



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم البيولوجية
Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème

Etude de cinétique de séchage par micro-ondes d'une matrice végétale : Cas des feuilles de menthe

setenu le : 24/ 06/ 2023

Devant le jury :

Melle BENBOUGUERRA Nawel

Mr TOUATI Noureddine

Melle BOUTANA Wissam

MCB

MCA

MAA

Université de BBA

Université de BBA

Université de BBA

Président

Encadrant

Examineur

Présenté par : AMEUR Zahra

BOUGRARI Ikram

OUAREM Faiza

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Allah Tout-Puissant de nous avoir donné la force et le courage de faire ce travail.

Nous dressons également nos sincères remerciements aux membres du jury :

M^{elle} Benbouguerra N, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'accepter de présider le jury et d'examiner notre mémoire. **M^{elle} Boutana W** qui a accepté d'évaluer notre mémoire. C'est un honneur pour nous de vous avoir dans notre jury et merci énormément pour l'intérêt que vous portez à notre mémoire. Vos remarques et suggestions ne feront que peaufiner ce travail et améliorer la qualité de ce document.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à notre encadrant **M^r Touati N** de nous avoir soutenu, orienté à travers ses conseils avisés tout au long du projet.

Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance à **Djemoui setti S, Dehamnna W** et **Benyettou K, Ben Arioua A** et **Mekhoukh N**, sans leur réactivité et leur aide inestimable, ce travail n'aurait pas été possible.

Nous remercions également le personnel de laboratoire de la faculté SNVSTU de nous avoir facilité le chemin afin d'accomplir ce modeste travail.

Enfin, nous exprimons notre plus profond respect et notre plus profonde sympathie à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

ceux qui n'ont rien donné en retour

ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments les plus difficiles.

Chers parents, je vous serai éternellement reconnaissante pour votre amour, votre soutien, le plus grand cadeau que Dieu fasse à ses enfants.

Chers frères et chères sœurs,

Tous les membres de la famille sans exception

toute la promotion qualité des produits et sécurité

Alimentaire 2022|2023

Zahra



Dédicaces

Je dédie notre mémoire à :

mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leurs prières tout au long de mes études, qui m'a encouragé et aidé

Mes enseignants qui m'ont montré les clés du succès et de ce qu'ils ont fait.

ma famille maternelle et paternelle

mes chères amies

tous mes collègues

toute personne qui m'ont aidé dans ce travail

Merci à vous tous.

Faiza



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*Mes chers parents, merci de trouver ici mes plus profondes expressions de gratitude et d'affection. Ma chère mère n'a jamais cessé de me donner tout ce dont j'avais besoin pour accomplir cette tâche et nous avons eu besoin de lui tout au long de mon parcours scolaire Gentillesse et compréhension. Je tiens également à remercier mon cher père qui est toujours travaillé fort pour créer les conditions nécessaires à la réussite de mes études. je t'aime
papa*

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire ainsi que tous mes amis qui ont soutenu ce travail.

IKRAM



Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	11
I. Séchage	Error! Bookmark not defined.
I.1. Définition du séchage	4
I.2. Différents modes de séchage	4
I.3. L'activité de l'eau	4
I.4. Activité de l'eau et conservation des aliments.....	5
II. Menthe	8
II.1. Généralités	8
II.2. Botanique.....	8
II.3. Composition nutritionnelles et phytochimiques	8
II.4. Stress oxydatif et les Antioxydants.....	10
II.4.1. Stress oxydatif.....	10
II.4.2. Radicaux libres.....	11
II.4.3. Antioxydants	11
II.5. Effets thérapeutiques.....	12
I. Matériel et méthodes.....	15
I.1. Matériel végétal.....	15
I.2. Evaluation de taux d'humidité	15
I.3. Broyage et tamisage	15
I.4. Préparation des extraits hydro-alcooliques	16
I.5. Dosage des substances antioxydants	16
I.5.1. Polyphénols totaux.....	16
I.5.2. Flavonoïdes totaux.....	16

I.6. Evaluation de l'activité antioxydant.....	17
I.6.1. Activité anti-radical DPPH.....	17
I.6.2. Pouvoir réducteur.....	18
I.7. Analyse statistiques	18
II. Résultats et discussion.....	20
II.1. Taux d'humidité.....	20
II.2. Cinétique de séchage.....	20
II.3. Dosage des antioxydants	21
II.3.1. Polyphénols totaux	21
II.3.2. Flavonoïdes totaux.....	23
II.4. Evaluation de l'activité antioxydante.....	24
IV.4.1. Activité anti radicalaire	24
II.4.2.Pouvoir réducteur	25
Annexes.....	24

Liste des figures

Figure 1 : Risques de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau (a_w).....	3
Figure 2 : Taux d'humidité de la menthe.....	14
Figure 3 : la perte de masse à différentes puissances de séchage de micro-onde en fonction de différents temps.....	15
Figure 4 : Teneur en polyphénols totaux des extraits de menthe séchée par micro-ondes.....	16
Figure 5 : Teneur en flavonoïdes totaux des extraits de menthe séchée par micro-ondes.....	17
Figure 6 : Activité anti-radical DPPH des différents extraits de menthe séchée par micro-onde.....	18
Figure 7 : Pouvoir réducteur des différents extraits de menthe séchées par micro-onde.....	19

Liste des tableaux

Tableau I :Composition nutritionnelle de menthe 6

Tableau II :Temps de séchage des feuilles de menthe..... 24

Liste des abréviations

Abs : Absorbance

A_w : l'activité de l'eau

EAG : Equivalent acide gallique

EQ : Equivalent quercétine

PPT : Polyphénols totaux

UV : Ultra-violet

SOD : Superoxyde dismutase

CAT :Catalase

GPx :Glutathion peroxydase

GRx :lutarédoxine

Introduction

L'alimentation est aujourd'hui perçue comme un des facteurs de santé publique et les fruits et légumes sont particulièrement recommandés. Les arguments sous-tendent les bénéfices des fruits et légumes pour la santé : une contribution importante en micronutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, un effet protecteur contre les grandes pathologies chroniques (**Djerroud, 2010**).

La grande majorité des aliments consommés par l'homme sont d'origine biologique, dérivés soit à partir de matières végétales ou animales. Si ces aliments nourrissent l'être humain, ils peuvent aussi servir de substrats appropriés pour un certain nombre de microorganismes impliqués dans la détérioration d'aliments. Avant de connaître l'existence de micro-organismes, les individus utilisaient des méthodes telles que le salage, fumage, chauffage, congélation ou mise en conserve pour prévenir ou inhiber la détérioration. Parmi ces méthodes, une méthode efficace et largement appliquée est de réduire la quantité d'eau de l'aliment (**Li, 2000**).

Les menthes sont un genre (*Mentha*) de plantes herbacées vivaces de la famille des Lamiacées (Labiées), sous-famille des *Nepetoïdeae*, tribu des *Menthae*, comprenant de nombreuses espèces, dont beaucoup sont cultivées comme plantes aromatiques et condimentaires, ornementales ou médicinales.

Le séchage a été l'un des processus les plus communément utilisé pour améliorer la stabilité des aliments, par la diminution de l'activité de l'eau du produit, la réduction de l'activité microbologique et la minimisation des changements physiques et chimiques intervenant pendant le stockage (**Mayor and Sereno, 2004**). Ce travail consiste à étudier l'impact du séchage par micro-onde sur la qualité des substances bioactives de la menthe et valider cette technique. Le présent manuscrit est composé d'une introduction, partie bibliographique sur le séchage et la menthe, et une partie expérimentale dont matériel et méthodes, et résultats et discussion suivie d'une conclusion et perspectives.

