



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 بوعريش
Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A.



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

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème

**Effet du séchage par méthode non conventionnel (micro-onde)
sur le potentiel antioxydant des feuilles de coriandre
(*Coriandrum sativum. L*)**

Présenté par :

M^{elle}. Amzali Sedda

M^{elle}. Shakhraoui Amira

Devant le jury :

Présidente : M^{me} BENRADIA. H

MCB (Université de Bordj Bou Arreridj)

Promotrice : M^{me} HIHAT. S

MAB (Université de Bordj Bou Arreridj)

Examinatrice : M^{me} MOHAMMEDI. S

MAA (Université de Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Au terme de notre travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères et les plus profonds, tout d'abord à Dieu le tout puissant de nous avoir accordé patience, courage et volonté afin de réaliser et de mener à terme ce modeste travail.

*Nous remercions chaleureusement notre promotrice **M^{me} Hihat. S** pour son aide précieuse et ses conseils éclairés dans la direction de notre travail, ainsi que pour sa grande disponibilité et son immense gentillesse.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à **Mr. Benyoucef** et **Mr. Laïb Djamel el Eddine** pour leur aide, encouragements, leur précieux conseils et orientation.*

*A **Mr. Rebaï** Ingénieur de laboratoire de (phytopathologie) pour son aide et ses précieux conseils et sa patience avec nous.*

*Nous remercions **M^{me} Mohammedi. S** et **M^{me} Benradia. H**, les membres de jury avec nos profondes gratitude de l'intérêt qu'elles ont portées à ce travail et d'avoir acceptées de le juger.*

A tous les membres de nos familles avec l'expression sincère de nos sentiments de leur soutien et leur encouragement permanents.

A tous les esprits ouverts qui ont contribué, de loin ou de près, à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ceux qui m'ont donné sans rien en retour

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenue dans les moments
les plus difficiles.*

*A vous mes chers parents, le plus beau cadeau que Dieu
puisse faire à un enfant, pour leur amour, soutien et
encouragement et leur support continu, je leurs serai
éternellement reconnaissant.*

A mon cher frère : Mouloud

A mes adorables sœurs : Nadjet, Nora et Souhila

*A mon futur mari : Merzouk qui m'a beaucoup encouragé,
aidé et soutenus durant les moments difficiles.*

A mon binôme et toute sa famille.

*A toute la promotion qualité des produits et sécurité
alimentaire 2017/2018.*

Sedda

Dédicaces

Au nom du Dieu le tout puissant

A ceux qui m'ont donné sans rien en retour

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenue dans mes moments
les plus difficiles*

Et ceux à qui je dois tant

*A mes chers parents pour leur amour et leur support
continu*

*Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma
profonde*

Reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.

*A mon fiancé : Yasser, qui est toujours été présents dans les
moments importants de ma vie.*

*A Mes adorables sœurs : Khadîdja, Kaouthar, Rania et leur
enfants*

Mon binôme et toute sa famille

A tous mes proches.

Amira

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
I. Coriandre	2
I.1. Généralités.....	2
I.2. Classification et systématique	2
I.3. Botanique	3
I.4. Origine et aspects historiques.....	3
I.5. Composition nutritionnelles et phytochimiques.....	3
I.6. Antioxydants de la coriandre.....	4
I.6.1. Les polyphénols.....	5
I.6.2. Les flavonoïdes	5
I.6.3. Les tannins.....	5
I.7. Effets thérapeutiques	5
II. Séchage	6
II.1. Le séchage conventionnel	6
II.1.1. Séchage à l'aire libre.....	6
II.1.2. Séchage à l'étuve	6
II.2. Séchage non conventionnel (micro-ondes).....	7
III. Matériel et méthodes.....	11
III.1. Matériel végétal	11
III.2. Matérielle de laboratoire et réactifs (voire annexes).....	11
III.3. Evaluation de taux d'humidité.....	11
III.4. Séchage	11
III.5. Broyage et tamisage.....	11
III.6. Préparation des extraits acétoniques.....	12
III.7. Dosage des substances antioxydantes.....	12
III.7.1. Polyphénols totaux	12
III.7.2. Flavonoïdes totaux.....	12
III.8. Evaluation de l'activité antioxydante	13
III.8.1. Activité anti-radical DPPH.....	13
III.8.2. Pouvoir réducteur	14

