaine pharmaceutique	15
I.4 Les technique d'extraction	17
I.4.1 Macération	17
I.4.2 Soxhlet	17
I.4.3 Extraction assistée par ultra-sons	17
I.4.4 Extraction assistée au Micro-onde	18
I.4.4 Historique du Micro-onde	18
I.4.4.2 Généralité	18
I.4.4.3 Principe d'extraction assistée par micro-onde	18

Tables des matières

I.4.4.4 Instrumentation	19
I.4.4.5 Avantages et inconvénients pour l'extraction assistée par micro-onde	19
I.5 Plan d'expériences	20
I.5.1 Types de plans d'expérience	20
I.5.2 Plan composite centré	21
I.5.3 Propriétés du plan composite centré	22

Chapitre II : Matériaux et Méthodes

II.1 Présentation des produits utilisés	29
II.1.1 Matière végétal	29
II.1.2 Produits chimiques	29
II.1.2.1 Acétone	29
II.1.2.2 Carbonate de sodium	30
II.1.2.3 Folin-Ciocalteu	30
II.1.2.4 Acide gallique.....	30
II.3 Méthode	30
II.3.1 Préparation des échantillons	30
II.3.2 Extraction assistée au micro-onde	31
II.3.3 Protocole d'extraction par micro-onde	32
II.3.3.1 Dosage des polyphénols totaux	33
II.4 Optimisation des conditions d'extraction.....	33
II.4.1 Les condition d'extraction	33
II.4.1.1 Puissance des micro-ondes	33
II.4.1.2 Temps d'extraction	33
II.4.1.3 Concentration	34
II.4.2 Application du plan d'expérience.....	34
II.4.2.1 Réponse étudiée.....	34
II.4.2.2 Matrice d'expériences	34
II.4.2.3 Modèle mathématique	35
II.5 Techniques de caractérisations	35

Tables des matières

II.5.1 Spectroscopie UV-visible	35
II.5.2 Activité antioxydant par DPPH	36
II.5.2.1 Principe	36
II.5.2.2 Mode opératoire	37
II.5.2.3 Calcul des concentrations « IC50 »	38
II.5.3 Test d'activité antimicrobienne	38
II.5.3.1 Activité antibactérienne	38
II.5.3.2. Activité antifongique	40
II.5.4 Analyse par spectroscopie infrarouge a transformé Fourier	41

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Application du plan d'expérience	44
III.1.1 Modèle mathématique	49
III. 2 Activité antioxydant	50
III. 3 Activité antibactérienne	53
III. 4 Analyse spectroscopie infrarouge a transformé Fourier	55

Introduction

Générale

Introduction générale

Introduction générale

Depuis l'antiquité, les plantes médicinales ont joué un rôle important dans les soins de santé humaine. Le traitement par les plantes est reconnu pour sa facilité d'utilisation, son efficacité ainsi que ses bienfaits incontestables. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS), près de 80 % de la population a recours à la médecine traditionnelle (**Nunes et al., 2020**).

La région méditerranéenne abrite une diversité biologique de première importance. La plupart des espèces de la flore spontanée sont remarquablement résistantes et bien adaptées à la sécheresse et à la salinité. En Afrique du Nord, elles constituent une part très importante des ressources génétiques locales à valeurs pastorales, fourragères, alimentaires, aromatiques et médicinales (**Amirouche, 2008**).

La position géographique particulière de notre pays en région méditerranéenne et de l'impressionnant gradient bioclimatique Nord-Sud, a fait qu'une grande diversité de biotope occupée par une importante richesse floristique le caractérise. Comptant une panoplie d'écosystèmes, dont certains représentent des paysages d'intérêt mondial, l'Algérie est connue par sa diversité en ressources végétales. Parmi lesquelles cet arbre spontané qui pousse sur tout le bassin méditerranéen : porte le nom de pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*).

Pistachier lentisque est un arbrisseau appartenant à la famille des Anacardiaceae. Connu en Algérie sous le nom de Drow, communément appelé arbre de mastic, est une plante médicinale originaire de bassin méditerranéen, qui est riche en composés phénoliques. Cette plante est largement utilisée par les populations locales dans la médecine traditionnelle à des fins diverses comme antiseptique, antihypertenseur, gastro-intestinal, hépatique et urinaire (**Boutemine et al., 2018**). Elle possède plusieurs activités pharmacologiques, notamment antioxydants, antibactériennes, anti-inflammatoires et anticancéreuses.

L'extraction est une étape importante dans la fabrication des produits phytochimiques qui constitue un sujet de recherche actuel. Des composés phénoliques de diverses plantes ont été isolés par des méthodes conventionnelles qui sont généralement moins efficaces, prennent beaucoup de temps et consomment énormément de solvants (**Prakash, 2013**). De nos jours, il y a une demande croissante du développement des processus verts d'extraction avec un temps d'extraction limité et une consommation réduite en solvants nocifs.

Introduction générale

Au cours de cette recherche la méthode d'extraction des polyphénols de lentisque pistachier est : l'extraction assistée par micro-onde (EAM).

La présente étude a pour objectif d'optimiser les conditions d'extraction des composés phénoliques totaux (CPT) par extraction assistée au micro-onde (EAM) à partir des feuilles et fruit de pistachier lentisque, en utilisant le plan d'expérience permettant la modélisation mathématique pour obtenir les conditions optimales et pouvoir expliquer l'interaction des paramètres expérimentaux sur l'extraction.

Notre travail présente plusieurs parties :

- La première partie de ce travail concerne tout d'abord la synthèse bibliographique, qui comporte la présentation et composition biomoléculaire de pistachier lentisque, Ainsi que la méthode d'extraction EAM. Suivie par plan d'expérience.
- La deuxième partie est consacrée aux matériel et méthodes utilisés.
- La troisième partie englobe les résultats obtenus ainsi que les interprétations, suivies par une conclusion générale.

Référence bibliographique

-A-

Amirouche R. Flore spontanée d'Algérie et ressources phytogénétiques. Caractérisation et stratégie de conservation. Biotech 2008, XI^{es} Journées Scientifiques du réseau « Biotechnologies végétales / Amélioration des plantes et sécurité alimentaire » de l'Agence universitaire de la Francophonie. Agrocampus Rennes, France, 11-12, 2008.

-B-

Boutemine, I. M., Amri, M., Amir, Z. C., Fitting, C., Mecherara-Idjeri, S., Layaida, K., Sennoun, N., Berkane, S., Cavillon, J. M., Touil-Boukoffa, C. Gastro-protective, therapeutic and anti-inflammatory activities of Pistacia lentiscus L. fatty oil against ethanol-induced gastric ulcers in rats. Journal of Ethnopharmacology, 224, 273-282, 2018.

-N-

Nunes, C.D.R., Arantes, M.B., Menezes de Faria Pereira. S., Leandro da Cruz, L., Passos. M.D.S., Pereira de Moraes. L., Vieira. I.J.C., Barros d'Oliveira. D. Plants as Sources of Anti-Inflammatory Agents. Molecules, 25,1-22, 2020.

-P-

Prakash Maran, J., Manikandan, S., Vigna Nivetha, C., & Dinesh, R. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from Nephelium lappaceum L. fruit peel using central composite face centered response surface design. Arabian Journal of Chemistry, 10, S1145-S1157, 2013.

Chapitre I :

Etude Bibliographique

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1 Généralités sur le pistachier lentisque

I.1.1 Description de pistachier lentisque

I.1.1.1 Classification

Le lentisque, ou Pistachier lentisque (pistachier lentisque L), est un arbrisseau du genre pistacha appartenant à la famille des Anacardiaceae qui comprend environ 70 genres et plus de 600 espèces.

Selon la classification commune de **Ghalem et Benhassaini, 2007**, le genre Pistacia regroupe 10 autres espèces : Pistacia mexicana ; Pistacia texana ; Pistacia saportae ; Pistacia weinmannifolia ; Pistacia atlantica ; Pistacia chinensis ; Pistacia khinjuk; Pistacia palaestina ; Pistacia terebinthus (le pistachier térébinthe) et enfin Pistacia vera, le Pistachier vrai ou commun, la seule espèce cultivée pour l'alimentation humaine et la plus importante économiquement.

En Algérie, le genre Pistacia est représenté par quatre espèces, Pistacia lentiscus, Pistacia terebinthus, Pistacia vera et Pistacia atlantica.

I.1.1.2 Taxonomie de pistachier lentisque

D'après Linné (L., 1753) (**Maameri, 2014**).

- **Règne** : Végétal
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Ordre** : Sapindales
- **Genre** : Pistacia
- **Espèce** : Pistacia lentiscus L.

Noms vernaculaires

- **Arabe** : Darou, dherou, drou, sarisse
- **Kabylie (Algérie)** : Amadagh Tidekt, Tidekst
- **Français** : Lentisque et arbre au mastic
- **Allemand**: Mastixbaum
- **Anglais** : Chios mastic tree
- **Espagnol** : Lentisco

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1.1.3 Données toxicologiques

Pistachier lentisque, est potentiellement important grâce à ses atouts en termes de biomasse, d'abondance sur le terrain, de richesse en métabolites secondaires (tanins, flavonoïdes, stérols..... etc), d'effets antibactériens et de faible toxicité en rapport avec l'absence totale des hétérosides cyan génétiques, qui diminue fortement les risques toxicologiques liés à l'usage de pistachier lentisque (**Bammou et al., 2015**).

I.1.1.4 Description botanique

Pistachier lentisque est un petit arbuste qui peut atteindre 2 à 3 mètres de haut, vivace, fortement ramifié à partir de la base (**figure 1**) (**Alloune et al., 2012**). Il est caractérisé par :

- **Une écorce** : de couleur brun rougeâtre sur les jeunes branches, lisse vire au gris puis écailleuse avec le temps.
- **Le bois** : de couleur blanc, puis jaune, puis rosé et parfois veiné de jaune.
- **Les Branches** : sont tortueuses et pressées, formant une masse serrée (**figure 3**).
- **Une résine** : appelée également mastic, il s'agit d'une substance (**figure 2**).

Aromatique et résineuse de couleur jaune pâle que l'on obtenu, naturellement ou par incision répétée du tronc et des branches principales, sous forme des petites « larmes » de quelques millimètres de diamètre, brillantes qui durcit au contact de l'air. La récolte du mastic s'effectue en été et en automne, de cette manière la production est d'environ 4 à 5 Kg par arbuste. La distillation de la résine est récupéré une essence employée en parfumerie.

- **Feuilles** : persistantes, composées avec 4 à 10 paires de folioles ovales, obtuses au sommet, coriaces, non dentées qui sont disposées sur deux rangées de façon parallèle et presque toujours sans foliole terminale (**figure 4**). La rachi est ailée entre les paires de folioles. Elles sont vertes foncées et brillantes en dessus, glabres, mates et pâles en dessous. Les feuilles ont une durée de vie de 2 ans (**Ain-lhout et al., 2004**).

- **Les fleurs** : se présentent sous forme de grappes spiciformes, denses, elles apparaissent seules ou par deux à l'aisselle d'une feuille au printemps, polonisées par le vent et sont très aromatiques. Leur longueur d'environ trois mm, apétales et unisexuées (espèce dioïque où l'on trouve des fleurs mâles et femelles distincts) (**figure 5**) :

La fleur femelle : de couleur vert jaune, à 3 ou 4 sépales a un ovaire supère avec un style court à 3 stigmates.

La fleur mâle : de couleur rouge foncé, à 5 sépales d'où sont insérées 5 étamines, à filets courts soudés à la base et anthères rouges, tétragones (**Rameau et Dumé, 2008**).

- **Les Fruit** : des baies rondes de 2 à 3 mm, monosperme, rouges, puis noirs à maturité (**figure 6**).

Chapitre I : Etude Bibliographique

La fructification est à l'automne. Son odeur est très forte avec une saveur amère, camphrée (Iserin et al., 2001).



Figure 1 : Arbuste de pistachier lentisque

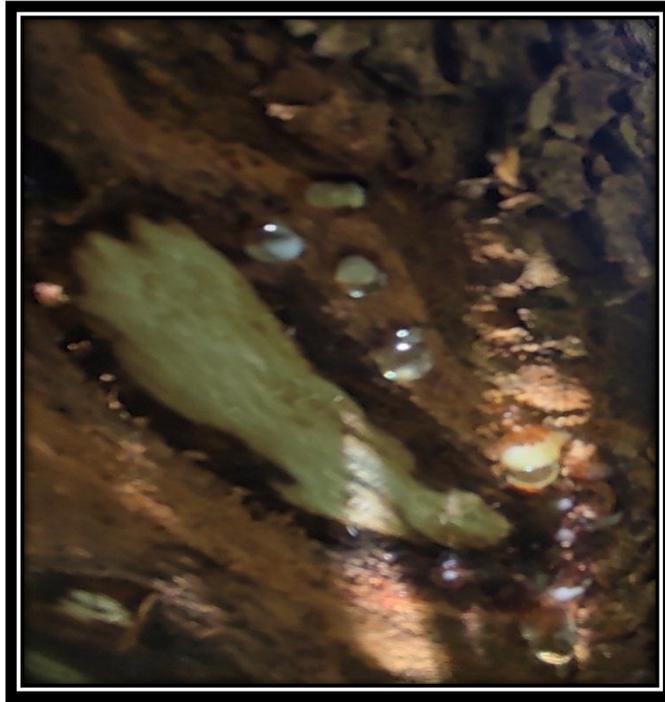


Figure 2 : « Larmes » de résine qui s'écoulent du tronc de pistachier lentisque



Figure 3 : Partie aérienne (branche, feuilles et fruits)



Figure 4 : Feuille de pistachier lentisque



Figure 5 : Pistachier lentisque en floraison



Figure 6 : Fruits rouge et noirs de pistachier lentisque

I.1.2 Répartition géographique de pistachier lentisque

Pistachier lentisque est un arbrisseau que l'on trouve couramment en sites arides Asie et région méditerranéenne de l'Europe et d'Afrique (**figure 7**), jusqu'aux Canaries (**Bellakhdar, 2003**). Pistachier lentisque pousse à l'état sauvage dans la garrigue et sur les sols en friche. On le retrouve sur tout type de sol, dans l'Algérie subhumide et semi-aride (**Saadoun, 2002**), plus précisément dans le bassin du Soummam en association avec le pin d'Alep, le chêne vert et le chêne liège (**Belhadj, 2000**).