Partie bibliographique

Chapitre I :séchage

I. Séchage

I.1. Définition du séchage

Le séchage est l'un des moyens couramment utilisé pour la préservation des aliments en général et des fruits et légumes en particuliers. Il consiste à éliminer totalement ou partiellement l'eau et les composés volatils, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la durée optimale d'utilisation du produit. (Verdier et al., 2016)

I.2. différents modes de séchage

On rencontre une grande diversité dans les modes de séchage :

- a) **Séchage conductif** : le produit est mis en contact avec des surfaces chaudes (cas du sécheur tambour rotatif)
- b) **Séchage convectif** : on envoie sur le produit à sécher un courant d'air chaud qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau et entraîne la vapeur formée.
- c) **Séchage par Infrarouge ou Microondes** : un rayonnement électromagnétique est appliqué sur le produit.
- d) **La lyophilisation** : le produit est congelé (en dessous de -20°C) puis amené à très basse pression pour en sublimer (et non évaporer car la glace va passer à l'état vapeur sans passer par l'état liquide) la glace qu'il contient. Les produits de haute valeur ajoutée peuvent être lyophilisés (café soluble, ferments, rations alimentaires pour randonneurs,...) car la technique de lyophilisation est très peu productive et très coûteuse en énergie. (MAHBOUB, N., N. SLIMANI, and A. KHELIL, 2022)

I.3. Activité de l'eau

L'eau, de formule chimique H_2O , est le constituant majeur de la plupart des aliments. Bien qu'elle n'apporte aucune valeur énergétique aux aliments, son existence joue un rôle très important. Elle influence la structure, l'apparence, le goût des aliments et leur susceptibilité à la dégradation. (Djerroud, 2010).

I.4. Activité de l'eau et conservation des aliments

L'importance de l'activité de l'eau pour la stabilité des denrées alimentaires lors de traitements et entreposage est illustrée de manière très évidente ci-après. D'une manière générale, une stabilité optimale est obtenue lorsque l' a_w est situé entre 0,2 et 0,3(Djerroud, 2010).

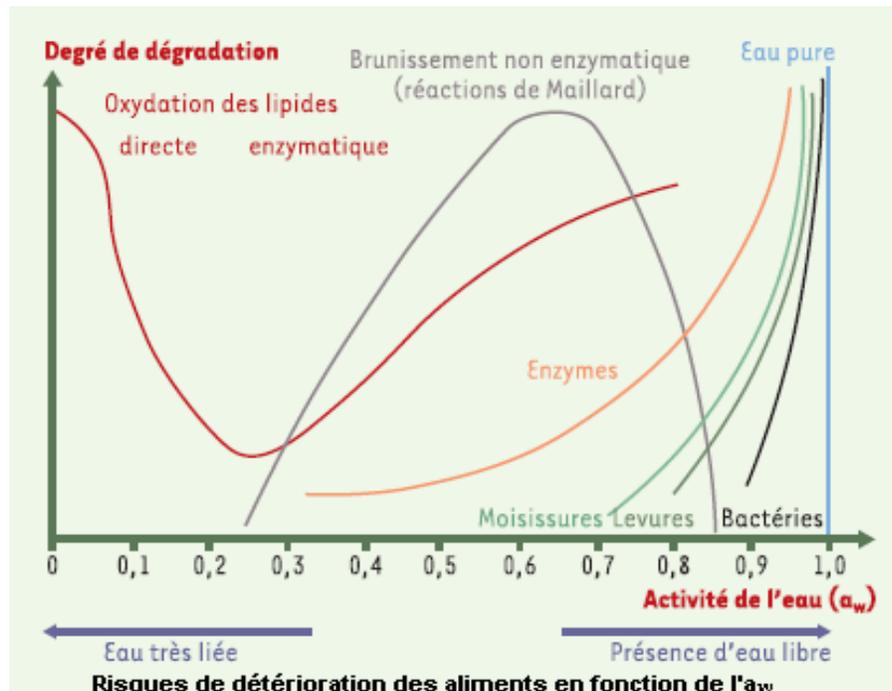


Figure 1 : Evolution des risques de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau (a_w) (Djerroud, 2010).

➤ Activité de l'eau et les réactions d'oxydation

- Le rancissement est une des principales réactions de détérioration des aliments à faible ou moyenne teneur en eau ; il s'observe même pour des activités d'eau comprises entre 0 et 0,2 environ (courbe en rouge). (Djerroud, 2010)
- L'oxydation des lipides constitue souvent le facteur limitant de la conservation de certains aliments déshydratés ou à teneur moyenne en eau. L'addition d'antioxydants ou une élévation de la teneur en eau peut modifier ces données et aboutir à faire dépendre la stabilité d'autres réactions d'altérations en particulier le brunissement non enzymatique. (Djerroud, 2010)

➤ Activité de l'eau et le brunissement non enzymatique (Réaction de Maillard)

La vitesse de brunissement non enzymatique augmente rapidement avec l'activité de l'eau et atteint un maximum à des activités comprises entre 0,5 et 0,7 (courbe en gris). Au-delà de ces valeurs, la vitesse de cette réaction diminue (Djerroud, 2010).

➤ **Activité de l'eau et le brunissement enzymatique**

L'activité enzymatique (courbe en orange) et le taux final d'hydrolyse s'élèvent considérablement lorsque l'activité de l'eau dépasse 0,7. (Djerroud, 2010)

➤ **Activité de l'eau et les croissances microbiennes**

La croissance des bactéries (courbe en noir) est généralement impossible lorsque $a_w < 0,90$. Les moisissures et les levures (courbes en vert clair et vert foncé) sont inhibés respectivement vers un a_w de 0,7 et 0,8 sauf certaines moisissures et levures osmophiles qui peuvent se développer jusqu'aux des a_w de 0,6. Dans la plupart des cas, l' a_w limite de croissance d'un microorganisme est différent de l' a_w limite nécessaire pour la production de sa toxine. (Djerroud, 2010)

Dans un aliment, une activité de l'eau de 0,7 est considérée comme une limite inférieure présentant toutes les garanties de stabilité microbienne.

Cependant 0,91 est une limite en dessous de laquelle le développement des microorganismes est très fortement freiné. C'est cette limite qui a été retenue par la directive communautaire de 1977 pour la conservation des aliments à température ambiante ; elle est même relevée à 0,95 à condition toutefois qu'elle s'accompagne d'un pH inférieur ou égal à 5,2. (Djerroud, 2010)

Chapitre II :Menthe

II. Menthe

II.1. Généralités

Les menthes forment un genre (*Mentha*) de plantes herbacées vivaces de la famille des Lamiacées (Labiées), sous-famille des Nepetoideae, tribu des Mentheae, sous-tribu des Menthinae. Ce genre comprend de nombreuses espèces, dont beaucoup sont cultivées comme plantes aromatiques et condimentaires, ornementales ou médicinales. Le genre *Mentha*, comme le genre *Lavandula*, est un groupe qui comprend de nombreuses espèces : plus de 25, largement cultivées dans de nombreux pays, mais originaires de régions tempérées et subtropicales d'Europe et d'Afrique. Cette répartition fait de la menthe, aujourd'hui, la plante probablement la plus répandue et la plus célèbre de nos plantes médicinales et aromatiques. Une longue liste de propriétés a été attribuée aux différentes espèces de menthes : elles sont utilisées régulièrement pour leurs arômes en cuisine, et comme antiseptiques et agents antimicrobiens. (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**)

II.2. Botanique

La menthe verte appartient à la famille des Lamiacées, qui comprend 6500 espèces dispersées sur une aire géographique très étendue. C'est une famille très homogène : une Lamiacée est facile à reconnaître. Ce sont le plus souvent des plantes herbacées et des arbustes producteurs d'huiles essentielles, dont l'odeur se dégage par simple attouchement. En effet, la localisation des huiles essentielles est très externes ; elles se forment dans des poils à essence et se localisent sous la cuticule qui se soulève (**Dupont,2012**). La forme de la fleur (une corolle zygomorphe avec perte de l'étamine supérieure) et la présence d'huiles essentielles signent donc l'appartenance à cette famille. L'appareil végétatif comprenant une tige à section carrée et des feuilles opposées sont aussi des caractéristiques(**Blade., 2008 ;Ghedira et Goetz., 2015**).

II.3. Composition nutritionnelles et phytochimiques

Ce tableau présente l'apport énergétique (Calories) de 100 grammes de menthe et les nutriments (protéines, glucides, sucres, matières grasses / lipides, acides gras saturés, fibres alimentaires, sodium, sels minéraux et vitamines) qui entrent dans sa composition.