IV. Résultats et discussion.....	15
IV.1. Taux d'humidité	15
IV.2. Cinétique de séchage par micro-onde	16
IV.3. Dosage des antioxydants	17
IV.3.1. Polyphénols totaux	17
IV.3.2. Flavonoïdes totaux	19
IV.4. Evaluation de l'activité antioxydante	20
IV.4.1. Activité antiradicalaire DPPH :	20
IV.4.2. Le pouvoir réducteur	21
Conclusion.....	23
<i>Références bibliographiques.....</i>	<i>25</i>
<i>Annexes.....</i>	<i>26</i>
Annexe 01 : Matériels utilisés	31
Annexe 02 : Cinétiques de séchages.....	34
Annexe 03 : Courbe d'étalonnages.....	36

Liste des figures

Figure 1: Le spectre électromagnétique	7
Figure 2: Frissonnement des dipôles soumis à une irradiation micro-ondes.....	9
Figure 3: Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage	10
Figure 4 : Représentation du taux d'humidité de la coriandre.	15
Figure 05: L'évolution de la perte de masse en fonction de couple temps-puissance du séchage au microonde.....	16
Figure 6 : Teneur en polyphénols totaux des extraits de coriandre séchée par microondes et air libre.....	18
Figure 7 : Teneur en flavonoïdes totaux des extraits de coriandre séchées par microondes et air libre.....	19
Figure 8: Activité anti-radical DPPH des différents extraits de coriandre séchées par microonde et air libre.....	20
Figure 9 : Le pouvoir réducteur des différents extraits de coriandres séchées par microonde et air libre.....	21

Liste des tableaux

Tableau I: Composition des feuilles et des graines de la coriandre	4
Tableau II : l'activité de l'eau des poudres de la coriandre séchées.....	16

Liste des abréviations

Aw : l'activité de l'eau

Abs : Absorbance

EAG : Equivalent acide gallique

Eq Q : Equivalent quercétine

MS : Matière sèche

MHZ : Méga hertz

PPT : Polyphénols totaux

UV : Ultra-violet

Introduction

Introduction

La coriandre est une plante aromatique très connue dans toutes les cuisines du monde (**Blade, 2008**). L'avantage avec la coriandre est qu'elle est comestible des feuilles à la racine. Certains l'appellent aussi punaise mâle car elle dégage une odeur comme l'insecte (**Bell, 1971**). En plus d'être une excellente épice, Elle regorge d'actifs antioxydants ainsi que de la vitamine K nécessaire à la coagulation. Une protection contre le cancer (**Chithra et Leelamma, 2000**). Elle serait probablement liée à l'activité antioxydante de la coriandre. Il semblerait qu'elle protège contre la dégradation de l'ADN qui peut donner lieu à des cancers (**Chithra et Leelamma, 2000 ; Tang et al., 2013**), et plusieurs autres effets thérapeutiques.

Bien que la technique de séchage conventionnel (air libre) est naturel mais les techniques non conventionnel (micro-ondes et étuve) sont devenu très populaire ces dernières années car ils semblent très prometteurs, on fournissant une énergie uniforme et une conductivité thermique élevée vers les surfaces internes de matériaux, économies d'énergie et empêche toute dégradation thermique, par conséquent, avoir des produits finis de haute qualité.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui consiste à étudier l'impact du séchage par microonde sur la qualité des substances bioactives de la coriandre et valider cette technique. Les résultats ont été comparés avec le séchage à l'air libre.

Cette étude est réalisée à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi (B.B.A) au laboratoire multi fonction, phytopathologie et Biochimie, Afin de mieux situer le contexte dans lequel s'inscrit ce modeste travail, une revue de littérature est présentée sur le la coriandre

En vue de cerner cet objectif, plusieurs opérations ont été effectuées : cinétiques de séchage et caractérisation de la poudre de la coriandre, suivi des paramètres physicochimiques et dosage des antioxydants des extraits acétoniques de la coriandre.

Partie bibliographique

Chapitre I : Coriandre

I. Coriandre

I.1. Généralités

La coriandre ou *Coriandrum sativum* L. est une plante aromatique, annuelle et herbacée, appartenant à la famille des Apiacées. Son nom est dérivé du grec Koris, signifiant punaise à cause de l'odeur désagréable et fétide de l'herbe verte et des fruits non mûrs. La coriandre verte (également appelée coriandre ou persil chinois, mexicain ou japonais) est considérée comme la plus utilisée au monde en raison de son utilisation à travers le Moyen-Orient dans toute l'Asie du sud ainsi que dans la plupart des régions d'Amérique latine. Il est originaire du sud de l'Europe et de la région occidentale de la Méditerranée. Cette herbe largement utilisée est cultivée dans le monde entier. Elle est dotée de petites fleurs blanches, roses ou lavandes, de feuilles vertes et dentelées, de graines et enfin de fruits (**Ghedira et Goetz, 2015**).