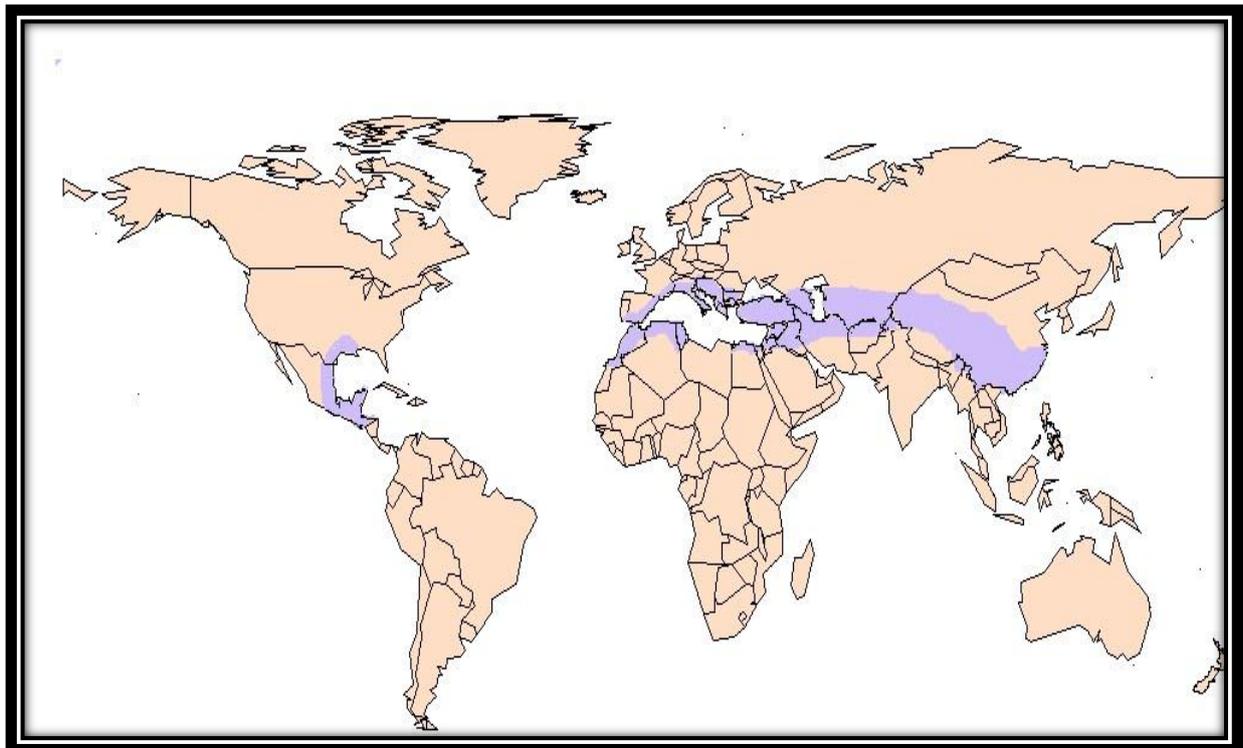


Figure 7 : L'aire de répartition du pistachier lentisque

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1.3 Composition chimique

a. huiles végétales

Une huile végétale est un mélange à consistance liquide ou semi-liquide à température ambiante, de substances majoritairement hydrophobes, solubles dans les solvants organiques apolaires ou peu polaires, non volatiles : on parle alors d'huile fixe ou grasse (**Karleskind et al., 1992**). L'huile de pistachier lentisque est caractérisée par sa bonne qualité nutritive, elle est extraite à partir du fruit comestible, est de couleur verte foncée ; elle n'est entièrement liquide qu'à la Température de 32 à 34 °C. en-dessous, elle laisse déposer une Matière blanche, susceptible de cristallisation, qui bientôt envahit la totalité de l'huile et la solidifie complètement.

Beaucoup d'études sur la composition chimique de cette huile ont été effectués par quelques auteurs ; (**Duru et al., 2003**), ont rapporté que l'huile a la bonne qualité nutritive en raison de son contenu en acides gras insaturé (oléique + linoléique = 73%) et d'acides gras saturés (palmitique + stéarique = 25.8%).

La teneur en matières grasses brutes des fruits de pistachier lentisque varie de 32,8% pour les fruits noirs (mûrs) à 11,70% pour les fruits rouges. Ainsi, le fruit noir peut être considéré comme une graine oléagineuse ayant des teneurs élevés en matières grasses comme c'est le cas pour l'arachide, l'olive, le tournesol et le coton (**Charef et al., 2008**).

Tableaux 1 : Composition en acides gras de l'huile de fruits de pistachier lentisque

Acide gras	(%) d'acides gras Selon (Charef et al., 2008)	(%) d'acides gras Selon (Mezni et al., 2012)
Acide palmitiques	16.3	25
Oléiques	55.6	56
Linoléique	17.6	15

Chapitre I : Etude Bibliographique

b. Composition en éléments minéraux des fruits

Les fruits matures de pistachier lentisque sont riches en éléments minéraux. L'élément minéral le plus abondant est Na, suivi par K, Ca, Mg, Fe et Cu (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Composition en éléments minéraux du fruit de pistachier lentisque

Eléments minéraux	Quantité (mg/100g de l'huile) (Dhifi, 2013)	Quantité (mg/g du fruit) (Hamad et al., 2011)
Sodium (Na)	25.36 ± 3.25	0.46
Potassium (K)	2.17 ± 0.05	2.67
Calcium (Ca)	0.25 ± 0.04	0.37
Magnésium (Mg)	0.19 ± 2.23	-
Fer (Fe)	0.004 ± 0.00tr	-
Cuivre (Cu)	0.0001 ± 0.00tr	-
Phosphore (P)	-	0.004

I.2 Biomolécules du pistachier lentisque

I.2.1 Composés phénoliques

Les polyphénols attirent de plus en plus l'attention des chercheurs et des industriels en raison de leur importance. En effet, jusqu'à maintenant, on considérait ces molécules comme intéressantes pour l'organisme, tant au niveau nutritionnel que pour la santé (**Charrouf et Guillaume, 2007**). Mais les progrès des techniques d'analyses chimiques, de génie génétique et des biotechnologies en général, ont permis une nouvelle approche de ces composés organiques (**Hilali, 2008**). Ces constituants, appelés encore «biophénols», sont des substances naturelles aux propriétés antioxydants. Elles sont présentes dans les huiles d'olive vierges.

Les polyphénols ou composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétal. Cette appellation générique désigne un vaste ensemble de substances aux structures variées qu'il est difficile de définir simplement (**Bruneton, 1993**). A l'heure actuelle, plus de 8000 molécules ont été isolées et identifiées (**Mompon et al., 1998**).

Tous les végétaux contiennent des composés phénoliques, mais comme c'est le cas pour la plupart des substances naturelles qualifiées de métabolites secondaires, leur répartition qualitative et quantitative est inégale selon les espèces, les organes, les tissus et les stades physiologiques. Ils correspondent à un très large gramme de structure chimique et sont un très bon témoin de l'extraordinaire capacité de biosynthèse des plantes, capacité qui permet à

Chapitre I : Etude Bibliographique

l'homme de les utiliser dans des domaines agroalimentaire pharmacologie. (Manchado et Cheynier, 2006).

Selon leurs caractéristiques structurales, ils se répartissent en une dizaine de classes chimiques, qui présentent tous un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (Hennebelle et al., 2004).

La structure des composés phénoliques naturels varie depuis les molécules simples (acides phénoliques simples) vers les molécules les plus hautement polymérisées (tanins condensés) (Macheix et al., 2005).

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois), et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines, ou la maturation des fruits (Boizot et charpentier, 2006).

Ils sont divisés en plusieurs catégories : anthocyanes, coumarines, lignanes, flavonoïdes, tanins, quinones, acides phénols, xanthomes, et autres phloroglucinols ou les flavonoïdes représentent le groupe le plus commun et largement distribué (Bruneton,1993).

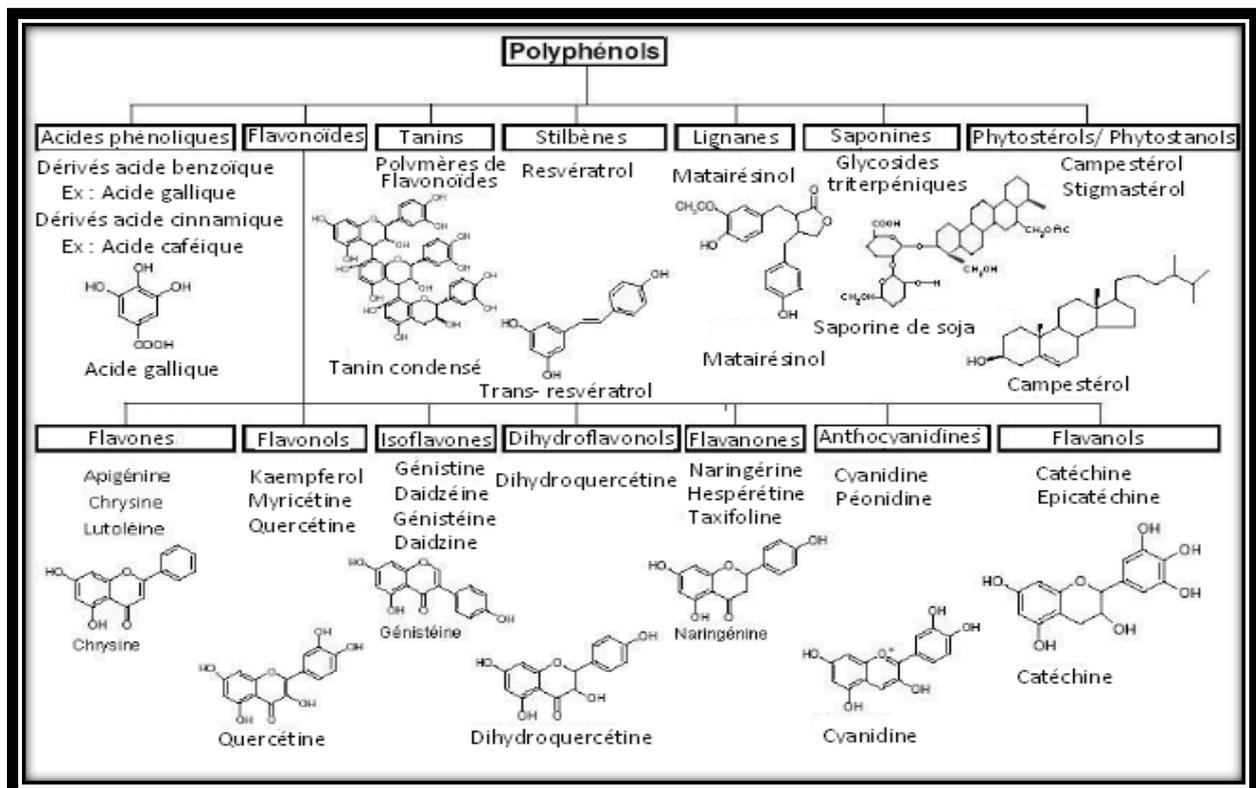


Figure 8 : Structure chimiques des composés phénoliques

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.2.2 Huiles essentielles

Il s'agit d'un extrait pur et naturel provenant de plantes aromatiques. Elle concentre l'essence de la plante, autrement dit son parfum. Il s'agit de substances odorantes, volatiles, de consistance huileuse, très concentrées, offrant une forte concentration en principes actifs. Il faut ainsi une très grande quantité de plantes fraîches pour obtenir quelques millilitres d'huiles essentielles

Les huiles essentielles obtenues à partir des fruits sont composées de d'hydrocarbures monoterpéniques 90 à 96% et sesquiterpènes 3.2%. Les fruits non mûrs sont constitués d' α -pinène 22% et de β -myrcène 54%. Alors qu'à la maturité leurs huiles essentielles sont constituées de 11% d' α -pinène et 72% de β -myrcène (**Boelens et Jimenez, 1991**).

I.3 Utilisation de pistachier lentisque

I.3.1 Utilisation à travers l'histoire

Pendant les périodes nomades de l'histoire humaine lentisque fait partie des plantes utilisées depuis l'antiquité dans le domaine du cosmétique et de la phytothérapie, et parmi ses utilisations anciennes figurent les suivantes :

- Traite efficacement les brûlures.
- Réduit considérablement l'apparence de l'acné.
- Aide efficacement à hydrater la peau et les cheveux, nettoyage des plaies, qui peuvent affecter la peau, car il aide à guérir les plaies très rapidement.
- Traite le rhume et la toux chronique.
- Il est utilisé comme remède contre les douleurs gastrique et intestinales

I.3.2 Utilisation thérapeutique

- Racines

Elles Sont utilisées comme traitements de l'indigestion, sous forme de thé (**Palevitch, 2000**).

- Résine

Elle est utilisée contre les maladies de l'estomac, ainsi que pour la préparation du thé. Selon (**Magiatis et al., 1999**) pistachier lentisque est douée d'une activité antimicrobienne, anti fongique, antibactérienne. Elle est utilisée comme traitements contre l'ulcère et maladies gastrique, et la dyspnée, et l'asthme. Selon (**Assimorpoulou et al., 2005**) cette plante présente une activité anticancéreuse, antiulcéreuse (duodénale et gastrique), et hémostatique, ainsi que immunostimulantes.

La résine est utilisée traditionnellement comme un agent anticancéreux contre les tumeurs du sein, du foie, de la rate, de l'estomac, et de l'utérus.

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Feuilles

Selon (**Palevitch, 2000**) les feuilles de pistachier lentisque sont utilisées comme traitements des maladies respiratoires.

Elles sont également très utilisées dans diverses maladies comme l'eczéma, infections buccales, jaunisses, maux de tête, lithiases rénales, ulcères, asthme (**Villar et al., 1987**).

- Huiles essentielles

L'huile de lentisque est connue pour ses vertus thérapeutiques en ce qui concerne les problèmes lymphatiques et circulatoires. Des travaux précédents montrent la présence de certaines activités antalgiques, anti oxydante, anti-inflammatoire et antimicrobienne (**Prichard, 2004**).

En Algérie, l'huile essentielle de lentisque a été utilisée dans la médecine traditionnelle pour ses effets pharmacologiques en tant qu'antispasmodique.

Elle a été également utilisée en application externe, locale, sous forme d'onguent pour soigner les brûlures et les douleurs dorsales. Ils ont montré aussi son efficacité contre les maladies respiratoires d'origine allergiques et les ulcères de l'estomac (**Arab et al., 2014**).

- Le mastic

L'utilisation de mastic comme un remède efficace contre les maladies telles que l'asthme, diarrhée, ulcères gastroduodénaux, et comme un agent antiseptique du système respiratoire.

Comme il est connu aussi par son effet analgésique, antibactérien, antifongique, antioxydant, antithérogénique, expectorant, stimulant, diurétique, spasmolytique (**Baytop, 1999**).

- Huile de fruit pistachier lentisque

L'intérêt médicinal du fruit du pistachier lentisque est conseillé pour les diabétiques, pour le traitement des douleurs de l'estomac et en cas de circoncision.

En plus, elle est utilisée comme un remède d'application locale externe sous forme d'onguent pour soigner les brûlures (**Bellakhdar, 1997**).

- L'huile de feuilles de pistachier lentisque

La partie aérienne de pistachier lentisque est largement utilisée en médecine traditionnelle dans le traitement de l'hypertension artérielle grâce à ses propriétés stimulantes et diurétiques (**Bougherra et al., 2014**).

Les infusions de feuilles de pistachier lentisque sont largement utilisées dans la médecine traditionnelle algérienne pour le traitement de plusieurs maladies liées à l'inflammation, telles que les infections de la gorge et les ulcères gastro-intestinaux (**Remila et al., 2015**).

Chapitre I : Etude Bibliographique

Les feuilles de pistachier lentisque sont également utilisées dans le traitement d'autres maladies telles que l'eczéma, infections buccales, diarrhées, lithiases rénales, jaunisse, maux de tête, ulcères, maux d'estomac, asthme et problèmes respiratoires (**Villar et al., 1987; Duru et al., 2003**).

Les tanins galliques de feuilles de pistachier lentisque sont tenus comme bons remèdes dans le traitement des maladies respiratoires et contre la toux par voie interne, les tanins exercent une activité anti diarrhéique certaine (**Romani et al., 2002**).

Selon (**Cheurfa et Allem 2015**), l'extrait de feuilles de pistachier lentisque à un effet hypocholestérolémiant. Par conséquent, son administration produit une diminution significative du cholestérol total, triglycéride et lipoprotéines de basse densité, tandis que l'extrait aqueux a montré une diminution du cholestérol et de triacylglycéride totale.

I.3.3 Utilisation dans domaine Alimentaire :

Le lentisque produit une oléorésine appelée mastic (gomme), consommée dans les traditions comme chewing-gum, additif alimentaire. Dans plusieurs pays d'orient et d'Afrique du Nord, on la mélange à de la farine et à de la pâte d'amandes pour faire une sorte de beurre considéré comme aphrodisiaque qui est dilué dans le thé

I.3.4 Utilisation de la plante du pistachier dans le domaine pharmaceutique

L'utilisation de la plante du pistachier en médecine a fait l'objet de plusieurs médicaments. Toutes les parties de cette plante ont des vertus thérapeutiques.

➤ **Comme huile essentielle :**



Figure 9 : Huile essentielle

Chapitre I : Etude Bibliographique

➤ Sérum :



Figure 10 : Mardys Immortelle Super Serum 15ml

➤ Gel :



Figure 11 : Defence Gel Nett Px Grasse 150 ml

➤ Cosmétique :



Figure 12 : Clarins Sos Lashes Serum Mascara

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.4 Les technique d'extraction

I.4.1 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**).