Les quantités de nutriments indiquées sont des valeurs moyennes, ces valeurs peuvent varier pour différents types de mentheg (**Kandlakunta et al., 2008**).

Tableau I: Composition nutritionnelles de *menthe* selon l'**USDA (National Nutrition Data base., 2013)**

Composition	Quantité
Energie - Calories	48,6 kcal
Energie - kilojoules	202 kJ
Protéines	3,61 g
Glucides	3,37 g
Sucres	3,37 g
Lipides	0,79 g
Acide myristique	0,005 g
Acide palmitique	0,157 g
Acide stéarique	0,0225 g
Acide Gras mono insaturés	0,109 g
Acide Gras polyinsaturés	0,337 g
Sodium	25,3 mg
soit équivalence en Sel	63,756 mg
Eau	83,5 g
Fibres	6,8 g
Magnésium	71,5 mg
Phosphore	69,3 mg
Potassium	429 mg
Calcium	217 mg
Manganèse	1,15 mg
Fer	8,82 mg
Cuivre	0,284 mg
Zinc	1,03 mg
Sélénium	0,5 µg
Vitamine A - Bêta-Carotène	740 µg
Vitamine E / tocophérol	5 mg
Vitamine C / acide ascorbique	25,4 mg
Vitamine B1 / thiamine	0,0933 mg
Vitamine B2 / riboflavine	0,257 mg
Vitamine B3 / PP niacine	1,25 mg

Vitamine B5 / acide pantothénique	0,294 mg
Vitamine B6 / pyridoxine	0,126 mg
Vitamine B9 / acide folique	110 µg

II.4.Stress oxydatif et les Antioxydants

L'oxygène, présente dans l'air que nous respirons est une molécule indispensable à la vie. L'oxygène est pourtant un élément paradoxal qui constitue le carburant, l'énergie des cellules de notre corps mais qui entraîne à contrario des réactions d'oxydation produisant des radicaux libres. (Huang H., Li T.et al., 2008).

II.4.1.Stress oxydatif

Le terme « stress oxydatif » désigne le déséquilibre entre la production de radicaux libres et la quantité d'antioxydants disponibles et utilisables par l'organisme. Le stress oxydatif reflète l'ensemble des agressions sur les constituants de nos cellules par les substances réactives issues de l'oxygène. (Huang H., Li T.al., 2008).

II.4.2.Radicaux libres

Les radicaux libres sont des molécules impliquées dans des réactions chimiques qui accompagnent la vie cellulaire. En excès, ils sont potentiellement néfastes pour l'organisme et peuvent altérer le bon fonctionnement des cellules. Certains facteurs peuvent augmenter considérablement la production de radicaux libres : tabac, prise de médicaments, pollution, alimentation déséquilibrée, activité sportive intense, stress, etc.

Ces radicaux libres et plus globalement le stress oxydatif vont endommager l'ADN présent dans nos cellules et favoriser le vieillissement cellulaire. Ils pourraient provoquer, à terme, une inflammation et des cancers. **(Lalas S., Athanasiadis V et al.,2011).**

II.4.3.Antioxydants

Les antioxydants, véritables boucliers naturels, neutralisent les radicaux libres avant qu'ils n'atteignent leur cible, protégeant ainsi nos cellules des dommages radicalaires. Un déficit en antioxydants et/ou une surproduction de radicaux libres créent donc un déséquilibre : le stress oxydatif. Il s'agirait d'une des principales causes de notre vieillissement et serait à l'origine de nombreux désagréments : fatigue, problèmes circulatoires ou articulaires, vieillissement oculaire accéléré. Il existe deux types d'antioxydants : ceux déjà présents dans votre corps, appelés antioxydants endogènes, et ceux qui proviennent de l'environnement extérieur, nommés antioxydants exogènes. Découvrons ensemble les caractéristiques de ces antioxydants. **(Huang H., Li T.al., 2008 ; Lalas S., Athanasiadis V et al.,2011)**

❖ Antioxydants endogènes

Le corps sait se défendre contre les radicaux libres grâce aux antioxydants qu'il fabrique les antioxydants endogènes. Ces antioxydants peuvent être enzymatiques ou non-enzymatiques.

▪ Antioxydants enzymatiques

Les enzymes antioxydants les plus connues sont le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la glutathion peroxydase (GPx) et la glutarédoxine (GRx). Le rôle de ces enzymes est de transformer les radicaux libres pour qu'ils deviennent inoffensifs. Ces

enzymes s'associent à des éléments comme le zinc, le sélénium, le cuivre ou encore le manganèse, qui leur permettent d'exercer leur activité. C'est ce que l'on appelle des « cofacteurs ». (Huang et al., 2008 ; Lalas et al., 2011).

▪ **Antioxydants non-enzymatiques**

La capacité antioxydante endogène provient aussi de molécules présentes dans le sang. Il s'agit d'antioxydants non-enzymatiques. Ces derniers désactivent les radicaux libres. Parmi ces antioxydants, on retrouve le glutathion, l'albumine, l'acide urique et l'acide ascorbique (Huang et al., 2008 ; Lalas et al., 2011).

❖ **Antioxydants exogènes**

Sont une source extérieure à l'organisme et permettent de renforcer les défenses antioxydantes. Cela passe par l'alimentation. En effet, de nombreux antioxydants sont présents dans les aliments. Parmi eux, on retrouve de la vitamine C, la vitamine E et la vitamine A. Mais aussi du zinc, du sélénium, ou encore du cuivre. Les caroténoïdes et les polyphénols, molécules présentes dans les végétaux, sont également de très bons antioxydants.

II.5. Effets thérapeutiques

En raison de ses nombreux bienfaits, la menthe permet de prendre en charge un large éventail de douleurs, de troubles et de pathologies s (Mathias, 1994). Elle est notamment indiquée pour traiter :

- Les troubles digestifs (digestions difficiles, ballonnements, diarrhée, constipation).
- Les troubles urinaires.
- La toux et certaines affections respiratoires (rhumes, bronchites).
- Les douleurs musculaires (myalgies) et articulaires (arthralgies).
- Les maux de tête.
- Les affections cutanées, les démangeaisons et les piqûres d'insectes.

La menthe est aussi parfois administrée pour faire transpirer ou en cas de troubles hépatiques pour augmenter la sécrétion de bile (Mathias., 1994).

Partie pratique

Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Matériel végétal

L'échantillonnage a été effectué au mois de Mars 2023 d'une manière aléatoire dans la région de Bordj Bou Arreridj. Au laboratoire, les feuilles fraîches de menthe ont été séparées de leurs tiges puis lavées avec l'eau distillée pour se débarrasser de toutes les impuretés.

I.2. Evaluation de taux d'humidité

Pour la détermination du taux d'humidité de menthe étudiée, 2g d'échantillon sont séchés à 105°C à l'étuve. La diminution du poids est suivie par pesée jusqu'à sa stabilisation. Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{H} (\%) = \frac{(\mathbf{P}_{\text{avant}} - \mathbf{P}_{\text{après}})}{\mathbf{P}_{\text{avant}}}$$

H (%) : Taux d'humidité en pourcentage.

P_{avant} : Poids de l'échantillon avant mise à l'étuve en gramme.

P_{après} : poids de l'échantillon après mise à l'étuve en gramme.

I.3. Séchage

Une quantité de 2g de feuille a été séché par microonde à différentes puissances (100, 300, 500, 700, et 900 W). Les échantillons ont été pesés après chaque 5 secondes jusqu'à obtention d'un poids constant afin de suivre les cinétiques de séchage.

I.3. Broyage et tamisage

Après obtention d'une masse constante pour les échantillons séchés par microonde, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres ainsi obtenus ont été tamisés à l'aide d'un tamis de diamètre inférieure à 0.2 μm, pour obtenir des poudres fines et homogènes. Après broyage et tamisage, les poudres fines ont été conservées dans des boîtes en verre, hermétiquement scellées, à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des analyses ultérieures.