En cuisine, ses graines sont utilisées pour épicer les plats tandis que ses feuilles en tant qu'herbe aromatique. Les goûts ne se ressemblent pas tout à fait et il en est de même pour les vertus de la plante. Pour ce qui est des feuilles, on s'en sert en condiments surtout pour les soupes. (**Zohary et Hopf, 2000**).

La plante se retrouve également en phytothérapie avec son huile essentielle qui soigne notamment les troubles de l'appareil digestif ainsi que les maux de l'articulation, principalement le rhumatisme. Elle traite par ailleurs les infections dues aux bactéries et aux virus qui attaquent l'appareil respiratoire et elle est utilisée aussi pour soigner les infections urinaires et les problèmes d'asthénie et d'insomnie (**Sahib et al., 2012**).

I.2. Classification et systématique

Règne : Plantae

Superdivision : Embryophyta

Division : Tracheophyta

Subdivision : Spermatophytina

Classe : Magnoliopsida

Superordre : Asteranae

Ordre : Apiales

Famille : Apiaceae

Genre : *Coriandrum* L.

Espèce : *Coriandrum sativum* L.

I.3. Botanique

La Coriandre est une plante herbacée annuelle élancée, ramifiée, mesurant généralement en floraison de 30 à 60 cm (**Blade, 2008**) mais pouvant atteindre 1,40 m de hauteur (**Diederichsen, 1996**), à tiges grêles portant des feuilles glabres, luisantes, divisées en segments ovales, cunéiformes, dentées pour les feuilles inférieures et bi- ou tripennatiséquées pour les feuilles supérieures (**Wichtl et Anton, 2003 ; Blade, 2008 ; Bruneton, 2009 ; Ghedira et Goetz, 2015**). C'est une Apiaceae (Ombellifères) typique, caractérisée par des involucelles et des fleurs, de petite taille, blanches, disposées en ombelles composées de 3 à 8 rayons et qui sont de type 5. Les pétales échancrés et orientés vers l'extérieur sont souvent plus grands (**Ghedira et Goetz, 2015**).

Le feuillage et la tige sont vert ou vert clair tirant parfois sur le rouge ou le violet pendant la floraison (notamment les faces inférieures des feuilles). L'inflorescence, blanche ou rose-mauve très pâle, est typique des Apiacées (Ombellifères) (**Blade, 2008 ; Ghedira et Goetz, 2015**): petites fleurs pentamères disposées en ombelles composées. L'odeur de la plante est souvent décrite comme fétide, (**Coste, 1937**), surtout en floraison ou début de fructification.

I.4. Origine et aspects historiques

L'origine de la coriandre est incertaine. Elle pousse à l'état sauvage dans une vaste zone au Proche-Orient et dans le Sud de l'Europe. Le plus ancien témoignage de l'utilisation des fruits est un papyrus daté de 1550 av. J.-C. listant des plantes médicinales (**Diederichsen, 1996**). Environ un demi-litre de méricarpes ont été retrouvés dans le tombeau de Toutankhamon, et leur présence est courante dans d'autres sépultures de l'Égypte antique à cette époque. La coriandre n'existant pas à l'état sauvage en Égypte, **Zohary et Hopf., (2000)** interprètent cette découverte comme une preuve que la coriandre était cultivée. La coriandre semble avoir été cultivée dans la Grèce antique au moins depuis le II^{ème} millénaire av. J.-C. Une des tablettes retrouvées à Pylos fait référence à la coriandre comme étant cultivée pour la fabrication de parfums, et elle aurait été utilisée sous forme d'épice pour ses graines, et sous forme de saveur pour ses feuilles (**Chadwick, 1976 ; Blade, 2008**).

I.5. Composition nutritionnelles et phytochimiques

La coriandre possède une valeur nutritionnelle très importante et contient de nombreux nutriments et minéraux (**Tableau I**).

Tableau I: Composition des feuilles et des graines de la coriandre (USDA, 2013).