I.4.2 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. Naen moins, 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**).

I.4.3 Extraction assistée par ultra-sons

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**).

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

Chapitre I : Etude Bibliographique

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**).

I.4.4 Extraction assistée au Micro-onde

I.4.4.1 Historique du Micro-onde

La micro-onde a été inventée par le Dr Percy Le Baron Spencer. La technologie derrière la micro-onde a été découverte par accident lorsque Spencer a remarqué que sa barre chocolatée avait fondu alors qu'il travaillait sur un projet lié au radar. Il fit cette découverte, peu après la Seconde Guerre mondiale, en 1946. Lorsque la découverte de la possibilité d'utiliser un four à micro-ondes pour chauffer les aliments a été découverte, des unités ont été produites pour des applications commerciales. Bien qu'ils n'aient pas eu un succès instantané, de nouvelles itérations du produit ont vu des unités domestiques produites à la vente. (**Gallawa, 2007**).

I.4.4.2 Généralité

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques, possédant un champ électrique et magnétique perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, qui se propagent dans le vide avec des fréquences situées entre 300 MHz et 300 GHz. Néanmoins, dans le but d'éviter des interférences avec les radiocommunications et les radars, les micro-ondes domestiques et industrielles sont généralement utilisées à une fréquence de 2.45 GHz (**Camel, 2000**). Les micro-ondes sont positionnées sur le spectre électromagnétique entre les infrarouges et les radiofréquences, avec des valeurs de longueurs d'ondes comprises entre 1 cm et 1 m.

I.4.4.3 Principe d'extraction assistée au micro-onde

L'extraction assistée par micro - ondes (EAM) offre une rapide production d'énergie dans le volume total de solvant ainsi que dans la matrice végétale. Ceci provoque donc une montée en température efficace et homogène à la fois du solvant et du solide à extraire (**Golmakani et Rezaei, 2008**). L'absorption par l'eau, présente à l'intérieur des tissus, de l'énergie libérée par les micro-ondes provoque la destruction des cellules par une forte montée de la température localement, ce qui facilite alors la désorption des composés chimiques de la matrice vers le solvant. Ces phénomènes provoqués par les micro-ondes permettent alors d'améliorer le rendement d'extraction (**Ferhat et al., 2006**). Cependant, l'effet de l'énergie micro - onde dépend fortement des propriétés diélectriques du solvant et aussi de la matrice de la plante (**Stalikas, 2010**). Plusieurs paramètres doivent donc être pris en compte pour une optimisation de cette technique d'extraction.

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.4.4.4 Instrumentation

Le développement rapide des processus EAM a incité divers fournisseurs à proposer des systèmes à micro-ondes améliorés et des instruments connexes pour le processus d'extraction. La plupart des extracteurs à micro-ondes disponibles sont des systèmes construits en laboratoire et basés sur un four à micro-ondes domestique (**figure 4**). La plupart des systèmes à micro-ondes commerciaux sont équipés d'un contrôle de la température avec un système de surveillance et un contrôle de la pression (**Chan et al., 2011**).

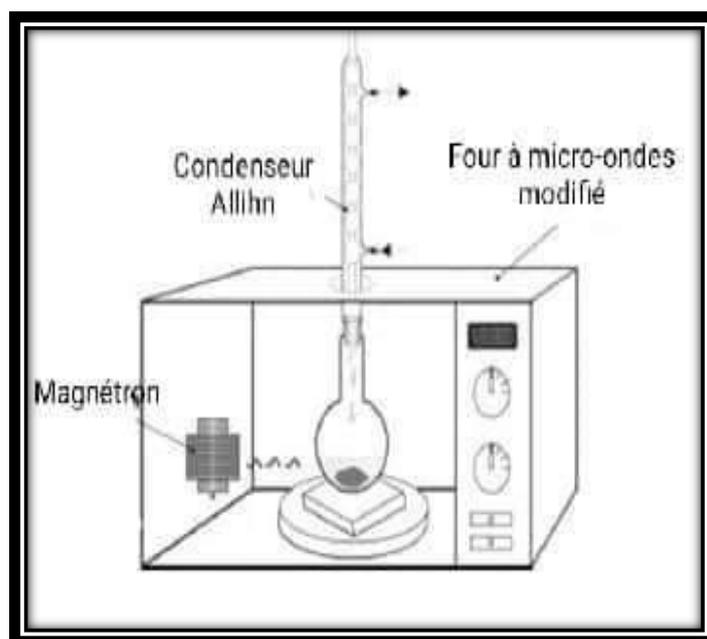


Figure 13 : Equipements d'une extraction assistée par micro-Onde

I.4.4.5 Avantages et inconvénients pour l'extraction assistée par micro-onde

L'extraction assistée par micro-onde est adaptée aux composés, et est reconnue comme une technique d'extraction polyvalente et efficace des métabolites secondaires des plantes. Par rapport à l'extraction classique, l'extraction assistée par micro-ondes montre généralement des avantages évidents avec un temps d'extraction plus court, un rendement d'extraction plus élevé, une plus grande sélectivité et une meilleure qualité des extraits cibles. En considérant les aspects économiques et pratiques, l'EAM est une nouvelle technique d'extraction solide pour l'extraction des nutraceutiques.

L'irradiation par micro-ondes peut accélérer les réactions chimiques ou les changements de certains métabolites secondaires ciblés, et d'autres conditions opérationnelles (par exemple, une pression d'extraction élevée) de l'extraction assistée par micro-ondes peuvent modifier les structures chimiques des composés cibles, ce qui peut entraîner une réduction du rendement

Chapitre I : Etude Bibliographique

d'extraction. En outre, l'efficacité des micro-ondes peut être très faible lorsque les composés cibles ou les solvants sont non polaires, ou lorsqu'ils sont volatils (**Zhang et al., 2011 ; Wang et Weller, 2006**).

I.5 Plan d'expériences

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt (y) et des variables (x_i). Elle a donc pour but de déterminer des modèles mathématiques reliant les grandeurs d'intérêt aux variables contrôlables. Les plans d'expériences apportent une aide notable aux expérimentateurs et constituent un outil indispensable à toute élaboration de stratégies expérimentales sans restriction disciplinaire. Parmi les industries pouvant utiliser cette méthodologie, on peut notamment citer :

- Industries chimique, pétrochimique et pharmaceutique ;
- Industries mécanique et automobile ;
- Industrie métallurgique.

L'intérêt majeur des plans d'expérience réside dans le fait qu'ils permettent d'optimiser le nombre d'expériences à réaliser lors de la phase d'essais, en déterminant au préalable les réels facteurs ou combinaisons de facteurs influents sur la réponse du système à étudier (**Linder 2005**). Par ailleurs, ces plans permettent de (**Bahloul, 2016**) :

- Etudier un grand nombre des variables ;
- Détecter les interactions entre ces variables ;
- Détecter les zones optimales du domaine d'étude ;
- Obtenir un modèle expérimental du phénomène ;
- Obtenir une meilleure précision.

I.5.1 Types de plans d'expériences

Il existe de nombreux types de plans d'expériences qui permettent de s'adapter à la plupart des situations. Le principe de ce choix est de sélectionner le plan le plus rentable, présentant le moins d'expériences possible pour obtenir le plus d'informations possible.

- Les plans factoriels complets ;
- Les plans factoriels fractionnaires ;
- Les plans de Plackett et Burman ;
- Les plans de Taguchi ;
- Les plans pour surfaces de réponse ;

Chapitre I : Etude Bibliographique

- Les plans de mélanges ;
- Les plans complètement randomisés ;
- Les plans des plans randomisés.

I.5.2 Plan composite centré :

Un plan composite centré (plan de Box et Wilson) est un plan utilisé dans la construction d'une surface de réponse. Ils permettent d'établir des modèles mathématiques du second degré. Ils sont utilisés pour les variables continues.

Un plan composite est constitué de trois parties :

- Un plan factoriel dont les facteurs prennent deux niveaux ;
- Au moins, un point expérimental situé au centre du domaine d'étude ;
- Des points axiaux, ces points expérimentaux sont situés sur les axes de chacun des facteurs.

La figure 13 représente un plan composite pour deux facteurs :

Les points A, B, C et D sont les points expérimentaux d'un plan factoriel 2^2 , le point E est le point central (il peut être répété une ou plusieurs fois), les points F, G, H et I sont les points axiaux, ils forment ce que l'on appelle le plan en étoile. (Goupy, 2000)

Le nombre total d'essais (N) à réaliser pour un plan composite centré est la somme de :

n_f : Essais d'un plan factoriel complet ;

$2k$: Essais en étoile sur les axes à une distance α du centre du domaine (k : nombre de facteurs) ;

n_0 : Essais au centre du domaine.

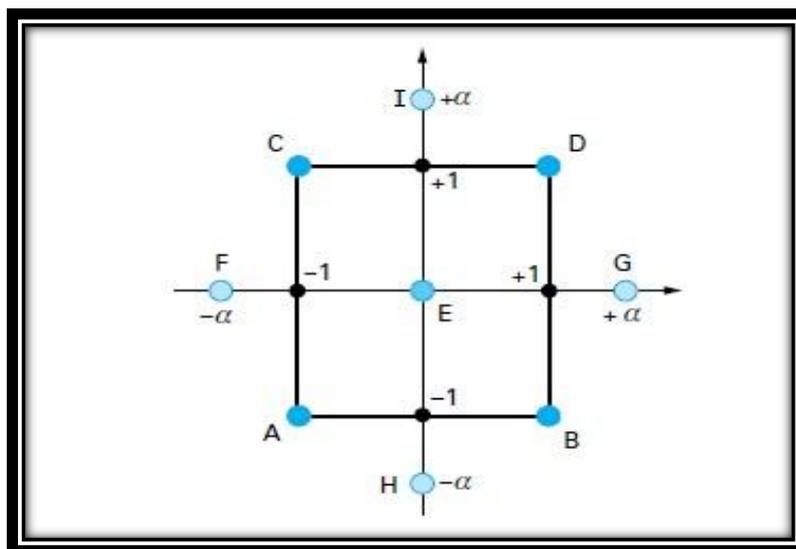


Figure 14 : Plan composite pour deux facteurs

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.5.3 Propriétés du plan composite centré

Les plans d'expérience composite centrés présentent l'avantage de pouvoir faire varier le paramètre α (distance des points axiaux au centre, appelé également critère de rotatabilité dans la littérature anglo-saxonne) pour obtenir diverses propriétés.

Référence bibliographique

-A-

Ain-lhout F., Diaz Barradas M.C., Zunzunegui, M., Rodriguez, H., Garcia Novo, F., Vargas, M.A. Seasonal differences in photochemical efficiency and chlorophyll and carotenoid contents in six Mediterranean shrub species under field conditions. *Journal Photosynthetica*, 42 (3), 399-407, 2004.

Alloune, R., Liazid, A., Tazerout, M. Etudes comparatives de deux plantes oléagineuses locales pour la production du biodiesel en Algérie. *Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa*, 19 – 22, 2012.

Arab, K., Bouchenak, O., Yahiaoui, K. Etude photochimiques évaluation de l'activité antimicrobienne et antioxydant de l'huile essentielle et des composés phénoliques du pistachier lentisque (*Pistacialentiscus L.*). *Journal Fundamentals Applied Sciences*, 6(1), 79-93, 2014.

Assimopoulou, A.N., Zlatanov, S.N., Papageorgiou, V.P. Antioxidant activity of natural resins and bioactive triterpenes in oil substrates. *Journal Food Chemistry*, 92, 721–727, 2005.

-B-

Bahloul, L. Extraction des colorants par membrane liquide émulsionnée et Application des plans d'expériences, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar de Annaba, 2016.

Bammou, M .A. Daoudi, E., Bammou, S, Zarkani I., Slimani, J., Ibijbien, N. Valorisation du lentisque (*pistacialentiscus L.*): Etude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Applied Biosciences*, 86, 7966-7975, 2015.

Baytop, T. Therapy with medicinal plants in turkey-Past and Present, Second ed. Nobel Publishers, Istanbul. *Journal Pure Appl. Chem*, 74 (4): 527–545, 1999.

Belhadj, S. Les pistacheraies algériennes, Seminar : Etat actuel et dégradation, Centre Universitaire de Djelfa, Algérie, 108, 2000.

Bellakhdar J. Le Maghreb à travers ses plantes : plantes, productions végétales et traditions au Maghreb. Editions Le fenec, 1, 198, 2003.

Bellakhdar J. Pharmacopée traditionnelle marocaine. Ibis Press, Paris, *Revue d'Histoire de la pharmacie*, 764, 1997.

Benamor B. 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, 2008.

Référence bibliographique

Boelens, M. H., Jimenez, R. Chemical composition of the essential oils from the gum and from various parts of *Pistacia lentiscus* L. (mastic gum tree). *Flavour and Fragrance Journal*, 6(4), 271–275, 1991.

Boizot, N., et Charpentier, J-P. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier Techniques de l'INRA*, 79-82, 2006.

Bougherra, H., Bedinib, S., Guido, F., Francesca, C., Belhamela, K., Barbara, C. *Pistacia lentiscus* essential oil has repellent effect against three major insect pests of pasta. *Journal Industrial Crops and Products*, 63, 1-7, 2014.

Bourgou, S., Serairi Beji, R., Medni, F., and Ksouri, R. 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, 2016.

Bruneton, J. *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*, Tec et Doc, Ed : Lavoisier, Paris, 915, 1993.

-C-

Camel, V. Microwave - assisted solvent extraction of environmental samples. *Journal Trends in Analytical Chemistry*, 19 (4), 229-248, 2000.

Charef, M., Yousfi, M., Saidi, M., Stocker, P. Determination of the Fatty Acid Composition of Acorn (*Quercus*), *Pistacia lentiscus* Seeds Growing in Algeria. *Journal Springer Link*, 85, 921-924, 2008.

Charrouf, Z., Guillaume, D. Phénols et polyphénols d'*Argania spinosa*. *Journal Américain de Technologie Alimentaire*, 2, 679-683, 2007.

Chan, C.H., Yusoff, R., Ngoh, G.C., Kung, F.W. Microwave - assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography. A*, 1218, 6213–6225, 2011.

Chourfa, M., Allem, R. Study of hypocholesterolemic activity of Algerian *Pistacia lentiscus* leaves extracts in vivo. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 110, 2015.

-D-

Dhifi, w., Jelali, N., Chaabani, E., Beji, M., Fatnassi, S., Omri, S., Mnif, W. Chemical composition of lentisk (*pistacia lentiscus* L) seed oil. *African journal of Agricultural Research*, 34, 1397-1400, 2013.

Duru-Bellat, M., Danner, M., Bastard-Landrier, S., Piquée, C. Les effets de la composition scolaire et sociale du public d'élèves sur leur réussite et leurs attitudes : évaluation externe et explorations qualitatives 2003.

Référence bibliographique

-F-

Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Smadja, J., Chemat, F. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. *Journal of Chromatography A*, 1112, 121-126, 2006.

-G-

Gallawa, J. C. *The Complete Microwave Oven Service Handbook* Microtech, Florida, 2007.

Ghalem, B.R., Benhassaini, H. Etude des phytostéroïdes et des acides gras de pistachio atlantica. *Journal Afrique Science*, 3(3), 405-412, 2007.

Ghitescu, R. E., Volf, I., Carausu, C., Bühlmann, A. M., Gilca, I. A., et Popa, V. I. Optimisation of ultrasound assisted extraction of polyphenols from spruce wood bark. *Journal Ultrasonics Sono chemistry*, 22, 535–541, 2015.

Golmakani, M.T., & Rezaei, K. Comparison of microwave-assisted hydro distillation with the traditional hydro distillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L. *Journal Food Chemistry*, 109(4), 925-930, 2008.