I.4. Préparation des extraits hydro-alcooliques

Nous avons pris une quantité de poudre (0.5 gramme) de menthe de chaque puissance (100, 300, 500, 700 et 900) que seront alors placées dans tubes a essais en verre contenant 20ml d'éthanol 50%. La solution est donc bien mélangée pendant 3h .les extrait sont récupéré après centrifugation à 1500rpm/15min.

I.5. Dosage des substances antioxydants

I.5.1. Polyphénols totaux

- **Principe**

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé selon la méthode de **Singleton et Rosi, (1965)**. Le réactif utilisé est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_4$) de couleur jaune. Le principe de la méthode est basé sur l'oxydation des composés phénoliques par ce réactif, qui entraîne la formation d'un nouveau complexe d'oxydes métalliques de tungstène et de molybdène de couleur bleu. L'intensité de la coloration bleue produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait.

- **Mode opératoire**

Dans des tubes à essai, un volume de 20µl d'extrait est ajouté à 1 ml du réactif Folin–Ciocalteu (10%), puis un volume de 800 µl de la solution de carbonate de sodium (7,5%) est ajouté après que le mélange ait été laissé à 27 °C dans l'obscurité pendant 30 min La lecture de l'absorbance est effectuée à une longueur d'onde de 760 nm La teneur en polyphénols est calculée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec de l'acide gallique et les résultats sont exprimées en gramme équivalent d'acide gallique par 100 gramme de poudre (mg EAG/ 100g).

I.5.2. Flavonoïdes totaux

- **Principe**

Les flavonoïdes totaux ont été dosés en utilisant l'une de leurs propriétés structurales ; Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer

et Aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribereau-Gayon, 1968**).

- **Mode opératoire**

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de (**Khennouf S., Itratni N, 2010**). Un volume de l'extrait est mélangé avec 1 ml de chlorures d'Aluminium ($AlCl_3$) à 2%, Après 10 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 430 nm par un spectrophotomètre UV-visible. Les concentrations des flavonoïdes contenus dans l'extrait ont été calculées en se référant à la courbe d'étalonnage) obtenue à partir de cinq concentrations en utilisant la quercitrine comme standard et les résultats sont exprimées en gramme équivalent de quercitrine par 100 gramme de poudre (g EQ/100 g).

I.6. Evaluation de l'activité antioxydant

I.6.1. Activité anti-radical DPPH

- **Principe**

L'évaluation du pouvoir antioxydant des différents extraits est réalisée par le test DPPH qui est considéré comme un radical libre relativement stable. Le principe de cette méthode est basé sur la mesure du piégeage des radicaux libres de DPPH (1,1-Diphényle-2-picryl-hydrazyl de couleur violette). En présence de molécules dites antioxydants, le DPPH est transformé en sa forme réduite non radicalaire (diphényle picryl-hydrazine : de couleur jaune), ce qui conduit à une diminution de l'absorbance (**Mansouri A., Embarek G et al 2005**). La décoloration du DPPH est directement proportionnelle à la capacité des molécules bioactives à le réduire.

- **Mode opératoire**

Le protocole expérimental utilisé est celui de **Brand-Williams et al. (1995)**. Qui consiste à mélanger 100 μ l de l'extrait avec 1 ml de la solution méthanolique de DPPH. La lecture de l'absorbance est faite à 517 nm après 30 mn d'incubation dans l'obscurité. pour les résultats sont exprimés en gramme équivalent d'acide gallique par 100 gramme de poudre (g EAG/ 100g).

I.6.2. Pouvoir réducteur

- **Principe**

Cette méthode est basée sur la capacité des composés réducteurs, à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) du ferrocyanure de potassium pour donner du fer ferreux (Fe^{2+}). La réaction est révélée par le virement de couleur jaune de (Fe^{3+}) en couleur bleu vert de (Fe^{2+}), l'absorbance est mesurée à 700 nm (**Oyaizu, 1986**). Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Hubert, 2006**).

- **Mode opératoire**

250 μl de l'extrait est mélangé avec 250 μl d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 250 μl d'une solution de ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 1%. L'ensemble est incubé au bain-marie à 50°C pendant 20 min ensuite, 250 μl d'acide trichloracétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction. Un aliquote 250 μl de surnageant est combinée avec 1ml d'eau distillée et 100 μl d'une solution aqueuse de FeCl_3 (Chlorure ferrique). La lecture de l'absorbance est faite à 700 nm après 10 min d'incubation). Le contrôle positif est représenté par un standard d'un antioxydant. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Singleton et Rossi, 1965**).

I.7. Analyse statistiques

Toutes les données obtenues représentent la moyenne de 3 essais. Les valeurs moyennes sont comparées en utilisant le test ppds (plus petites différence significative) de Fisher au seuil d'erreur 5%. Enfin, l'analyse de corrélation de Pearson est réalisée sur les paramètres étudiés. Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide d'un logiciel Infostat®.

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

II.1. Taux d'humidité

La détermination du taux d'humidité des feuilles de menthe est très importante pour prévoir le rendement après séchage. En effet, le taux d'humidité conditionne les paramètres de conservation de menthe pour éviter d'éventuelles pertes économiques et nutritionnelles causées par des altérations microbiennes et/ou des activités enzymatiques des poudres conservées. Le taux d'humidité des feuilles de menthe est de $87,23 \pm 2\%$ (**Figure 2**).

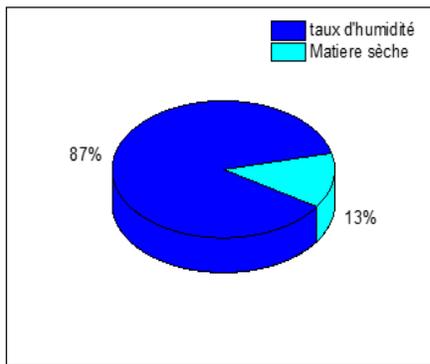


Figure 2 : taux d'humidité de la menthe

II.2. Cinétique de séchage

Les résultats du séchage des feuilles de menthe au four microondes à différentes puissance d'irradiation sont rapportés dans le **Tableau II** et la **Figure 3**.

La cinétique de séchage montre que la perte de masse de la menthe est en fonction de la puissance de séchage. On remarque que le temps le plus long de ce dernier, 75 secondes, est attribué pour la puissance de 100W ; tandis que le temps de séchage les plus court est attribué pour la puissance 900w avec une durée de 35 seconde. Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel aux performances du séchage, autrement dit, plus la puissance est élevée, plus le temps de séchage est court. Par conséquent, la puissance des micro-ondes a une grande influence sur le taux de séchage des feuilles de menthes. Les résultats obtenu sont en concordances avec ceux rapporté par **Hihat, Amzali Sedda et al., 2017**. Selon **Jean-Jacques et al. (2003)**, la stabilité du poids peut être expliquée par le faite que la température de la surface atteint celle de l'air de séchage car la force de migration de

l'eau de l'intérieur vers la surface est insuffisante. Par ailleurs, la stabilité du poids pourrait s'expliquer aussi par l'épuisement de de l'eau libre dans l'échantillon.

Tableau II : le temps de séchage des feuilles de menthe.