Nutriments (g/100g)	Feuille	Graine
Eau (g)	7,30	8,86
Energie (kcal)	279,00	298,00
Protéine (g)	21,93	12,37
Matières grasses (g)	4,78	17,77
Fibre (g)	10,40	41,90
Calcium (mg)	1246,00	709,00
Fer (mg)	42,46	16,32
Magnésium (mg)	694,00	330,00
Phosphores (mg)	481,00	409,00
Potassium (mg)	4466,00	1267,00
Sodium (mg)	211,00	35,00
Zinc (mg)	4,72	4,70
Acide ascorbique (mg)	566,70	21,00
Thiamine (mg)	1,25	0,24
Riboflavine (mg)	1,50	0,29
Niacine (mg)	10,71	2,13
Vitamine B12 (µg)	0,00	0,00
Vitamine A, (µg)	293,00	0,00
Vitamine D (D2 + D3) (µg)	0,00	0,00
Acides gras totaux saturés (g)	0,12	0,99
Acides gras totaux mono-insaturés (g)	2,23	13,58
Acides gras, totaux polyinsaturés (g)	0,33	1,75
Cholestérol (mg)	0,00	0,00

I.6. Antioxydants de la coriandre

La coriandre contient plusieurs composés antioxydants (**Bajpai *et al.*, 2005 ; Wangenstein *et al.*, 2004**), principalement des acides phénoliques, mais aussi des terpénoïdes, des coumarines, des flavonoïdes (dans les fruits), et des caroténoïdes dans les feuilles.

I.6.1. Les polyphénols

Les polyphénols sont des molécules aromatiques synthétisées par les végétaux et qui appartiennent à leur métabolisme secondaire. Ils participent à la défense des plantes contre les agressions environnementales, responsables des teintes automnales des feuilles et des couleurs des fleurs et fruits. Ils sont associés à de nombreux processus physiologiques tels que la croissance cellulaire, différenciation, organogénèse, dormance des bourgeons, floraison, tubérisation, etc (UNUP 1986). Ces composés jouent aussi un rôle important dans la qualité alimentaire des fruits et déterminent aussi leurs saveurs (Dryune *et al.*, 1999).

I.6.2. Les flavonoïdes

Ont des couleurs allant du jaune clair au jaune or. Selon les détails structuraux de leur squelette de base en C15, les flavonoïdes se divisent en 6 groupes : flavones, flavonols, flavonones, isoflavones, chalcones, aurones. Ces composés existent sous forme libre ou sous forme d'hétérosides (Heller, 1993).

I.6.3. Les tannins

Sont des macromolécules se divisant selon leur structure en deux groupes principaux. Le premier groupe étant les tannins condensés (proanthocyanidines) qui sont des composés phénoliques hétérogènes. Ils se trouvent sous forme d'oligomères ou polymères de flavanes, flavan-3-ols, 5 desoxy 3- flavonols et flavan-3,4-diols. Les polymères ont une structure hérissée d'OH phénoliques, capables de former des liaisons stables avec les protéines. Quant au deuxième groupe, tannins hydrolysables, sont des esters d'acide gallique qui se lient aux molécules de glucose (Wawizyniak, 1999,2000).

I.7. Effets thérapeutiques

La coriandre a de nombreux effets thérapeutiques tels que l'effet anti-stress oxydatif, anti-cancer du côlon, anti-diabète, antibactérien spécialement son l'huile essentielle qui inhibe une large spectre de micro-organismes dont l'efficacité en tant qu'agent antibactérien est prouvée, anti-affections neurodégénératives en augmentant le taux de glutathion au niveau de l'hippocampe, anti-cholestérol en diminuant les taux de cholestérol total, de cholestérol-LDL et de triglycérides, et en augmentant les taux de cholestérol-HDL (Sahib *et al.*, 2012).

Chapitre II : séchage

II. Séchage

Le séchage est considéré comme l'opération unitaire qui consiste à éliminer par évaporation l'eau d'un corps humide. Ce dernier peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide (Bimbenet, 1984 ; Bimbenet et Coll., 2002 ; Charreau et Cavaille, 1991). L'objectif de sécher un produit est d'abaisser sa teneur en eau de telle sorte que son activité de l'eau soit portée à une valeur permettant sa conservation à température ordinaire sur de longues durées (Bimbenet et coll., 2002).