Goupy, J. Modélisation par les plans d'expériences. *Techniques de l'ingénieur. Mesures et contrôle R275 (2000) : R275-1.*

-H-

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

Hamad, H., Ibrahim, H., Gonaïd, H., Habib, M., Mojahidul, I. Comparative phytochemical and antimicrobial investigation of some plants growing in Al Jabal Al-Akhdar. *Journal Nat. Prod Plant Resour*, 1(1), 15-23, 2011.

Hennebelle, T., Sahbaz, S., et Bailleul, F. Polyphénols végétaux, sources utilisation et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Journal Phytothérapie*, 1, 3-6, 2004.

Hilali, M. Contribution à la valorisation de l'arganier (*Argania spinosa* L sapotaceae), Etude de la composition chimique de l'huile d'aergane en fonction de son mode d'extraction et de son origine de production, Etude des composés phénoliques de la pulpe du fruit de d'arganier. Thèse de Doctorat National, Faculté sciences université Mohammed V-Agdal, 2008.

Référence bibliographique

-I-

Iserin, P., Masson, M., Restellini, J. P., Ybert, E., Laage, M. A., Moulard, F., Zha, E., Roque, R., Roque, O., Vican, P., Deesalle, F.T., Biaujeaud, M., Ringuet, J., Bloth, J., Botrel, A. Larousse encyclopédie des plantes médicinales identification, préparations, soins. 21 rue de Montparnasse 75283 Paris, 2^{ème} Edition, 250, 2001.

-L-

Linder, R. Les plans d'expériences: un outil indispensable à l'expérimentateur, Presses des Ponts, 2005.

Luque De Castro, M. D., & Priego-Capote, F. Soxhlet extraction : Past and present panacea. Journal of Chromatography A, 1217(16), 2383-2389, 2010.

-K-

Karleskind, A. Manuel des Corps Gras, Tech. & Doc. Lavoisier, tome (I-II), 768, 1992.

Kraft, K., Hobbs, C., & Treasure, J. Pocket Guide to Herbal Medicine (1st edition). George Thieme Verlag, 2004.

-N-

Nguyen, van.C. 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, 2010.

-M-

Maameri, H.Z. Pistacialentiscus L : Evaluation pharmacotoxicologique. Thèse de Doctorat en Sciences .Université Constantine 1, Algérie, 2014.

Macheix, J-J., Fleuriet, A., et Jay-Allmend, C. Les composés phénoliques des végétaux. Collection biologie. Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne, 2005.

Magiatis, P., Melliou, E., Skaltsounis, AL., Chinou, IB., Mitaku, S. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of Pistacia lentiscus var. Journal Plants Med, 65, 749-751 , 1999.

Mezni, F., Khaldi, A., Maaroufi, A., Hamrouni, L., Mesallem, M., Boussaid, M., Khouja, M.L. Composition en acide gras et propriétés biologiques de l'huile fixe des fruits de Pistacia lentiscus L. Journal International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants, 27, 997, 2012.

Mompon, B., Lemaire, B., Mengal, P et Surbled, M . Extraction des polyphénols : du laboratoire à la production industrielle. Ed . INRA. Paris. N°87, 31-43, 1998.

Référence bibliographique

-P-

Palevitch, D., Yaniv, Z. Medicinal plants of the Holy Land. Modan Publishing House, 9-88, 2000.

Penchev, P.I. Etude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plants par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pression. Thèse Doctorat de l'université de Toulouse, 2010.

Prichard, AJN. The use of essential oils to treat snoring. Journal Phytotherapy Research, 18, 696-699, 2004.

-R-

Rameau J, C., Mansion, D., Dumé, G., Gauberville, C., Bardat, J., Bruno, E., Keller, R. Flore forestière française, région Méditerranéenne. Journal Guide Ecologique Illustré, 3, 2426, 2008.

Remila, S., Atmani-Kilani, D., Delemasure, S., Connat, J-L., Azib, L., Richard, T. Antioxidant, cytoprotective, anti-inflammatory and anticancer activities of pistacia lentiscus (Anacardiaceae) leaf and fruit extracts. European Journal of Integrative Medicine, 1-13, 2015.

Romani, P., Pinelli, C., Galardi, N., Mulinacci, M., Tattini. Identification and quantification of galloyl derivatives, flavonoid glycosides and anthocyanin's in leaves of Pistacia Lentiscus L. Phytochemical Analysis, 13, (2), 79-86, 2002.

-S-

Saadoun, S. Stomata types of pistacia genus: pistacia atlantica desf, ssp. Atlantica and pistacia lentiscus L. Journal Options Méditerranéennes, 63, 369-371, 2003.

Sarni-Manchado P. et Cheynier V. LES Polyphénols en agroalimentaire. Edition Lavoisier, 408, 2006.

Stalikas, C. D. Free radicals and antioxidant protocols, 65-90, 2010.

-V-

Villar, A., Sanz, MJ., Paya, M. Hypotensive Effect of Pistacia lentiscus L. International Journal of Crude Drug Research, 25, 1-3, 1987.

-W-

Wang, L., and Weller, C.L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Journal Trends in Food Science and Technology, 17, 300-312, 2006.

Référence bibliographique

-Z-

Zhang, H.-F., Yang, X.-H., Wang, Y. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. *Journal Trends in Food Science & Technology* 22, 672-688, 2011.

Chapitre II :

Matériels et Méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériaux et des méthodes utilisés dans le cadre de notre travail, ainsi que la description des procédures et techniques expérimentales. Dans un premier temps, la principale technique d'extraction des composés phénoliques, suivies par une optimisation.

II.1 Présentation des produits utilisés

II.1.1 Matière végétal

Le pistachier lentisque

La matière végétale utilisée est le pistachier lentisque (**figure 1**) qui est très répandu dans le bassin méditerranéen. C'est un arbrisseau dioïque thermophile de 1 à 3 mètre de hauteur, a une odeur résineuse forte et à l'écorce lisse et grise, les feuilles persistantes, composées pourvues d'un pétiole ailé, les fleurs en grappes spiciformes denses, naissant 1 ou 2 à l'aisselle d'une feuille et égalant au plus la longueur d'une foliole.

Les fruits et les feuilles de lentisque pistachier ont été récoltés au mois de mars 2022 dans le village el arche, commune de tamridjet, une localité située à une trentaine de kilomètres de la wilaya de Bejaia.



Figure 1: Feuilles et Fruits de pistachier lentisque

II.1.2 Produits chimiques

II.1.2.1 Acétone

- Formule générale : C_3H_6O
- Masse moléculaire : 58,08 g/mol.
- Température d'ébullition : 56 °C
- Densité : 0,7898 g/cm³

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1.2.2 Carbonate de sodium

- Formule générale : Na_2CO_3
- Masse moléculaire : 105,9888 g/mol.
- Température d'ébullition : 1600 °C
- Densité : 2,54 g/cm³

II.1.2.3 Folin-Ciocalteu

Le réactif Folin Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMO}_{12}\text{O}_{40}$).

II.1.2.4 Acide gallique

- Formule générale : $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$
- Masse moléculaire : 170,12 g/mol
- Densité : 1,7 g/cm³

II.3 Méthode

II.3.1 Préparation des échantillons

- ✓ Récolte du matériel végétal ;
- ✓ Lavage et séchage des fruits et les feuilles du lentisque à l'aire libre suivie du broyage.
- ✓ La poudre et la pâte obtenus (**figure 3 et 4**) sont conservées dans des sachets en papier d'aluminium à l'abri de la lumière pour éviter la photo-oxydation des substances actives contenues dans cette dernière et seront utilisées par la suite pour la préparation des extraits bruts.



Figure 3 : Pâte des fruits de PL



Figure 4 : Poudre des feuilles de PL

II.3.2 Extraction assistée au micro-onde

Les composés phénoliques ont été extraits à partir des feuilles et des fruits de cette plante en utilisant la méthode d'extraction assistée au micro-onde (**figure 2**).

Des études préliminaires ont été effectuées pour déterminer les conditions optimales de MEA en utilisant le solvant eau-acétone, la puissance de micro-onde et le temps sont des variables naturelles pour réalisation des différents essais.

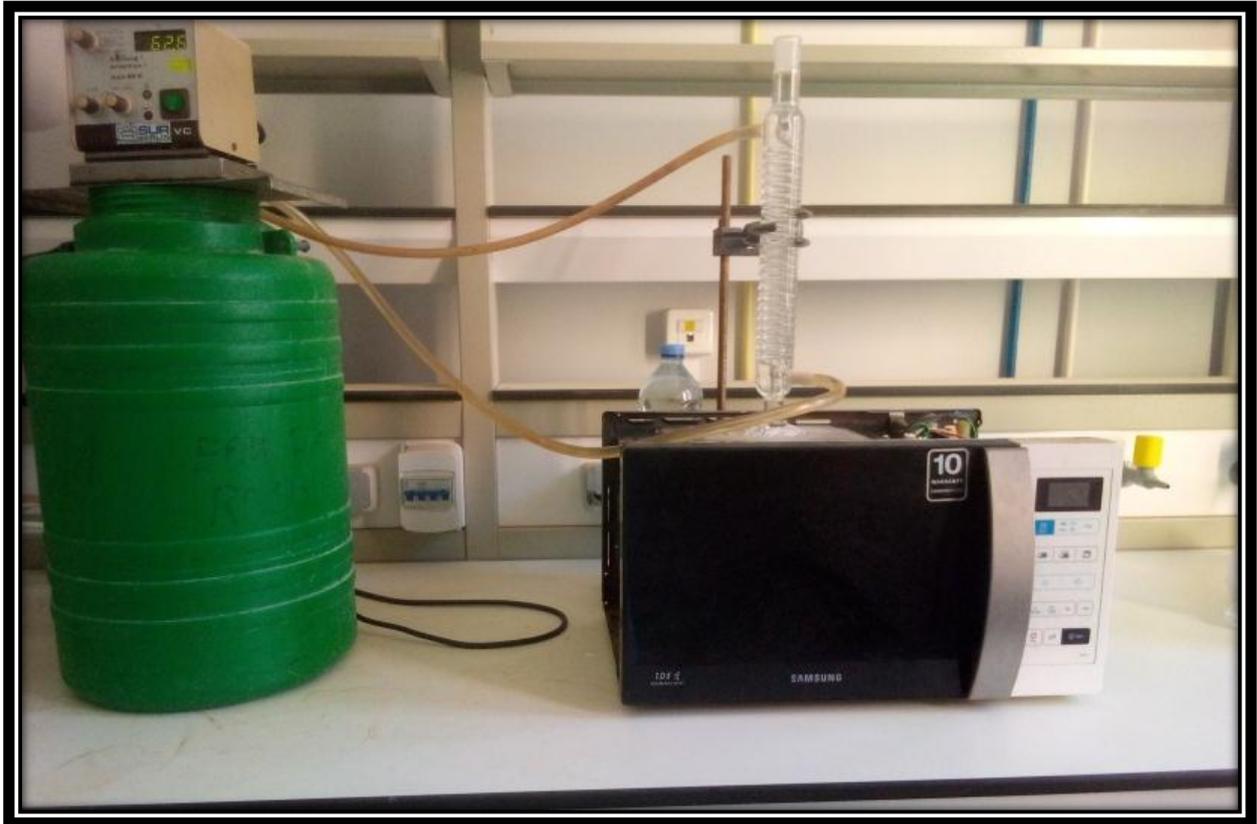


Figure 2 : Montage d'extraction assistée au micro-onde

II.3.3 Protocole d'extraction par micro-onde

- Peser (0,5, 1 et 1,5g) de la matière végétale ;
- Mettre la matière végétale dans un ballon ;
- Ajouter 20 ml du solvant (eau/acétone) concentrée à (20, 50 et 80%) ;
- Agitation du mélange dans le ballon ;
- Placer le ballon dans l'installation d'extraction (**figure 5**) ;
- Faire deux essais pour chaque expérience en variant le temps, la concentration et la puissance ;
- Filtrer l'extrait en utilisant un papier filtre (**figure 6**) puis récupérer le filtrat ;
- Introduire 1ml du filtrat dans un tube d'essai ;
- Diluer le filtrat (avec un facteur de dilution de 20) ;

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Dosage des polyphénols totaux ;

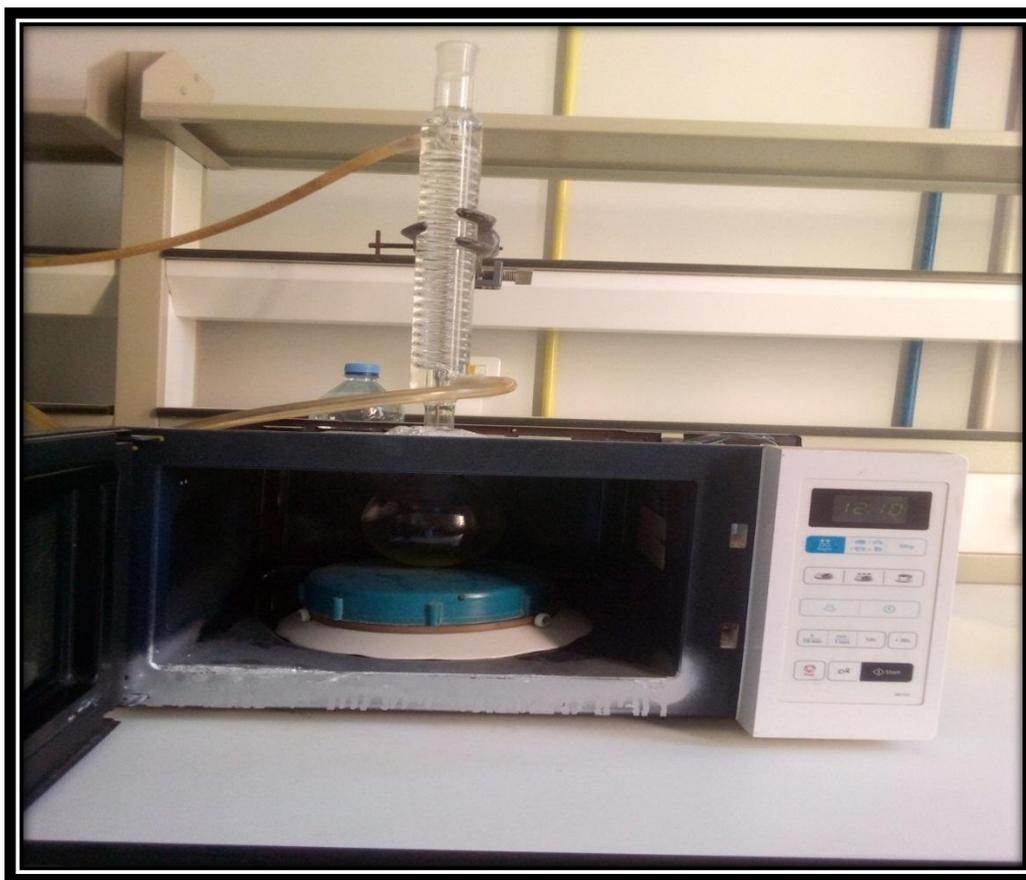


Figure 5 : Installation d'équipement d'une extraction assisté au micro-onde



Figure 6 : Filtration de l'extrait

II.3.3.1 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été déterminé par spectrophotométrie selon la méthode colorimétrique en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait.

Le protocole suivi est celui proposé par **Ali-Rachidi et al., 2018** :

- Introduire un volume de 0,4 ml de chaque extrait dans des tubes à essais en verre ;
- Ajouter 2 ml du réactif Folin-Ciocalteu après cinq minutes additionner 1,6 ml d'une solution de carbonate de sodium ;
- Agitation et conservation pendant 30 min dans des tubes à essais ;
- Caractérisation des résultats en utilisant une spectrophotométrie (l'absorbance est lue à 765 nm) ;

II.4 Optimisation des conditions d'extraction

II.4.1 Les conditions d'extraction

Pour l'optimisation des conditions d'extraction des études préliminaires ont été effectuées.