Puissances de séchage (w)	Temps de stabilisation de poids (sec)
100	75
300	60
500	50
700	40
900	35

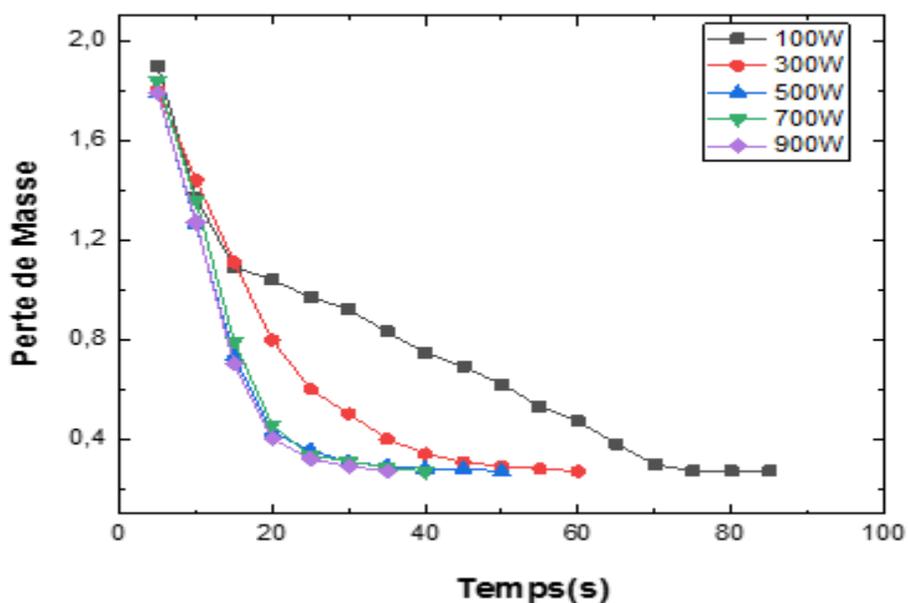


Figure 3 : L'évolution de la perte de masse à différentes puissances de séchage de micro-onde en fonction de différents temps.

II.3. Dosage des antioxydants

II.3.1. Polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des feuilles de menthe a été évaluée par la méthode utilisant le réactif de Folin. Bien que cette méthode est facile et rapide, elle n'est pas spécifique vue qu'elle donne aussi des résultats positifs avec des sucre réducteurs. Cependant, elle reste la méthode la plus utilisée pour déterminer la concentration en polyphénols totaux.

Les résultats obtenus pour les polyphénols totaux, exprimés en grammes équivalents d'acide gallique (EAG) par 100 gramme de poudre, sont présentés dans la **Figure 4**.

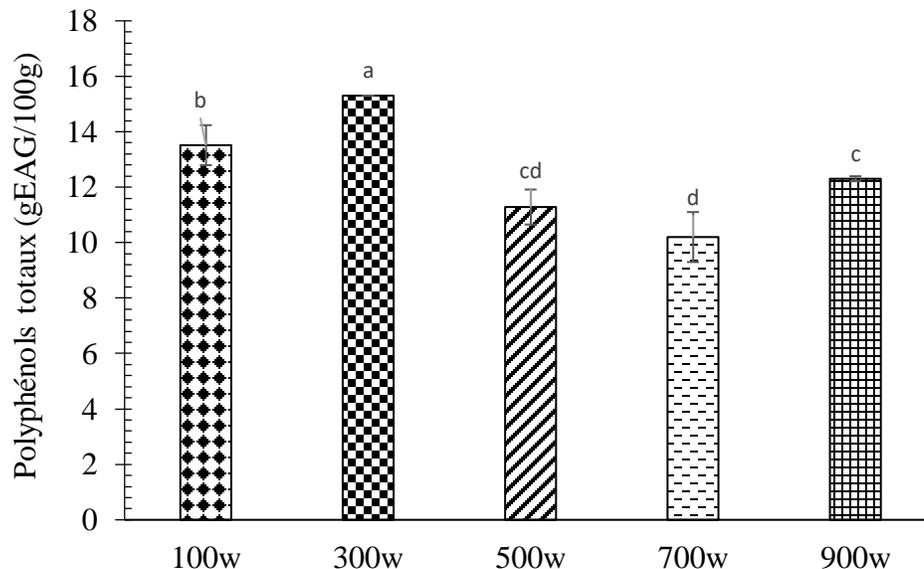


Figure 4 : Teneur en polyphénols totaux des extraits de menthe séchée par micro-ondes

D'après l'histogramme illustré dans la **Figure 4**, il paraît clairement que la teneur en polyphénols totaux varie entre 10,20 et 15,30gEAG/100g. En outre, le teneur en polyphénols totaux augmente significativement avec l'augmentation de la puissance jusqu'à 300W, puis diminue jusqu'à la puissance 700W et enfin augmente jusqu'à la puissance 900W.

L'analyse statistique a révélé qu'il existe des différences significatives entre la teneur en polyphénols totaux des échantillons séchés à 100, 300, 700 et 900W ($p < 0,05$) ; tandis que, la teneur en polyphénols totaux des échantillons séchés à 500W n'exhibe aucune différence significative avec celles obtenues dans les échantillons séchés à 700 et 900W.

En se basant sur la littérature, les fluctuations de la teneur en polyphénols totaux des échantillons séchés à différentes puissances peuvent être expliquées par l'effet du couple puissance/temps de séchage. Le séchage prolongé à faible puissance (100W) ou le séchage rapide à forte puissance (500 et 700) a engendré la détérioration de ces composés. Par contre L'augmentation de la teneur à 900W est peut être due à l'hydrolyse des composés phénoliques complexes tels que les tannins et les lignines sous l'effet de l'élévation de la température

durant le séchage, menant à une libération de composés plus simples, mais plus nombreux (Al-Farisi M., Alasavar C et al., 2005).

II.3.2. Flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes, ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, Orange, et rouge des différents organes végétaux. (Ghedira et goetz 2015).

Les résultats de dosage des flavonoïdes totaux, exprimés en grammes équivalents de quercitine (EQ) par 100 gramme de poudre, des échantillons séchés sont présents dans la **Figure 5**.

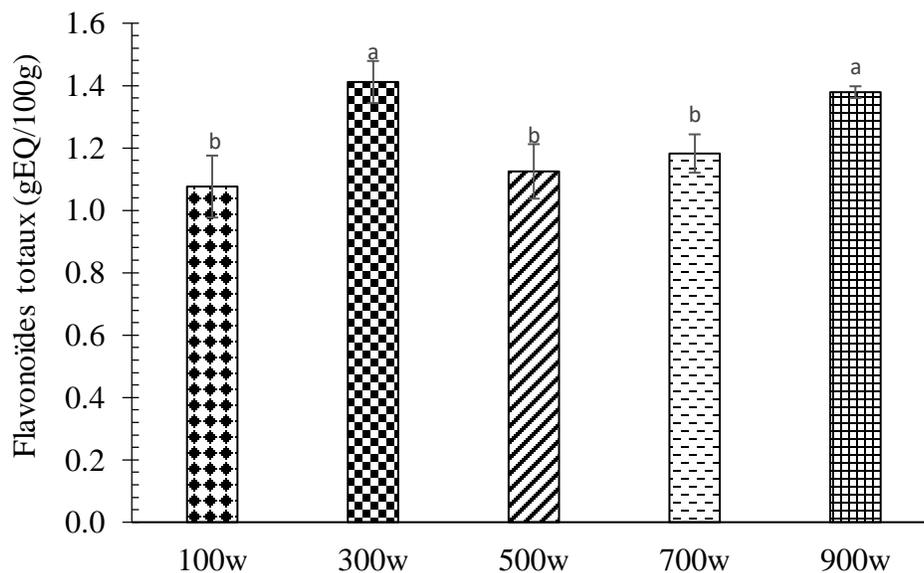


Figure 5 : Teneur en flavonoïdes totaux des extraits de menthe séchée par micro-ondes.

D'après la **Figure 5**, la teneur en flavonoïdes totaux des échantillons varie entre 1,08 et 1,41gEQ/100g. En outre, le teneur en flavonoïdes totaux augmente significativement avec l'augmentation de la puissance jusqu'à 300W, puis diminue avec l'augmentation de la puissance jusqu'à 700W, et enfin augmente à la puissance 900W.

L'analyse statistique a révélé l'absence de différences significatives entre la teneur en flavonoïdes totaux des échantillons séchés à 100, 500 et 700W, ainsi que 300 et 900W ($p < 0,05$).

Comme pour les polyphénols totaux, les fluctuations de la teneur en flavonoïdes totaux des échantillons séchés à différentes puissances peuvent être expliquées aussi par l'effet du couple puissance/temps de séchage ; or, le séchage rapide à forte puissance (500, 700W) ainsi que le séchage prolongé à faible puissance (100W) a engendré la détérioration de ces composés. Par contre l'augmentation de la teneur en flavonoïdes totaux des échantillons séchés à 900W corrobore les résultats obtenus pour le dosage des polyphénols totaux.