Parmi les techniques d'élimination d'eau par voie thermique, deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit ; des procédés par ébullition et des procédés par entraînement. Le premier procédé (ébullition) consiste à porter le produit à une température telle que la pression de vapeur d'eau du produit devient égale à la pression totale ambiante régnant dans le séchoir. Quant au second procédé (entraînement), il consiste à apporter de l'énergie par un gaz vecteur en mouvement (généralement de l'air chaud). Ce gaz est conditionné de manière à ce que sa température soit supérieure à celle du produit et la pression de vapeur P de l'eau dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau p dans l'atmosphère qui l'environne (Charreau et Cavaille, 1991 ; Mafart, 1991 ; Bimbenet et Coll, 2002).

II.1. Le séchage conventionnel

II.1.1. Séchage à l'aire libre

Méthode ancestrale utilisée jusqu'au jour d'aujourd'hui, consistant à étaler en plein air les produits à sécher. Cependant, cette méthode présente beaucoup d'inconvénients Parmi eux, le manque de capacité à contrôler correctement l'opération de séchage, les coûts élevés de main-d'œuvre, exigent des grandes surfaces, un temps de séchage plus long et dépend uniquement de la disponibilité du soleil, ainsi que l'exposition à la contamination par les insectes, le mélange avec la poussière et autres matières étrangères (Aliyu, 2017; Inci et Dursun ,2004).

II.1.2. Séchage à l'étuve

Dans cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériau humide à sécher pour faciliter le transfert de chaleur et de masse ; la convection est principalement impliquée. Deux aspects importants du transfert de masse sont le transfert de l'eau à la surface du matériau qui est séché et l'élimination de la vapeur d'eau de la surface. La source d'énergie pour chauffer l'air serait l'électricité ou une source d'énergie renouvelable. Le séchage à l'air chaud provoque une

dégradation importante de la qualité attribuée aux aliments ajoute à cela une longue durée de séchage qui peut s'expliquer par une réduction rapide de l'humidité à la surface et par conséquent rétrécissement impliquant souvent une réduction de transfert d'humidité et parfois réduction de transfert de chaleur (Bouraout *et al.*, 1994 ; Yongsawatdigul et Gunasekaran, 1996 ; Feng et Tang, 1998 ; Maskan, 2000 ; Gowen, 2008).

II.2. Séchage non conventionnel (micro-ondes)

Le séchage par microondes appartient au type de séchage par ébullition et obéit à un transfert de chaleur par rayonnement. Ce rayonnement, issu des ondes électromagnétiques, a une fréquence qui se situe entre celle de la lumière infrarouge et celle des ondes de télévision (Figure 1). Sa longueur d'onde est comprise entre 1 mm et 1 m, et sa fréquence varie de 300 Mhz à 300 Ghz, en utilisant comme énergie primaire, l'électricité (Rougier, 2003).

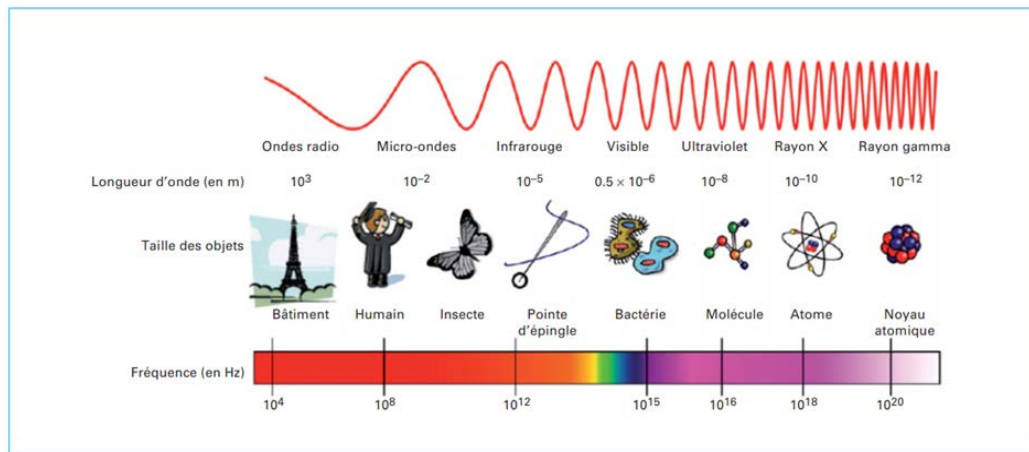


Figure 1: Le spectre électromagnétique (Perino et Chemat, 2015).