II.4.1.1 Puissance des micro-ondes

L'intensité de la puissance des micro-ondes appliquée est étroitement liée à une quantité d'énergie assurée à l'échantillon qui est convertie en énergie calorifique dans le matériel diélectrique en augmentant sa température (**Ma et al., 2009**). Généralement, il a été observé qu'il y a une augmentation du rendement d'extraction via l'augmentation de puissance de micro-ondes (**Nemes et al., 2009**).

La méthodologie utilisée est basée sur celle décrite par (**Spigno et al., 2009**) dans un domaine (450–600–900 W).

II.4.1.2 Temps d'extraction

Dans plusieurs études rapportées, le rendement d'extraction change avec la variation du temps d'extraction (**Wang et al., 2006**). La durée de l'extraction est en fonction de la puissance du micro-onde qui doit toujours être optimisée. Le temps d'extraction optimum varie avec la nature du solvant.

Une application des temps prolongés, cherchant à maximiser le taux de rendement, peut occasionner la dégradation des produits (**Camel, 2000**).

Pour choisir les bonnes conditions, nous avons effectué des essais préliminaires à différents temps (10, 30, 60, 90, 120, 150, 180 et 210 S), ces conditions sont référées par celle effectuées par (**Dahmoune et al., 2014**).

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.4.1.3 Concentration

Nous avons procédé à la détermination du rapport (solide/liquide), dans notre étude le liquide c'est le solvant (eau/acétone) et le solide la matière végétale.

L'étude est basé par la fixation du liquide et variation du solide (0,5, 1 et 1,5 g) selon la méthode réaliser par (Dahmoune et al., 2014). Les autres paramètres déterminés précédemment ont été fixés.

II.4.2 Application du plan d'expérience

L'optimisation de la méthode d'extraction est réalisée en employant le plan composé centré, pour évaluer l'effet combiné de trois variables indépendantes : pourcentage du solvant(%), le temps d'extraction, le rapport (solide / liquide) qui sont désignés par X_1 , X_2 , X_3 respectivement.

Les études préliminaires effectuées, ont permis de déterminer les niveaux bas et haut pour les variables influençant l'expérimentation. Ces derniers sont illustrés dans le tableau 1

Tableau 1 : Variables indépendantes et les niveaux des facteurs influençant sur l'extraction assistée par micro-ondes

Les variables indépendantes	Niveaux des facteurs		
	-1	0	+1
X_1: Volume (%)	20	50	80
X_2: Temps (S)	30	90	150
X_3: Rapport Solide/liquide (mg/ml)	0,5	1	1,5

II.4.2.1 Réponse étudiée

La réponse étudiée est : la teneur des composés phénoliques totaux.

II.4.2.2 Matrice d'expériences

La matrice d'expérimentation est basée sur un plan composite centré pour 3 facteurs X_1 , X_2 et X_3 constitué de 16 essais, répartis en 8 points factoriels, 2 points au centre, 6 points en étoile (voir chapitre 3).

II.4.2.3 Modèle mathématique

Le modèle mathématique construit à l'aide des plans composite centré est un polynôme du second degré avec interactions. On ne conserve, en général, que les interactions d'ordre deux. Ainsi pour trois facteurs ($k=3$), l'équation de régression s'écrit:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

Avec :

Y : la réponse.

X_1 ; X_2 ; X_3 : Variables centrées réduites ;

b_0 : représente la valeur moyenne théorique de la réponse ;

b_1 ; b_2 ; b_3 : les coefficients des termes linéaires ;

b_{12} ; b_{13} ; b_{23} : sont les coefficients des termes d'interactions ;

b_{11} ; b_{22} ; b_{33} : les coefficients des termes quadratiques ;

II.5 Techniques de caractérisations

II.5.1 Spectroscopie UV-visible

Le spectre UV-visible est un spectre de bande qui détermine l'absorbance A en fonction de la longueur d'onde λ . Cette bande présente généralement un maximum d'absorption correspondant à la longueur d'onde maximale λ_{\max} (longueur d'onde de la radiation qui provoque la transition électronique spécifique à chaque groupement ou liaison chimique) et d'intensité proportionnelle au coefficient d'extinction molaire ϵ_{\max} propre à la molécule et qui dépend des conditions physico-chimiques du milieu. L'absorption est due à certains groupements de la molécule appelés chromophores, qui sont des groupements fonctionnels de la molécule.

Le spectrophotomètre UV-visible utilisé dans cette étude est de marque spectre-Scan 50 (chypre) (**figure 7**).

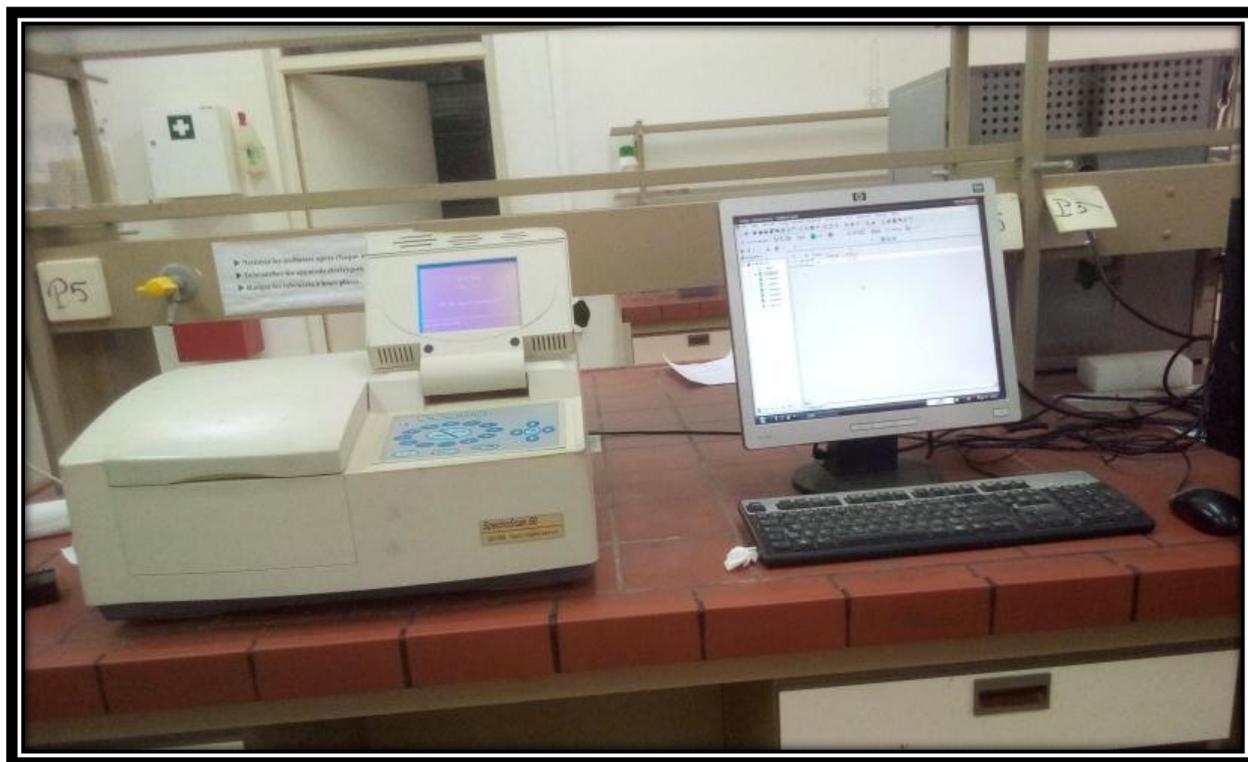


Figure 7 : Spectrophotométrie UV-visible

II.5.2 Activité antioxydant par DPPH :

II.5.2.1 Principe

Le test DPPH permet de mesurer le pouvoir anti radicalaire de molécules pures ou d'extraits végétaux. Il mesure la capacité d'un antioxydant (AH, composés phénoliques généralement) à réduire le radical chimique DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) par transfert d'un hydrogène. Le DPPH, initialement violet, se transforme en DPPH-H (**Figure 8**), jaune pâle. Le DPPH est un radical libre qui absorbe à 515 nm (**Bentabet, et al., 2014**).

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical DPPH.

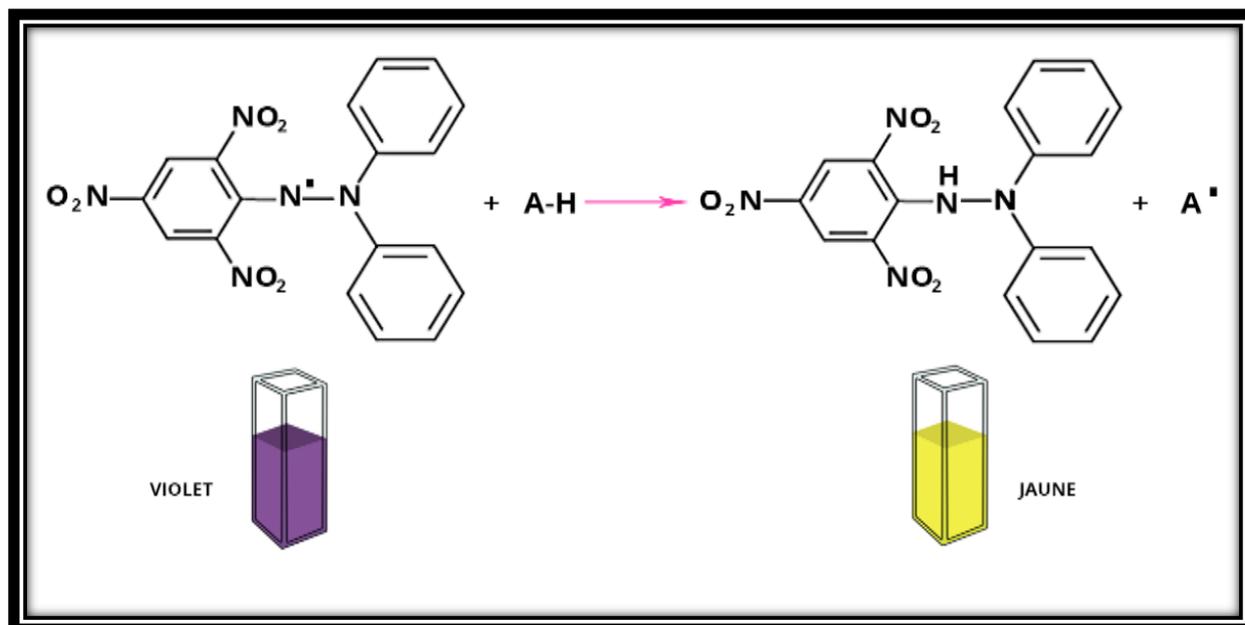


Figure 8 : Schéma réactionnel de réduction du DPPH avec une substance anti oxydante

II.5.2.2 Mode opératoire

- Solubilisation de 2,4 mg DPPH dans 100 ml de méthanol qui correspond à une concentration de $(6 \times 10^{-5} \text{ M})$ (Lopes-Lutz et al., 2008).
- Introduire 0,5 ml de l'extrait dans tubes à essais ;
- Diluer chaque extrait à différentes concentrations;
- Additionner 2 ml de la solution du DPPH pour chaque essais ;

Pour la solution de référence, ce dernier est préparé en parallèle en mélangeant 0,5 ml du méthanol avec 2 ml d'une solution DPPH (témoin). Après incubation à l'obscurité pendant 30 minutes et à température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Le pourcentage de l'activité anti-oxydante est exprimé par l'équation de l'inhibition de radical DPPH suivante :

$$\text{Inhibition}(\%) = \frac{(\text{Abs témoin} - \text{Abs échantillon})}{(\text{Abs témoin})} \times 100$$

- Abs échantillon : absorbance de l'échantillon
- Abs témoin : absorbance de témoin

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.5.2.3 Calcul des concentrations « IC50 »

L'IC50 (concentration inhibitrice à 50 %) permet de calculer la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50 % des radicaux DPPH.

Elle est calculée comme suite :

On fait une régression linéaire entre la concentration (x) et le pourcentage d'inhibition, de sorte que l'équation de régression $Y = A \cdot X + B$ soit obtenue. Ensuite, Y est remplacé par la valeur IC50.

$$IC50 = AX + B, \text{ et } X = (Y-B)/A$$

II.5.3 Test d'activité antimicrobienne

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'extrait de feuilles et fruits de pistachier lentisque est réalisée par la méthode de diffusion sur milieu solide. Cette méthode consiste à déposer à la surface d'un milieu gélosé ensemencé par les microorganismes à tester, des disques chargés de l'extrait, puis les boîtes sont portées à l'incubation (**Belaiche et al., 1979**). Les souches microbiennes utilisées dans ce test sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 2 : Les souches microbiennes testées

Microorganismes	Souches testées
Bactéries	Staphylococcus aureus Bacillus subtilise. Escherichia coli
Champignons	Penicillium lilacinum Aspergillus niger

II.5.3.1 Activité antibactérienne

a) Préparation des suspensions bactériennes

À partir d'une culture bactérienne jeune de 24 heures, 3 à 5 colonies bien isolées ont été prélevées dans 10 ml de bouillon nutritif pour préparer une suspension bactérienne de 10^8 UFC/ ml suivis d'une agitation à l'aide d'un vortex (**Karabay et al., 2007**).

Chapitre II : Matériels et méthodes

b) Préparation des extraits :

- Peser 0,08g de la poudre des feuilles et fruits de pistachier lentisque ;
- Mettre la poudre dans un bécher ;
- Ajouter 4 ml de solvant (DMSO) ;
- Agitation ;
- Récupérer les deux mélanges dans des tubes à essai ;

c) Ensemencement

L'ensemencement est effectué par écouvillonnage. Le milieu Mueller-Hinton auquel est additionnée 5 % de tween 80 est coulé dans des boîtes de pétri. Les boîtes sont refroidies et séchées à température ambiante puis sont ensemencées par des suspensions bactériennes à l'aide d'écouvillons stériles. L'écouvillon est imbibé de la suspension bactérienne puis essoré contre la paroi interne du tube à essai.

L'ensemencement se fait par des stries serrées, de haut en bas et l'opération est répétée trois fois, en tournant la boîte de 60° à chaque fois pour obtenir une distribution égale de l'inoculum. L'écouvillon est par la suite passé sur toute la périphérie de la gélose. Les disques préparés de papier wattman N° 3 de 6 mm de diamètre stérilisés à 180 °C pendant 30 minutes sont plongés dans les deux extraits et déposés sur le milieu ensemencé à l'aide d'une pince stérile (3 disques dans chaque boîte) et les disques témoins ont reçu 100 µl de DMSO. Les boîtes sont ensuite incubées à 37 °C pendant 24 heures. La lecture des résultats se fait par la mesure des diamètres des zones d'inhibitions autour des disques (**khodayri et al., 2018**).