II.4. Evaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits hydro-alcooliques des feuilles de menthes séchées au four à micro-ondes à différentes puissances est évaluée par les tests de l'activité antiradicalaire (DPPH) et du pouvoir réducteur (FRAP).

II.4.1. Activité anti radicalaire

Les résultats de l'activité anti-radicalaire des feuilles de menthe séchées à différentes puissances, exprimés en milligrammes équivalent d'acide gallique (EAG) par 100 grammes de poudre, sont présentés dans la **Figure 6**.

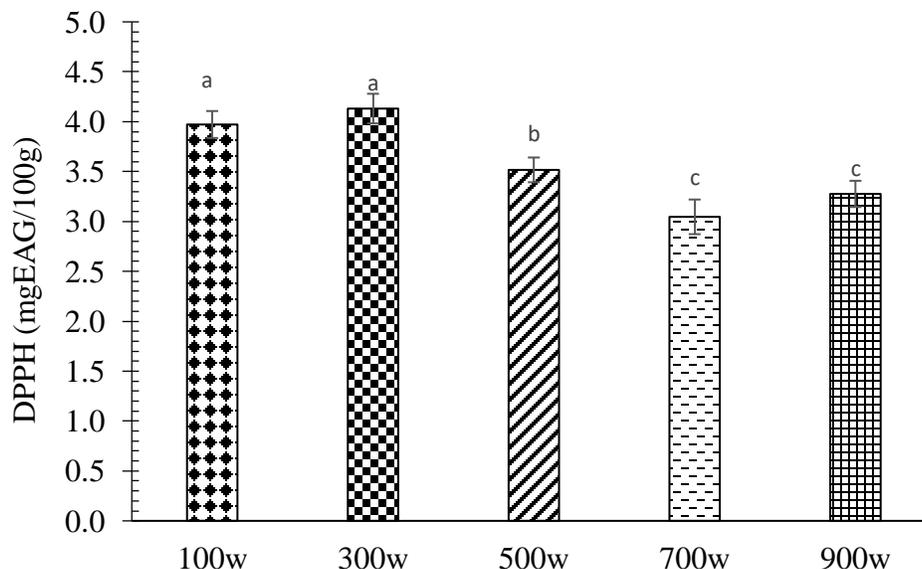


Figure 6 : Teneur du pouvoir anti-radicalaire des feuilles de menthe séchée par microondes

D'après la **Figure 6**, les résultats de l'activité anti-radicalaire obtenus varient de 3,05 à 4,13mgEAG/100g. En effet, la meilleure activité est attribuée aux échantillons séchés à 300 et

100W, suivi des échantillons séchés à 500, 900 et 700W ; en revanche, les échantillons séchés à 700 W ont enregistré l'activité la plus faible. Cela est dû probablement à la détérioration des composés phénoliques.

II.4.2. Pouvoir réducteur

L'activité antioxydante peut être estimée en mesurant le pouvoir réducteur, qui est la capacité de donation d'électrons dans une réaction d'oxydoréduction. la diminution de FeCl^{3+} est utilisée comme indicateur de la capacité à donner des électrons, qui est un mécanisme d'action important des polyphénols et peut être fortement associée à d'autres propriétés antioxydantes (Dorman H.J.D., Peltoketo et al, 2003). Cette réduction provoque le changement de couleur, il y a virage de la couleur jaune du ferricyanure de potassium au bleu vert dont l'intensité dépend du pouvoir réducteur de l'extrait (Ozsoy., 2008).

Les résultats du pouvoir réducteur des feuilles de menthes, exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique (GAE) par 100 grammes de poudre, sont présentés dans la **Figure 7**.

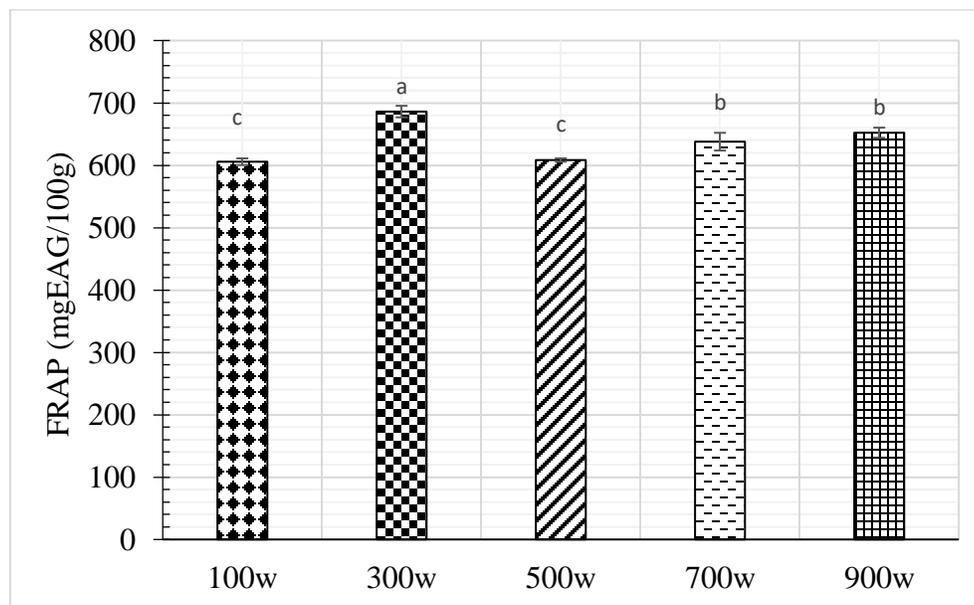


Figure 7 : Teneur du pouvoir réducteur des feuilles de menthe séchée par micro-ondes

Le pouvoir réducteur des feuilles de menthes varie entre 589,58 et 686,05 mgEAG/100g. Cela peut s'expliquer par la présence de composés donneurs d'électrons qui provoquent la réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} . La valeur la plus élevée est obtenue dans les feuilles séchées à 300W, suivi des échantillons séchés à 700 et 900W.

L'analyse statistique a révélé des activités similaires entre les feuilles de mentes séché à 100 et 500W, et entre les échantillons séchés à 700 et 900W. Cependant, il existe une différence significative entre l'activité obtenu par les échantillons séchés à 300W avec les autres échantillons séchés à différentes puissances ($p < 0,05$).

Conclusion

Cette recherche a pour objectif d'apporter une modeste contribution concernant le l'effet du séchage non conventionnel des feuilles de menthes du point de vue qualité nutritive.

Le suivi de la cinétique de séchage au four à micro-ondes a montré une importante perte de masse des échantillons en fonction du temps et de la puissance de séchage.

Par ailleurs, cette étude a permis aussi de démontrer l'influence du couple puissance/temps de séchage sur le potentiel antioxydant. En effet, 300W est la puissance qui nécessite la plus courte durée de séchage préservant d'avantage le potentiel antioxydant des feuilles de menthes vu que les meilleurs résultats (dosage des antioxydants et l'évaluation de la capacité antioxydante, ont été obtenus par les échantillons séchés à 300W. Enfin, cette étude nous a permis aussi de mieux comprendre les effets du séchage par micro-ondes et son impact sur la composition phytochimique des feuilles de menthes.

Comme perspectives, il serait très intéressant :

- d'étudier l'effet du prétraitement (ultrasons) ;
- de comparer entre les différentes méthodes de séchage.

Références bibliographiques

-A-

Al-Farisi M., Alasavar C., Morris A, Baron M. & Shahidi F., 2005 : Comparison of antioxidant activity, Anthocyanins, Crotonoids, and Phenolics of Three Native Fresh and Sun-Dried Date (Phoenix Dactylifera L.) Varieties Grown In Oman. Journal of Agricultural Food Chemistry.53,7592-7599.

-B-

Blade S., 2008: Coriander. Alberta Agriculture and Rural Development. Agdex 147, 20- 2

Bonazzi et Bimbenet, 2003: séchage des produits alimentaires.principe, technique de l'ingénieur F3000,vol agroalimentaire.