II.2.1. Principe

Le phénomène fondamental responsable du chauffage microondes (appelé aussi chauffage par hystérésis diélectrique) est la dégradation par dissipation d'une partie de l'énergie transportée par l'onde électromagnétique. Un matériau diélectrique est un isolant donc un mauvais conducteur d'électricité. Il s'échauffe du fait de la polarisation et de la rotation de ses dipôles. Puis de leur relaxation lorsqu'ils sont soumis à des champs électriques alternatifs. Le dégagement de chaleur résultant diffère fondamentalement du chauffage par effet Joule qui est provoqué par des frictions internes entre les électrons et les molécules. De plus, contrairement au chauffage classique, il a lieu dans le volume, d'où son appellation de chauffage volumique (Singh et Heldman, 2001).

II.2.2. Mécanisme de chauffage par micro-ondes

Le mécanisme de séchage par micro-ondes est complètement différent des méthodes de séchage classiques. Lorsque la température à l'intérieur du matériau approche du point d'ébullition de l'eau, le développement de la pression devient important. Cela pousse l'humidité de l'intérieur vers la surface menant à l'écoulement de Darcy. Généralement, il en résulte un niveau d'humidité de surface beaucoup plus élevé que celui dû à la diffusion seule. L'air dans la cavité du four étant plus froid que les parties internes de la particule réduit la capacité d'élimination de l'humidité de la surface et facilite l'accumulation d'humidité près de la surface. Dans un matériau très humide, des pressions suffisamment importantes sont développées pour « pomper » l'eau à la surface. Cela peut conduire à un taux d'humidité beaucoup plus élevé (Ni, 1997). Le gradient de pression est l'effet majeur sur le transport de l'humidité dans le séchage par micro-ondes. Il y a deux mécanismes responsables du réchauffement des aliments par les micro-ondes:

➤ **Rotation dipolaire**

Les molécules d'eau sont composées de deux atomes d'hydrogène attachés à l'atome d'oxygène. Les atomes d'hydrogène consistent chacun en une charge positive, et l'atome d'oxygène est constitué de deux charges négatives. Les charges physiquement séparées sont appelées dipôles. Si ces molécules d'eau sont placées dans une région d'un champ électrique oscillant, elles subiront un couple ou une force de rotation qui tentera de les orienter dans la direction du champ (Buffler, 1993). Avant l'application du champ électrique micro-ondes, toutes les molécules d'eau dans l'aliment sont agitées thermiquement de manière aléatoire correspondant à la température initiale de l'échantillon. Lorsque le champ est appliqué, les molécules tentent de s'orienter dans la direction du champ initial et entrent en collision de façon aléatoire avec leurs voisins. Lorsque le champ s'inverse, ils tentent d'inverser la direction et d'autres collisions se produisent (figure2). Par conséquent, le champ électrique fournit de l'énergie pour que les molécules d'eau tournent en alignement (Khraisheh *et al.*, 1997). Ce mécanisme est connu sous le nom de rotation dipolaire et est le phénomène de base pour le chauffage des aliments aux fréquences micro-ondes (Schiffmann, 1987).

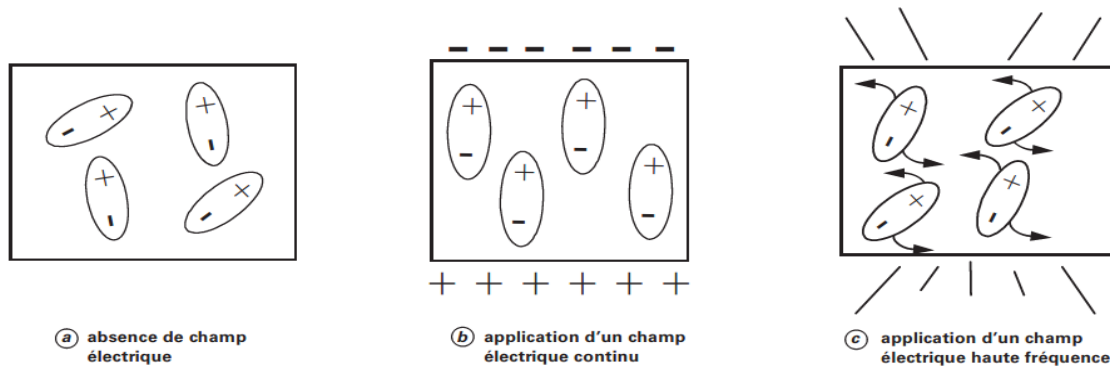


Figure 2: Frissonnement des dipôles soumis à une irradiation micro-ondes (**Perino et Chemat, 2015**).