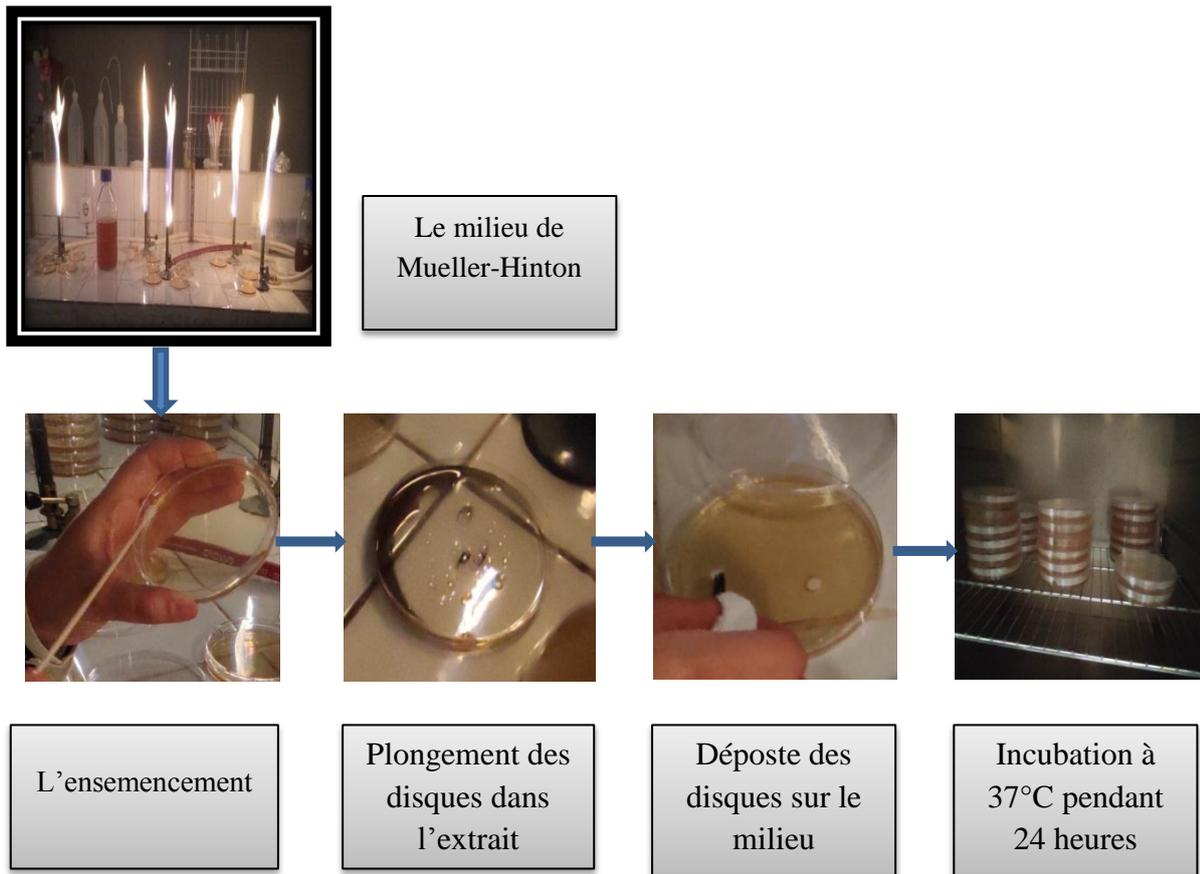


Figure 9 : Différentes étapes d'ensemencement

II.5.3.2. Activité antifongique

a) Préparation des cultures fongiques

Les cultures fongiques sont préparées par ensemencement d'une suspension sporulée sur milieu Mueller-Hinton.

b) Ensemencement

Le protocole d'ensemencement est similaire à celui cité au paravent, le milieu de culture utilisé est le milieu Mueller-Hinton. Dans ce tests, l'inoculum est prélevé par un écouvillon à partir d'une boîte contenant l'espèce fongique à tester, puis le frotter à trois reprises sur toute la surface gélosée de façon à former des stries serrées, en tournant la boîte à environ 60 ° après chaque application pour obtenir une distribution égale de l'inoculum. Une fois les boîtes sont ensemencées et les disques sont déposés, les boîtes sont incubées à 25 °C pendant 24 h. Après incubation, les diamètres des zones d'inhibition sont mesurés.

II.5.4 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée Fourier

La spectroscopie IRTF est une méthode utilisée pour la détermination de la structure des composés organiques. En effet, les vibrations moléculaires dépendent des distances interatomiques, des angles de liaison et des forces de liaison plutôt que des propriétés en vrac du composé. Ainsi, la spectroscopie infrarouge est utilisée en chimie organique pour la détection des groupes fonctionnels, la confirmation de l'identité des composés et le suivi des réactions.

Nous avons utilisé un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier de marque Shimadzu (Kyoto, Japon) (**figure 10**).

- **Mode opératoire**

Le protocole utilisé est basé par celui décrit par (**Pitt, JI. 1988**).

- Peser 2 mg de l'échantillon ;
- Ajouter 80 mg de bromure de potassium (KBr) ;
- Broyer manuellement le mélange jusqu'à l'obtention d'une poudre fine ;
- Utiliser une presse manuelle pour comprimer la poudre à une pression de 70 bars pendant 2 minutes ;
- Insérer la pastille obtenu dans la chambre optique du spectromètre pour l'analyse ;
- Utiliser une pastille de référence contenant uniquement du KBr pour calibrer l'appareil.



Figure 10 : Spectroscopie infrarouge a transformé du Fourier

Référence bibliographique

-A-

Ali-Rachedi, F., Meraghni, S., Touaibia, N., & Mesbah, S. Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. *Journal Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 87, 13-21, 2018.

-B-

Belaiche, P. Les techniques de laboratoire et l'aromatogramme. In : traité de la phytothérapie et l'aromathérapie, 121-132, 1979.

Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., Boucherit, K. Composition chimique et activité antioxydant d'extraits organiques des racines de *Fredolia aretioides* de la région de Béchar en Algérie. *Journal Pharmacognosie*, 12, 364-371, 2014.

-C-

Camel, V. Microwave -assisted solvent extraction of environ mental samples. *Journal Trends in Analytical Chemistry*, 19 (4) .229-248, 2000.

-D-

Dahmoune, F., Spignob, G., Moussia, K., Reminia, H., Cherbalc, A., Madani, K. *Pistacia lentiscus* leaves as a source of phenolic compounds: Microwave-assisted extraction optimized and compared with ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. *Journal Industrial Crops and Products*, 61, 31–40, 2014.

-K-

Karabay-Yavasoglu NU., Sukatar, A., Ozdemir, G., Horzum, Z. Antimicrobial Activity of Volatile Components and Various Extracts of the Red Alga *Jain Arubans*. *Journal Phytology Research*, 21, 153-156, 2007.

Khodayri, M., Basti, A., Khanjari, A., Misaghi, A., Kamkar, A., Shotorbani, PM., Hamedi, H. Effect of poly (lactic acid) films incorporated with different concentrations of *tanacetum balsamita* essential oil, propolis ethanolic extract and cellulose nano crystals on Shelf life extension of vacuum-packed cooked sausages . *Journal Food Packaging and Shelf Life*, 19, 200-209, 2018.

-L-

Lopes-Lutz, D., Alviano, DS., Alviano, CS., Kolodziejczyk, PP. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. *Journal Phytochemistry*, 69(8), 1732 – 1738, 2008.

Référence bibliographique

-M-

Ma, Y., Chen, J., Liu, D., Ye, X. Simultaneous extraction of phenolic compounds citrus peel extracts: Effect of ultrasound. *Journal Ultrasonics Sonochemistry*, 16(1), 57-62, 2009.

-N-

Nemes, S .M., et Orsat, V. Screening the Experimental Domain for the Microwave- Assisted Extraction of Secoisolariciresinol Diglucoside from Flaxseed Prior to Optimization Procedures. *Journal Food and Bioprocess Technology*, 3(2), 300-307, 2009.

-P-

Pitt, JI. An appraisal of identification methods for *Penicillium* species. Novel taxonomic criteria based on temperature and water relations. *Mycology*, 65, 1135-1157, 1988.

-S-

Spigno, G., De Faveri, D.M. Microwave-Assisted Extraction of Tea Phenols: A Phenomenological Study. *Journal of Food Engineering*, 93, 210-217, 2009.

-W-

Wang L, Weller C.L. Recent advances in Extraction of nutraceuticals from plants. *Journal Trends in Food Science &Technology*, 17, 300–312, 2006.

Chapitre III :

Résulta et Discussions

III.1 Application du plan d'expérience

Dans notre étude le dosage a été réalisé par la méthode folin-ciocalteu en utilisant l'acide gallique comme standard (0,1 g/l), la teneur en composés phénoliques des extraits a été déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire ($y = 10,167x - 0,0509$) de la courbe d'étalonnage exprimée successivement en mg EAG/g MS.

Le graphe (**figure 1**) représente les absorbances mesurées à 765 nm en fonction des concentrations de l'acide gallique.

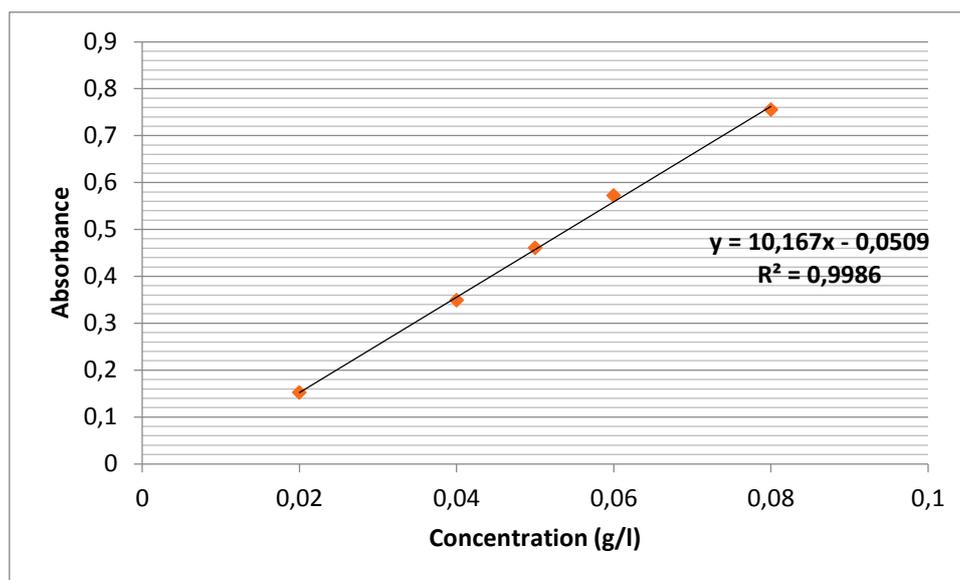


Figure 1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

En se basant sur les observations des études préliminaires, les gammes de chaque variable indépendante (concentration du solvant X_1 , temps d'extraction X_2 , et le rapport solide/liquide X_3) influencent sur la réponse étudiée ont été introduits dans logiciel JMP en utilisant le Plan Composite Centré.

Les résultats de détermination de la teneur en composés phénoliques totaux dans les extraits de feuilles et de fruits de pistachier lentisque obtenus par extraction assistée par micro-ondes à différentes conditions sont présentés dans le **Tableau 1**, on peut observer que la teneur en composés phénoliques totaux dans les feuilles variait de 112,93 à 168,1794 mg EAG/g, tandis qu'elle était significativement plus faible dans les fruits, de 29,1159 à 59,04576 mg EAG/g. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures de (**Zitouni et al., 2016**) qui ont rapporté que les teneurs des composés phénoliques variant de 121,4 à 216,2 mg EAG/g dans les feuilles et de 30,18 à 103,342 mg EAG/g dans les fruits, respectivement.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 1 : Valeurs expérimentales des composés phénoliques totaux du plan composite centré

Nombre d'essai	X ₁	X ₂	X ₃	TPC (mg EAG /g MS)	
				FEUILLES	FRUITS
1	20	30	0,5	114,8	41,9985
2	20	30	1,5	134,8425	29,1159
3	20	150	0,5	112,93	45,0738
4	20	150	1,5	128,528	41,6007
5	80	30	0,5	165,9392	45,0738
6	80	30	1,5	114,8025	33,8589
7	80	150	0,5	131	46,0836
8	80	150	1,5	160,9185	44,8902
9	50	90	1	168,1794	58,0730012
10	50	90	1	129,7051	59,04576
11	20	90	1	153,2475	49,3107
12	80	90	1	93,27	55,4931
13	50	30	1	166,3896	54,5567
14	50	150	1	157,3861	55,304
15	50	90	0,5	151,84	56,1178
16	50	90	1,5	140,34	54,0671

Une influence significative du temps d'extraction sur la teneur en composés phénoliques totaux dans les feuilles, tandis Les résultats de l'analyse de variance **Tableau 2** ont montré que la teneur phénolique des fruits était significativement influencée à la fois par la masse et la concentration en solvant. La teneur phénolique de l'extrait de feuilles de pistachier lentisque augmentait avec la prolongation du temps d'extraction, atteignant son maximum après 90 s.

Chapitre III : Résultats et discussion

Cependant, une prolongation supplémentaire entraînait une réduction de la teneur en composés phénoliques totaux. Une tendance similaire concernant l'effet du temps d'extraction a été observée pour la teneur phénolique des fruits de pistachier lentisque. Ces observations sont en accord avec des études antérieures portant sur différents matériaux végétaux (**Dahmoune et al., 2014**) ont rapporté que 60 s étaient le temps optimal pour l'extraction assistée par micro-ondes des polyphénols des feuilles de pistachier lentisque, et ont également observé une diminution de la teneur phénolique avec une prolongation supplémentaire du temps d'extraction.

Ces observations montrent en général, la teneur en composés phénoliques dans les feuilles et fruits augmente avec la prolongation du temps d'extraction jusqu'à un certain point où une prolongation supplémentaire entraîne une réduction du rendement phénolique en raison de dégradation. Comparativement aux techniques d'extraction conventionnelles, l'équilibre d'extraction peut être atteint beaucoup plus rapidement grâce à la solubilité accélérée des composés phénoliques à haute température et à l'exposition aux irradiations micro-ondes, limitant ainsi ou évitant le risque de dégradation thermique significative.

L'influence de la concentration de solvant a été étudiée dans la gamme de 20 à 100%, car il est important de trouver un équilibre où on va obtenir une teneur maximale en composés phénoliques totaux.

Le résultat mentionné dans le **Tableau 2** montre que le facteur qui influence d'une manière hautement significative sur l'extraction des composés phénoliques totaux par d'extraction assistée au micro-onde est la concentration du solvant (X_1). Ainsi les résultats préliminaires ont également montré que la puissance du micro-onde n'affectait pas de manière significative la teneur en composés phénoliques totaux ni dans les feuilles ni dans les fruits de pistachier lentisque.

Des conclusions similaires ont été tirées (**Gao et al., 2006**), soulignant qu'il n'y avait aucun effet important de la puissance du micro-ondes d'une extraction des polyphénols d'une plante « saussurea medusa Maxim ». Cependant, la puissance du micro-onde est étroitement liée à la température pendant l'extraction assistée par micro-onde.

Dans notre recherche, la puissance choisit a été appliquée uniquement par de courtes incréments nécessaires pour maintenir la température.

Étant donné que tous les paramètres de l'extraction assistée par micro-ondes sont interconnectés, leur optimisation concernant le matériau analysé et les composés ciblés revêt un grand intérêt. Par conséquent, tous les paramètres d'extraction observés, c'est-à-dire le temps, la concentration et la masse ont été combinés en coefficients linéaires, quadratiques et

Chapitre III : Résultats et discussion

d'interaction afin d'obtenir une équation de modèle de régression décrivant la dépendance de la teneur en composés phénoliques totaux dans les extraits de feuilles et de fruits de pistachier lentisque par rapport aux paramètres d'extraction **Tableau 2**. La validité des modèles obtenus a été testée par un test de manque de fit, qui était insignifiant pour les feuilles et les fruits, ainsi qu'avec le coefficient de détermination qui était supérieur à 0,05 pour les deux modèles, ce qui implique que le modèle est adéquat pour la prédiction de la concentration totale en composés phénoliques dans les extraits de feuilles et de fruits de pistachier lentisque. Les modèles obtenus ont été utilisés à des fins d'optimisation afin d'obtenir des conditions d'extraction qui fourniront la concentration la plus élevée en phénols totaux.

Tableau 2 : Analyse de la variance pour l'effet des facteurs sur les composés phénoliques totaux

	FEUILLES		FRUITS	
	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
X_1	89,9447	0,00001	5,6737	0,00180
X_2	33,9966	0,00008	13,6153	0,00703
X_3	3,6130	0,00112	16,0873	0,01021
X_1X_2	0,2360	0,00738	0,20722	0,01101
X_1X_3	15,7485	0,05333	0,3300	0,01254
X_2X_3	1,9228	0,10605	7,9959	0,03005
X_1^2	201,6743	0,19043	28,2652	0,05462
X_2^2	2,1782	0,21488	13,1529	0,58654
X_3^2	4,6975	0,64436	12,3787	0,6268
Lak of fit	20,2946		6,98835	
R^2	0,986868		0,969049	
R^2 corrigé	0,96717		0,922623	

Chapitre III : Résultats et discussion

Les concentrations prédites ont été confirmées expérimentalement et comparées à celles affiche dans plan composite centré. Les conditions optimales d'extraction des phénols totaux des feuilles de pistachier lentisque étaient de 54,66% ; 35,06s et 0,84g (**figure 2**), tandis que pour les fruits, elles étaient légèrement différentes, c'est-à-dire 53,05% ; 102,18s et 0,87g (**figure 3**).