Brand-Williams W., Cuvelier M. & Berset C., 1995 : Use of free radical méthode to evaluate antioxidant activity, LWT-Food Science and Technology, 28, 25-30

-D-

Djerroud .D, Thèse de doctorat, Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation, Université de Toulouse, (2010)

Dorman H.J.D., Peltoketo A., Hiltunen R. & Tikkanen M.J.2003: Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs.Food chemistry. 83 :255-262. DOI : 10-1016/S0308-8146(03) 00088-8.

Dupont, 2012 : les familles des plantes, Elsevier Masson, Issy-les Moulineaux.

-G-

Ghedira K & Goetz P., 2015 : Coriandrum sativum L. (Apiaceae) : Coriandre. Lavoisier SAS 2015.Phytothérapie (2015) 13:130-134.

-H-

Hubert A. J., 2006 : Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de Soja. Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé

humaine. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, école doctoral des sciences écologiques, vétérinaires, agronomiques et bioingénieries, spécialité : qualité et sécurité des aliments, 174.

Huang H., Li T., Tian S., Gupta D.K., Zhang X. & Yang X., 2008: Role of EDTA in alleviating lead toxicity in accumulator species of *Sedum alfredii* H. *Bioresource Technology* 99 :6088-6096.

Hihat, Amzali Sedda Shakhraoui Amira, 2017 : Effet du séchage par méthode non conventionnel (micro-onde) sur le potentiel antioxydant des feuilles de coriandre (*Coriandrum sativum*. L)

.-J-

Jean-Jacques B., Catherine B., (2003). Séchage des produits alimentaires Principes Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires du génie industriel alimentaire, base documentaire : TIB430DUO (ref. article : f3000).

-K-

Kandlakunta B., Rajendran A. & Thingnganing L., 2008: Carotene content of some common (cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional sources of plant origin *Food Chemistry*, 106, pp. 85-89

Khenouf S., Iratni N., Baghiani A., Harzallah D. & Arrar L., 2010: Antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Artemisia herba alba* Asso, Leaves and some phenolic compound. *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 4(13), 1273-280.

-L-

Lalas S., Athanasiadis V., Gortzi O., Bounitsi M., Giovanoudis I., Tsaknis J. & Bogiatzis F., 2011: Enrichment of table olives with polyphenols extracted from olive leave. *Food Technology*, 27: 442-449.

Li, 2000: Design of a microcontroller-based, power control system for microwave drying, McGill University.

-M-

Mayor and Sereno, Modelling Shrinkage during convective drying of food materials: a review, *Journal of Food Engineering* 61 (2004) 373-386.

Mansouri A., Embarek G., Kokkalou E. & Kefalas P., 2005: Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89: 411–420

Mathias M.E., 1994: « Magic , myth and medicine » , *Econ .Bot* ;48 :3-7

MAHBOUB, N., N. SLIMANI, and A. KHELIL. "EFFET DES DIFFERENTS MODES DE SECHAGE SUR LE CONTENU PHENOLIQUE ET BIOLOGIQUE D'UNE PLANTE SPONTANEE A CARACTERE MEDICINALE DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGERIEN." *Revue des bio ressources* 12.1 (2022): 36-51.

-O-

Oyaizu M., 1986: Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307–315.

Ozsoy, N., Can, A., Yanardag, R., & Akev, N. (2008). Antioxidant activity of *Smilax excelsa* L. leaf extracts. *Food chemistry*, 110(3), 571-583.

-R-

Ribereau-Gayon P. P., 1968 : Incidences oenologiques de la pourriture du raisin1. *EPPO Bulletin*, 12(2): 201-214.

17-S-

Singleton V. L. & Rossi J. A., 1965 : Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic*, 16(3), 144-158. Soysal Y., 2004 : Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167–3

-V-

Verdier N-A, Sadat A-W, Clément D-A, Emmanuel N-A et Georges N-A. (2016). Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao* L.). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 12(4): 402-406

-U

USDA 2013: National Nutrient Database for Standard Reference Release 26 Full Report (All Nutrients) Nutrient data for 2013, Spices, coriander seed.