➤ Interaction ionique

Toute particule chargée trouvée dans le four subit une force alternant dans les trois directions orthogonales (de haut en bas, de gauche à droite et d'avant en arrière) à 2,45 milliards de fois par seconde. La force nette due aux trois champs sera dans une direction arbitraire dans l'espace, en fonction de l'amplitude des trois forces individuelles. La force nette va d'abord accélérer la particule dans une direction et ensuite dans l'opposé, avec des particules de charges opposées étant accélérées dans des directions opposées.

II.2.3. Avantages et inconvénient de séchage par micro-ondes

Le séchage aux micro-ondes est très efficace pour les produits ayant une teneur en eau inférieure à 20% (**Mudgett, 1989**). Il représente une alternative pour améliorer la qualité des produits déshydratés (**Maskan, 2001**). Les micro-ondes peuvent être appliquées seules ou alors combinées au séchage conventionnel. Pour des raisons essentiellement économiques, le dernier cas s'applique à la dernière phase de séchage, lorsqu'une faible teneur en eau est présente dans l'aliment car le séchage conventionnel nécessitant alors beaucoup de temps (**Maskan, 2001**).

Le séchage aux micro-ondes réduit considérablement le temps de séchage. Un autre avantage du séchage par micro-ondes est que le chauffage sélectif du composant d'eau est obtenu en raison de l'activité diélectrique sensiblement plus élevée de l'eau par rapport à la plupart des composants solides (**Ahmad et al., 2001**). Cependant, il présente l'inconvénient d'une distribution non homogène dans la cavité de traitement, créant des problèmes de chauffage non uniforme (**Drouzas et al., 1999**).

La figure 3 représente la différence de Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage.