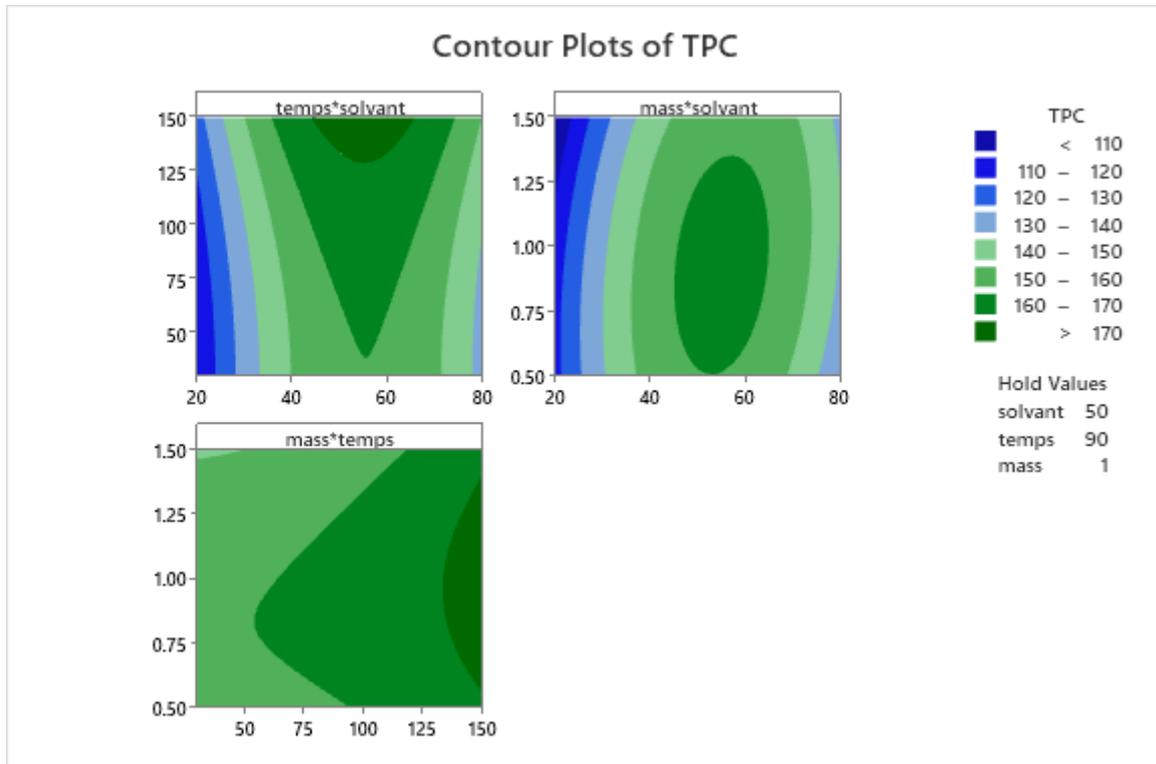


Figure 2: Présentation du modèle de surface de réponse développé pour la TPC des feuilles du pistachier lentisque

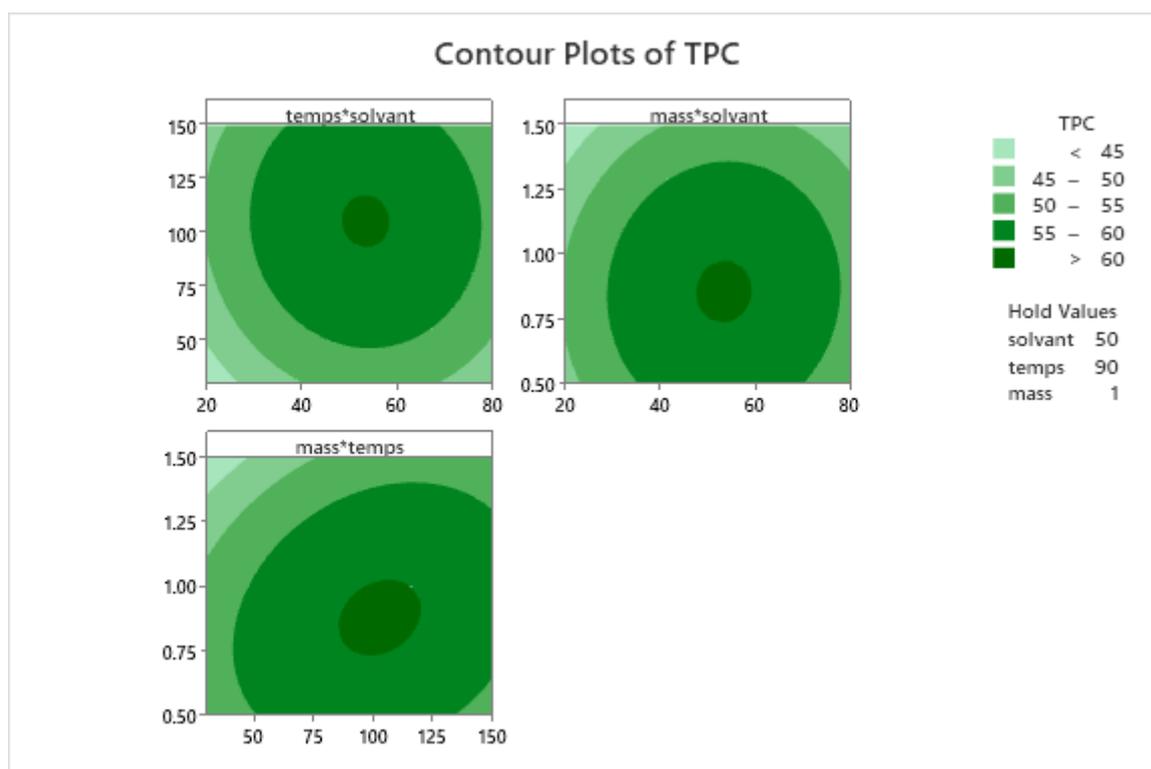


Figure 3 : Présentation du modèle de surface de réponse développé pour la TPC des fruits du pistachier lentisque

Les différences dans les conditions d'extraction optimales pour les feuilles et les fruits peuvent être attribuées aux caractéristiques de la plante, notamment aux différences de morphologie et de structure entre les fruits et les feuilles. Ces conclusions ont été formulées sur la base de l'observation générale selon laquelle les fruits nécessitent un traitement plus intensif que leurs homologues feuillus (**Garofuli et al., 2020**). Les concentrations expérimentales obtenues de phénols totaux dans les feuilles 110,18 mg EAG/g et les fruits de 41,72 mg EAG/g.

III.1.1 Modèle mathématique

Le modèle mathématique du plan composé centre des 16 essais reliant la teneur des composés phénoliques totaux et les paramètres expérimentaux est présenté par la relation suivante :

Pour Feuilles :

$$Y_{CPT} = 45.6 + 4.060 * X_1 - 0.108 * X_2 + 13.7 * X_3 - 0.000393 * X_1 * X_2 + 0.3849 * X_1 * X_3 + 0.0672 * X_2 * X_3 - 0.03999 * X_1^2 + 0.001039 * X_2^2 - 22 * X_3^2$$

Pour Fruits

$$Y_{CPT} = 11.09 + 0.934 * X_1 + 0.2498 * X_2 + 27 * X_3 - 0.000244 * X_1 * X_2 + 0.0329 * X_1 * X_3 + 0.0810 * X_2 * X_3 - 0.00884 * X_1^2 - 0.001507 * X_2^2 - 21.06 * X_3^2$$

III. 2 L'activité antioxydant

L'activité anti radicalaire des extraits des parties aériennes du pistachier lentisque (feuille et fruit) a été testé avec le réactif du DPPH, il a été clairement constaté que nos extraits aqueux des feuilles et des fruits présentent une activité anti radicalaire importante, (disparition de la couleur violette du radicale DPPH et apparition d'une coloration jaune), les résultats sont illustrés en **figure 4** et **figure 5**.

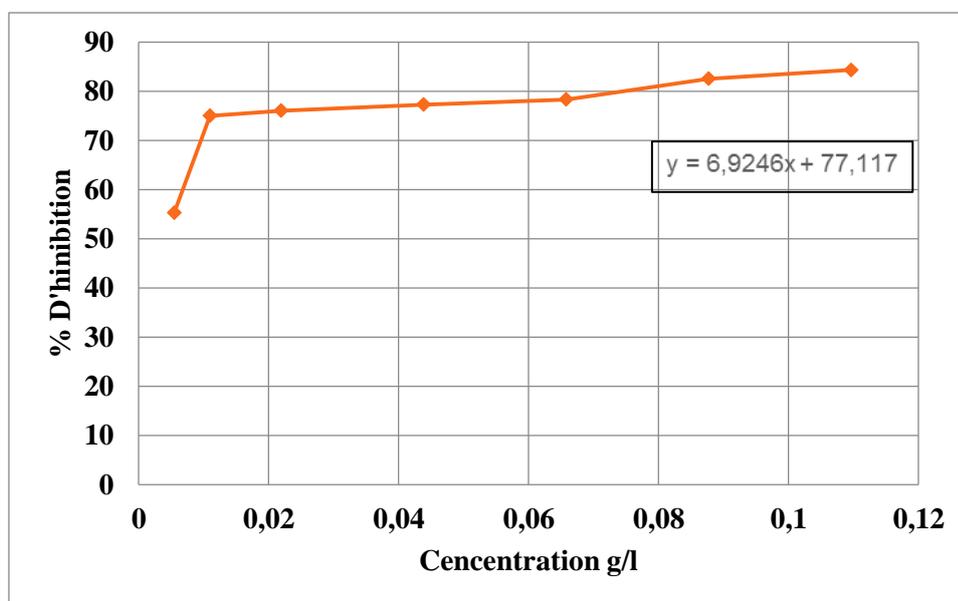


Figure 4 : Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des feuilles de pistachier lentisque

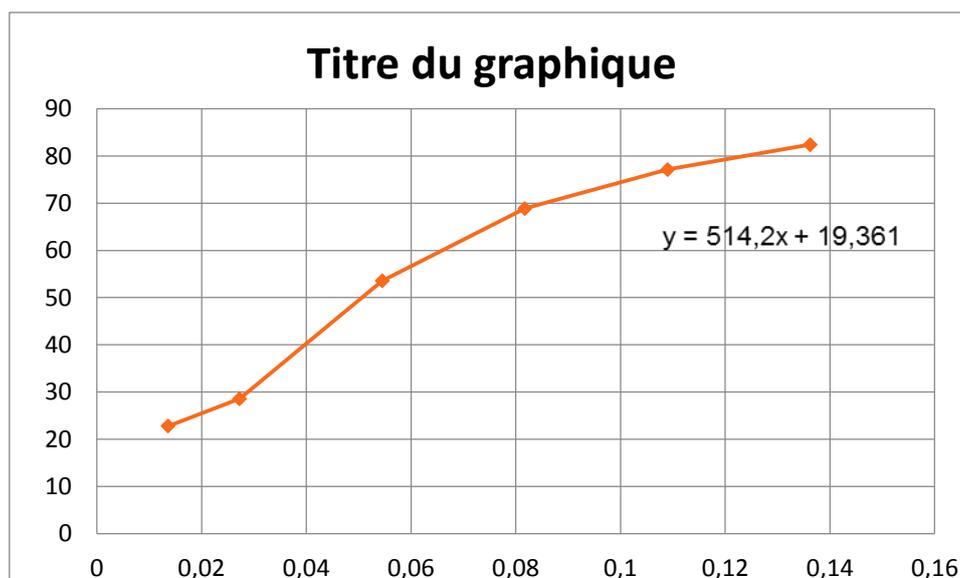


Figure 5 : Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des fruits de pistachier lentisque

Le test de l'activité anti radicalaire a été mené sur les deux extraits de la plante en faisant varier la concentration de 0,00548 à 0,1096 g/l pour les feuilles et de 0,013626667 à 0,136266667 g/l pour les fruits.

Les résultats obtenus montrent un taux d'inhibition variant de 55,3 à 84,3% pour l'extrait des feuilles qui correspondent aux concentrations 0,00548 et 0,1096 g/l (**Tableau 3**) et de 22,79 à 82,41% pour l'extrait du fruit qui correspondent aux concentrations 0,013626667 à 0,136266667 g/l (**Tableau 4**).

Ces taux d'inhibition traduisent un IC50 de 0,0595g/l pour les fruits et de 0,0039 g/l pour les feuilles ces résultats concorde ceux de (**Boukerouis et al., 2016**) qui ont trouvé un IC50 de 0.00308 g/l pour les feuilles de lentisque.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 3 : Variation de taux d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des feuilles

Pourcentage	Concentration	% d'inhibition
5	0,00548	55,3288779
10	0,01096	75,0263806
20	0,02192	76,0816039
40	0,04384	77,3126979
60	0,06576	78,3679212
80	0,08768	82,5888146
100	0,1096	84,3475202

Tableau 4 : Variation de taux d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration d'extrait des fruits

pourcentage	Concentration	% d'inhibition
10	0,013626667	22,79282448
20	0,027253333	28,59655294
40	0,054506667	53,57017235
60	0,08176	68,87091101
80	0,109013333	77,1368273
100	0,136266667	82,41294407

Chapitre III : Résultats et discussion

III. 3 Activité antibactérienne

Nous avons étudié le pouvoir antimicrobien de l'extrait des feuilles et fruits de pistachier lentisque obtenu par la méthode des disques sur un milieu gélosé solide (Mueller-Hinton).

Un test préliminaire a été réalisé afin de tester si le solvant de dilution (DMSO) ne représente aucune activité antibactérienne vis-à-vis des souches testées.

Les extraits de feuilles et de fruits du lentisque ont été testés sur trois souches bactériennes différentes : *Staphylococcus aureus* (gram+), *Escherichia coli* (gram-) et *Bacillus subtilise* (gram+), ainsi que sur deux espèces fongiques *Penicillium lilacinum* et *Aspergillus niger*.

Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau 5** qui indique les diamètres des zones d'inhibition de la croissance bactérienne en millimètres.

Tableau 5 : Diamètre des zones d'inhibition des bactéries et champignons

Les souches		Diamètre des zones d'inhibition des bactéries et Champignons en mm	
		Feuilles	fruits
Bactéries	<i>Staphylococcus aureus</i> (SA)	11,1	7,15
	<i>Bacillus subtilise</i> (BS)	8,2	7,5
	<i>Escherichia coli</i> (EC)	9,35	8,5
Champignons	<i>Penicillium lilacinum</i> (PL)	7,86	7
	<i>Aspergillus niger</i> (AS)	7,8	7,93

L'activité antibactérienne se manifeste par l'apparition d'une zone d'inhibition autour du disque de papier imprégné d'extrait étudié. Les tests antibactériens confirment l'efficacité des extraits de feuilles et de fruits du lentisque pistachier contre *Escherichia coli*, avec une zone d'inhibition moyenne de 9,35 mm pour les feuilles et 8,51 mm pour les fruits. Un taux d'inhibition similaire a été observé pour les *Bacillus subtilise*, avec une zone de 8,2 mm pour l'extrait de feuilles et 7,5 mm pour celui des fruits. En revanche, cette proximité n'est pas retrouvée dans le test sur *Staphylococcus aureus*, où l'extrait de feuilles présente un diamètre d'inhibition de 11,1 mm, bien plus important que celui des fruits, qui est de 7,15 mm. Nos résultats se rapprochent grandement à des résultats obtenus par (Dhieb et al., 2021) pour l'extrait des fruits et a (El-Chaghaby et al., 2011) pour l'extrait des feuilles.