Annexes

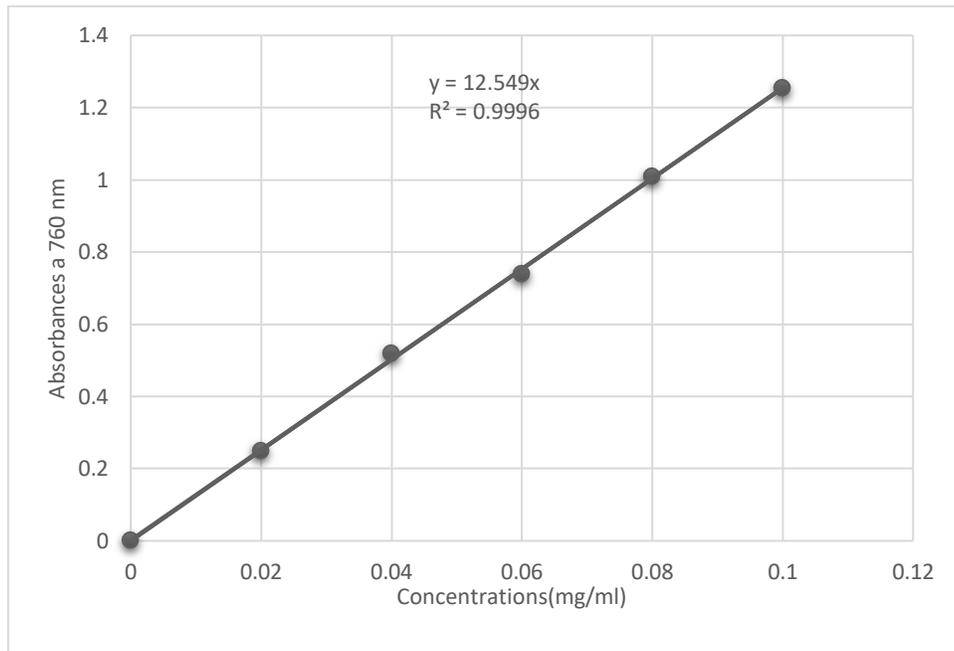


Figure : courbe d'étalonnage acide gallique

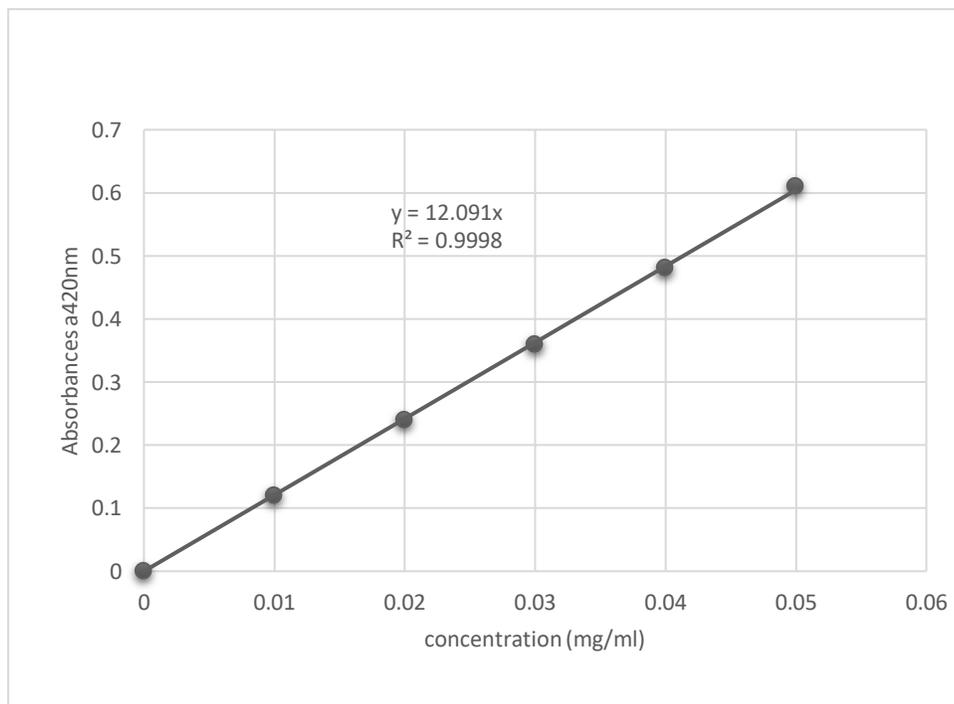


Figure : courbe d'étalonnage quercétine

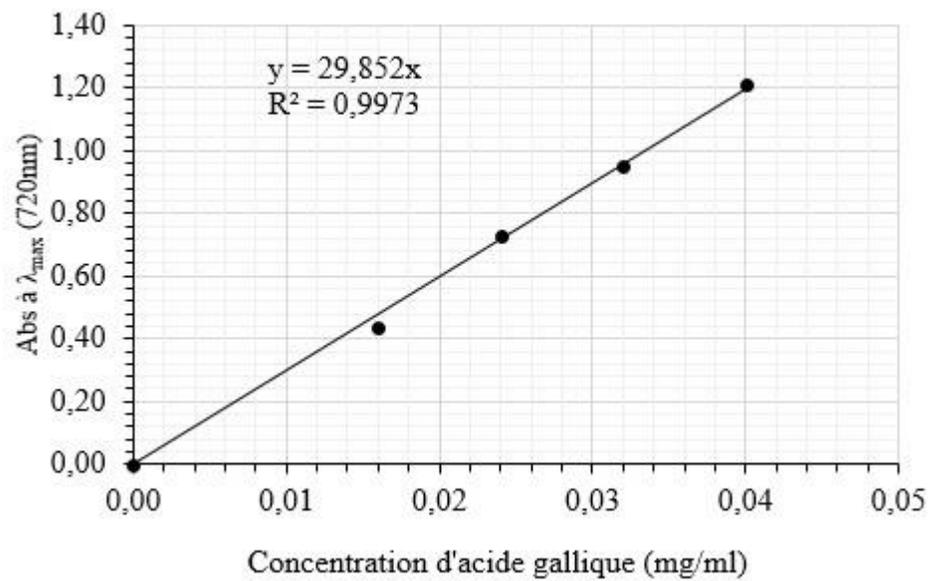


Figure : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur

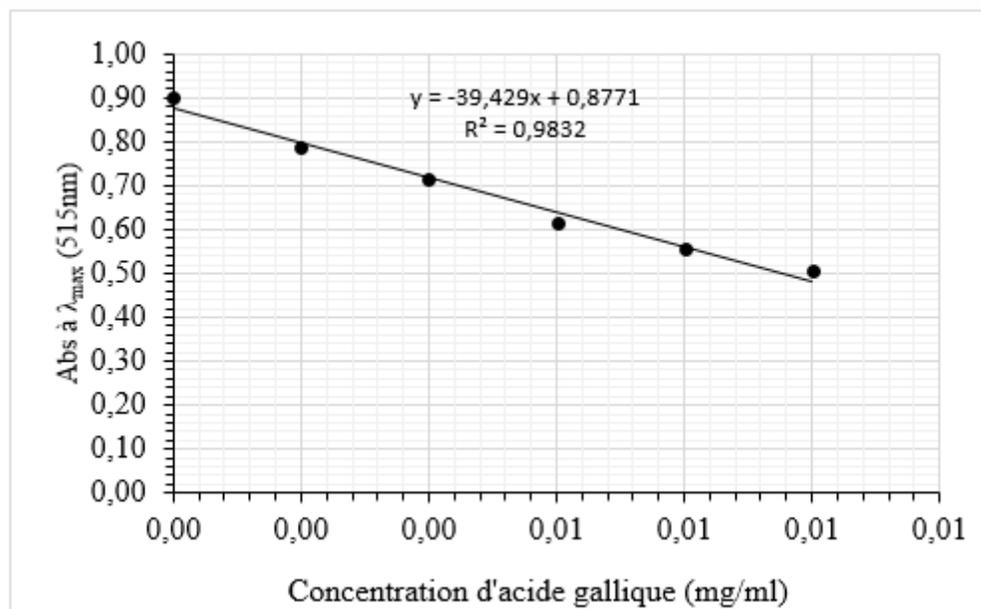


Figure : Courbe d'étalonnage de l'activité anti-radicalaire DPPH

Résumé

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus traditionnelles de conservation des herbes et des légumes. Le but de cette étude était d'étudier l'effet du séchage par micro-ondes sur la qualité et la valeur nutritive de la menthe. Le séchage a été effectué à différents niveaux de puissance (100, 300, 500, 700, 900 W) du four à micro-ondes. La vitesse de séchage a été effectuée en fonction de la perte de masse au cours du temps. La composition physico-chimique et l'activité antioxydante de différents extraits ont été analysées. L'évaluation quantitative des polyphénols totaux indique un rendement optimal de (15300.02 mg EAG /100 g). D'autre part, le dosage des flavonoïdes indique que le niveau optimal de flavonoïdes est de (1411.52 mg EQQ/100g), et l'activité anti-radicalaire DPPH, l'activité la plus élevée est (4130,97mgEAG/100g) obtenu à 300 W. le pouvoir réducteur la teneur la plus élevée est (686,05mgEAG/100g) a la puissance de 300W. Ce dernier est la puissance qui peut mieux préserver la valeur nutritionnelle de la menthe, et le séchage au four à micro-ondes peut raccourcir le temps de séchage.

Mots-Clés : menthe, cinétique, séchage, activité antioxydante, micro-ondes

Abstract

Drying is one of the oldest and most traditional methods of preserving herbs and vegetables. The aim of this study was to investigate the effect of microwave drying on the quality and nutritional value of mint. Drying was carried out at different power levels (100, 300, 500, 700, 900 W) of the microwave oven. The rate of drying was performed as a function of mass loss over time. The physico-chemical composition and antioxidant activity of different extracts were analyzed. The quantitative evaluation of the total polyphenols indicates an optimal yield of (15300.02 mg EAG/100 g). On the other hand, the flavonoid assay indicates that the optimal level of flavonoids is (1411.52mg EqQ/100g), and the DPPH anti-radical activity, the highest activity is (4130.97mgEAG/100g) obtained at 300W. regarding the reducing power the highest grade is (686.05mgEAG/100g) has the power of 300W. The latter is the power that can better preserve the nutritional value of mint, and micro oven drying - waves can shorten the drying time.

Keywords: mint, kinetics, drying, antioxidant activity, microwave

الملخص

يعتبر التجفيف من أقدم الطرق التقليدية في حفظ الأعشاب والخضروات. الهدف من هذه الدراسة هو معرفة تأثير التجفيف بالميكروويف على جودة النعناع وقيمته الغذائية. لذلك قمنا باللجوء الى إجراء التجفيف بمستويات طاقة مختلفة (100، 300، 500، 700، 900 وات) باستعمال فرن الميكروويف. تمت هذه العملية (التجفيف) باعتبار ان الخضر والفواكه عند تعريضها لعملية التجفيف تتعرض لخسارة الكتلة بمرور الوقت. تم تحليل التركيب الفيزيائي الكيميائي وكذلك النشاط المضاد للأكسدة للعينات المختلفة. أشار التقييم

الكمي لمجموع البوليفينول إلى ان العائد الأمثل هو) 15300.02مغ EAG / 100 غ. (كما يشير اختبار الفلافونويد إلى أن المستوى الأمثل للفلافونويد هو) 1411.52 مغ EqQ / 100 غ. كما أن النشاط المضاد للجذور يشير على ان أعلى نشاط يتم الحصول عليه هو (4130,97م. على درجة 300 واط. اذن هي القوة التي يمكن أن تحافظ بشكل أفضل على القيمة الغذائية للخضر والفواكه عند تعريضها للتجفيف في فرن الميكروويف كما ذكرنا سابق

الكلمات المفتاحية: حركية ، النعناع، تجفيف ، نشاط مضاد للأكسدة ، أفران ميكروويف