Le test de l'activité antifongique présente des résultats de grandeurs similaires. Par exemple, l'extrait de feuilles présente un diamètre d'inhibition de 8,2 mm, tandis que le second extrait a un diamètre d'inhibition de 7,93 mm pour *Aspergillus niger*. Pour le champignon *Penicillium*

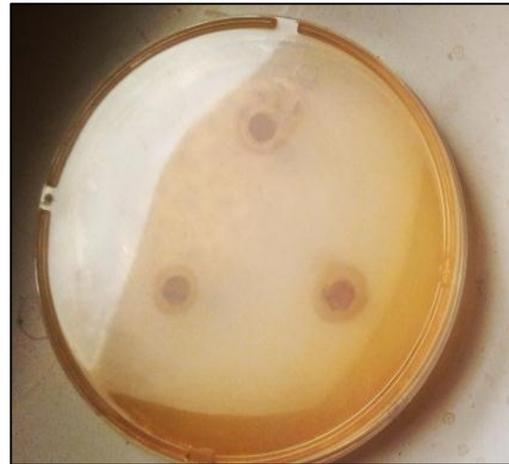
Chapitre III : Résultats et discussion

lilacinum, on obtient un diamètre d'inhibition de 7,86 mm pour l'extrait de feuilles et 7 mm pour l'extrait de fruits.

On peut observer un schéma récurrent durant cette étude, qui est la supériorité constante de l'extrait de feuilles par rapport à celui des fruits en termes de diamètre d'inhibition. Cela confirme les résultats obtenus précédemment, que ce soit ceux de l'extraction ou ceux obtenus lors du test de l'activité antioxydant.



Staphylococcus aureus



Escherichia coli



Bacillus subtilis

Figure 6 : Résultat du test antibactérien



Aspergillus niger



Penicillium lilacinum

Figure 7 : Résultat de test antifongique

III.4 Analyse spectroscopie infrarouge a transformé Fourier

Le spectre IRTF de l'extrait aqueux des feuilles illustré en (**figure 8**) montre plusieurs bandes de transmission à des longueurs d'onde spécifiques.

On observe une bande à 3614 cm^{-1} et à 3485 cm^{-1} , suggérant la présence de vibrations d'étirement des groupes hydroxyle (-OH). La bande à 2835 cm^{-1} correspond à des vibrations d'étirement des groupes C-H, suggérant la présence de composés aliphatiques. À 1729 cm^{-1} , on observe une bande correspondant aux vibrations d'étirement du groupe C=O, suggérant la présence de groupes carbonyle tels que des cétones ou des aldéhydes. La bande à 1484 cm^{-1} suggère des vibrations d'étirement des liaisons C-C dans des composés aromatiques ou alcéniques. La présence d'une bande à 1383 cm^{-1} peut indiquer des vibrations de flexion des groupes C-H aliphatiques. À 1108 cm^{-1} , on observe des vibrations d'étirement des groupes C-O, indiquant la présence de composés tels que des alcools ou des éthers. Les bandes à $1000 - 517\text{ cm}^{-1}$ suggère des vibrations d'étirement des groupes C-H aliphatiques ou aromatiques. L'analyse de ces bandes permet d'obtenir des informations sur la composition chimique de l'extrait, notamment la présence de groupes hydroxyle, de groupes carbonyle, de chaînes carbonées aliphatiques et d'éventuels composés aromatiques.

Concernant le spectre IRTF de l'extrait aqueux des fruits, plusieurs bandes de transmission peuvent être attribuées à des composés phénoliques spécifiques (**figure 9**). Les vibrations d'étirement des groupes hydroxyle (-OH) à 3614 cm^{-1} et 3485 cm^{-1} sont caractéristiques des groupes phénoliques présents dans les composés tels que les acides phénoliques et les flavonoïdes. Ces groupes -OH sont responsables des propriétés antioxydants et de nombreux bienfaits pour la santé associée aux composés phénoliques. De plus, la bande à 1729 cm^{-1} ,

Chapitre III : Résultats et discussion

correspondant aux vibrations d'étirement du groupe C=O, peut indiquer la présence d'acides phénoliques et de leurs dérivés, qui sont également des composés phénoliques importants. Ces observations suggèrent la présence de phénols et d'acides phénoliques dans l'extrait aqueux, ce qui confirme la richesse de l'extrait en composés phénoliques potentiellement bénéfiques pour la santé. Ces résultats d'analyse chimique par IRTF concorde avec ceux obtenus par **Mhenni et al., 2016** pour les feuilles et les fruits de pistachier lentisque.

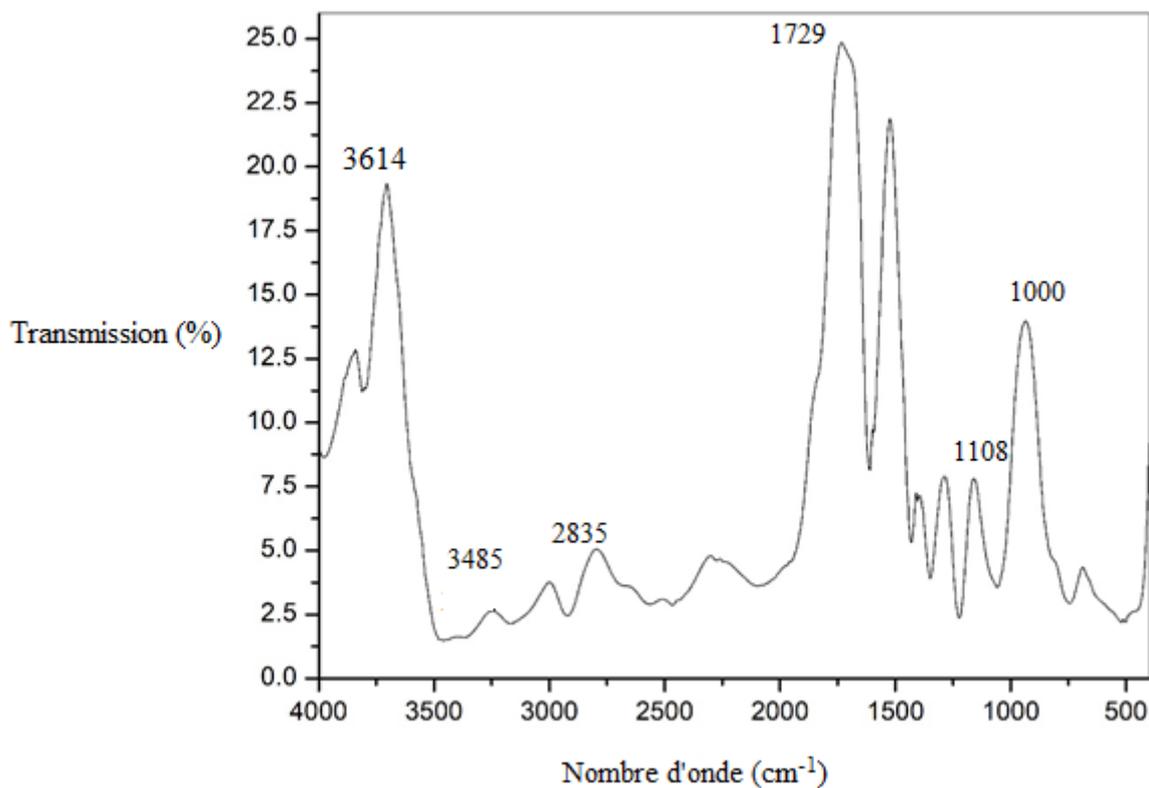


Figure 8 : Spectre IRTF pour l'extrait des feuilles

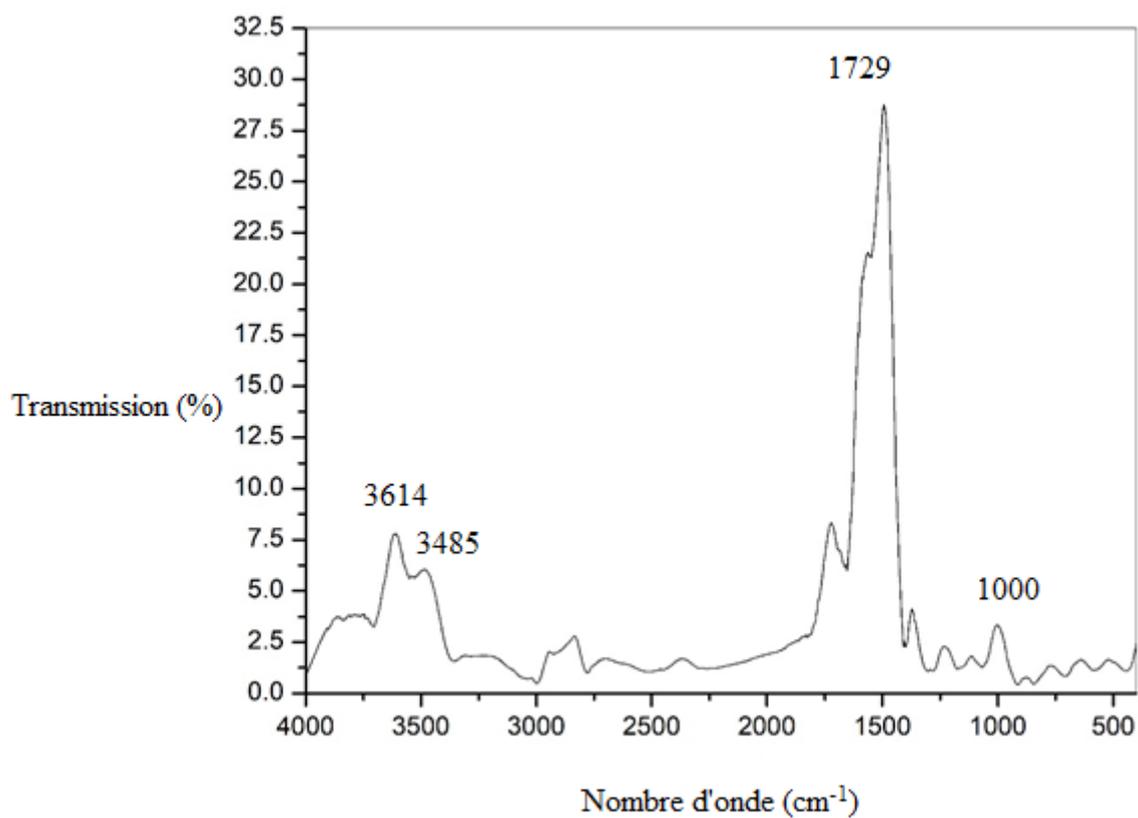


Figure 9 : Spectre IRTF pour l'extrait des fruits

Références bibliographiques

-B-

Boukerouis, D., Atmani, D., Atmani, D. Revue des substances Naturelles et Innovation Thérapeutique, 2 , 33-36, 2016.

-D-

Dahmoune, F., Spignob, G., Moussia, K., Reminia, H., Cherbalc, A., Madani, K. Pistacia lentiscus leaves as a source of phenolic compounds: Microwave-assisted extraction optimized and compared with ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. Journal Industrial Crops and Products, 61, 31–40, 2014.

Dhieb, C., Trabelsi, H., Boukhchina, S., Sadfi-Zouaoui, N. Evaluation of Antifungal and Antibacterial Activities of Tunisian Lentisc (Pistacia LentiscusL.Fruit Oil.Journal of Food and Nutrition Research,9, 177-181, 2021.

-E-

EL-Chaghaby ., Ghadir, A., ABEER, A. Biosynthesis of Silver Nanoparticles using Pistacia lentiscus Leaves Extract and Investigation of their Antimicrobial Effect. Oriental Journal of Chemistry, 27(3), 929-936, 2011.

-G-

Gao, M., Song, B.Z.,Liu, C.Z. Dynamic MAE of flavonoids from saussurea medusa Maxim cultured cells. Journal Biochem Eng, 32, 79-83, 2006.

Garofuli, I., Kruk ,V., Marti, A., Marti,I., Zori,Z., Pedisi,S., Dragovi,S., Dragovi,V. Evaluation of Polyphenolic Profile and Antioxidant Activity of Pistacia lentiscus L. Leaves and Fruit Extract Obtained by Optimized Microwave-Assisted Extraction. Journal Foods , 9, 1556, 2020.

-M-

Mehenni, C., Atmani-Kilani, D., Dumarçay, D., Perrin,D., Gerardin, P., Atmani, D. Hepatoprotective and antidiabetic effects of pistacia lentiscus leaf and fruit extracts, Journal Foud Drug Anal, 24(3),653–669, 2016.

-Z-

Zitouni, A., Belyagoubi-benhammou N. Ghembaz N. Toul F. Assessment of phytochemical composition and antioxidant properties of extraction from the leaf, stem, fruit and root of pistacia lentiscus L. International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research,8(4), 627-633, 2016.

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a pour objectif de caractériser et d'optimiser l'extraction des composés phénoliques des parties aériennes du pistachier lentisque (feuilles et fruits) par l'extraction assistée à la micro-onde (EAM) afin d'élaborer un procédé d'extraction simple, rapide et efficace. Un autre objectif est d'étudier l'activité antioxydant et antibactérienne.

Un plan composé centré a été mis en place pour étudier l'effet de trois variables indépendantes (concentration de l'éthanol (%), temps (sec) et rapport solide/liquide (g/ml)) sur l'extraction des composés phénoliques totaux afin de définir un modèle mathématique permettant l'optimisation des conditions d'extraction. Une étude préliminaire a permis de définir les niveaux hauts et bas pour chaque facteur. Cette approche a permis de tirer les conclusions suivantes : L'analyse de la variance pour l'effet des facteurs sur les CPT, dans le cas d'extraction assistée par micro-ondes, donne le coefficient de détermination $R^2=0.98$ pour les feuilles et $R^2=0.969$ pour les fruits, de plus, la valeur de coefficients de détermination ajustée ($R^2_{\text{ajustée}}=0.96$) pour les feuilles et ($R^2_{\text{ajustée}}=0.92$) pour les fruits, cette analyse montre que les deux modèles sont significatif ($P<0,005$).

L'activité antioxydant étudiée avec le test anti radicalaire (DPPH) ; Les résultats obtenus ont révélé les deux extraits de la plante présentent une capacité antioxydant pour inhiber le radical DPPH avec un $IC_{50}=0.0039$ g/l pour les feuilles et $IC_{50}=0.0595$ g/l pour les fruits.

Cette espèce présente également une activité antibactérienne pour les deux extraits vis-à-vis les souches bactériennes testées.

Le spectroscopie infrarouge a transformé Fourier pour l'extrait des feuilles et des fruits du pistachier lentisque confirme la richesse des deux extraits en composés phénoliques.

Résumé

Dans cette étude, la méthode d'extraction assistée par micro-onde EAM a été utilisée pour l'extraction des polyphénols à partir de pistachier lentisque (feuilles et fruits). Une application de plan d'expérience est envisagée à fin d'optimiser les conditions d'extraction, l'effet des variables indépendantes (pourcentage de solvant, temps et rapport (solide/liquide)) sur la teneur en polyphénols totaux a été évalué en utilisant la méthodologie de surface de réponse (MSR).

Les résultats de caractérisation montrent que les feuilles et les fruits du lentisque pistachier présentent une activité antioxydant et antibactérienne. La spectroscopie IRTF confirme la richesse des deux parties de la plante en composés phénoliques.

Abstract

In this study, the MAE (Microwave-Assisted Extraction) method was used for the extraction of polyphenols from the leaves and fruits of the mastic tree. An application of experimental design was considered to optimize the extraction conditions, and the effect of independent variables (solvent percentage, time, and solid/liquid ratio) on the total polyphenol content was evaluated using the Response Surface Methodology (RSM).

The characterization results demonstrate that both the mastic tree leaves and fruits exhibit antioxidant and antibacterial activities. IRTF spectroscopy confirms the abundance of phenolic compounds in both parts of the plant.