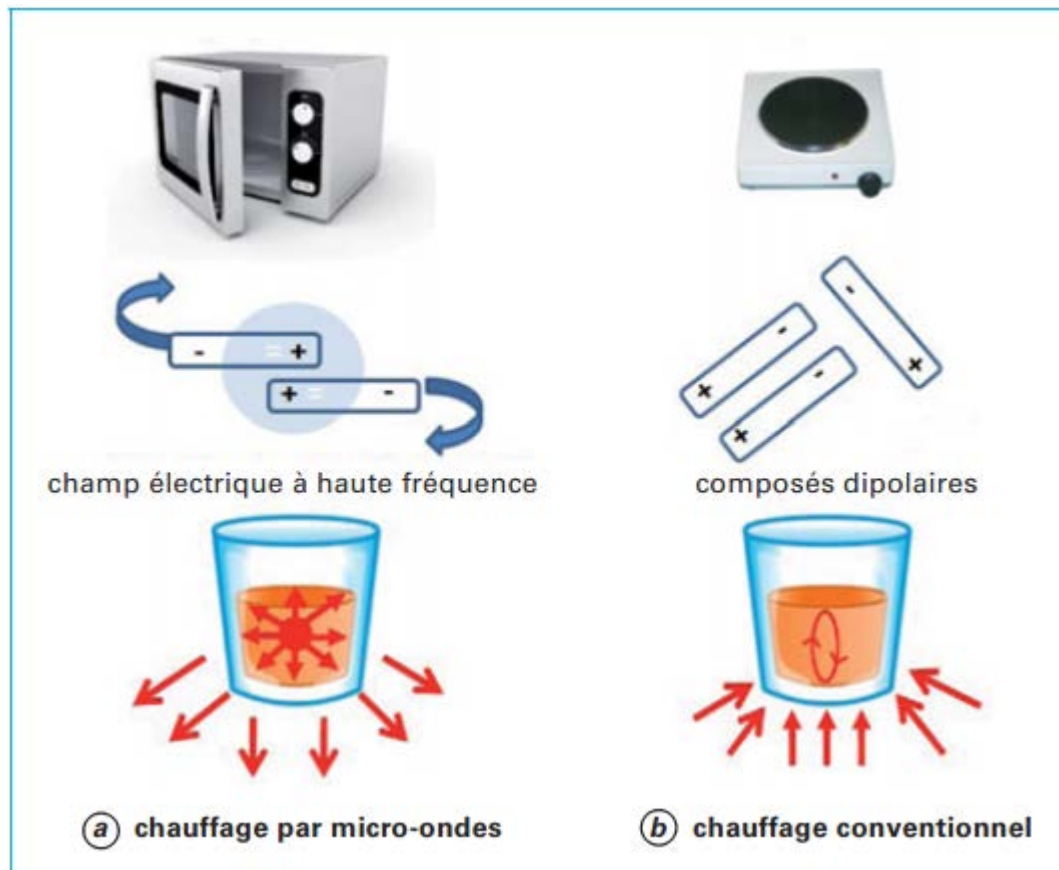


Figure 3: Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage (Perino et Chemat, 2015).

Partie pratique

Matériel et méthodes

III. Matériel et méthodes**III.1. Matériel végétal**

L'échantillonnage a été effectué au mois de Mars 2018 d'une manière aléatoire dans la région de Bordj Bou Arreridj. Au laboratoire, les feuilles fraîches de la coriandre ont été séparées de leurs tiges puis lavées avec l'eau distillée pour se débarrasser de toutes les impuretés.

III.2. Matérielle de laboratoire et réactifs (voire annexes).**III.3. Evaluation de taux d'humidité**

Pour la détermination du taux d'humidité de la coriandre étudiée, 2g d'échantillon sont séchés à 103°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 :

$$H (\%) = \frac{(P_{\text{avant}} - P_{\text{après}}) * 100}{P_{\text{avant}}}$$

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

III.4. Séchage

Une quantité de 2g de feuille a été séché par microonde et à différentes puissances (100, 300, 500, 700, et 900 W). Les échantillons ont été pesé après chaque 5 secondes jusqu'à obtention d'un poids constant afin de suivre les cinétiques de séchage, en parallèle une quantité de 10g a été séché à l'aire libre.

III.5. Broyage et tamisage

Les échantillons séchés ont été broyés à l'aide d'un mortier, puis tamisés. La poudre obtenue, de granulométrie inférieure à 0.2 µm, est conservé hermétiquement dans des boites en verre à l'abri de la lumière et de l'humidité.

III.6. Préparation des extraits acétoniques

Dans des tubes à essais, 0,2 g de poudre de chaque puissance a été extraite par 10 ml d'acétone 60%. Après 100 min d'agitation à 45 °C, les extraits sont récupérés, puis filtrés à l'aide du papier wattman N°4. Les filtrats sont conservés au congélateur jusqu'à leur utilisation.

III.7. Dosage des substances antioxydantes**III.7.1. 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 500 μ l d'extrait dilué est ajouté à 2,5 ml du réactif Folin–Ciocalteu (10%), puis un volume de 2 ml 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 2 min. La lecture de l'absorbance est effectuée à une longueur d'onde de 760 nm après 15 min incubation 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 milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de poudre (mg EAG/ g).

III.7.2. 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 et al., 2010**). Un volume de l'extrait dilué 9 fois est mélangé avec un volume de chlorures d'Aluminium (AlCl₃) 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 (voire l'annexe) obtenue à partir de cinq concentration en utilisant la quercétine comme standard et Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent quercétine (EQ) par 100 g).

III.8. Evaluation de l'activité antioxydante

III.8.1. 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 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 µl de l'extrait acétonique avec 1 ml de la solution méthanolique de DPPH° (60 µM). La lecture de l'absorbance est faite à 517 nm après 30 mn d'incubation dans l'obscurité. Les résultats sont exprimés en pourcentage de réduction du radical DPPH° par rapport à un témoin ne contenant que le solvant d'extraction, selon la formule suivante :

$$\% \text{ réduction DPPH}^\circ = \frac{(\text{Abs}_t - \text{Abs}_e) * 100}{\text{Abs}_t}$$

Abs t : absorbance du témoin contenant l'acétone 60%.

Abs e : absorbance de la solution contenant l'échantillon.

III.8.2. 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**

Un millilitre de l'extrait à différentes concentrations est mélangé avec 2,5ml d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 2,5ml 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, 2.5ml d'acide trichloracétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction. Les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10min. Un aliquote (2,5ml) de surnageant est combinée avec 2,5ml d'eau distillée et 0,5ml d'une solution aqueuse de FeCl_3 (Chlorure ferrique). La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (spectrophotomètre UV-VIS).

Le contrôle positif est représenté par un standard d'un antioxydant ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Singleton et Rossi, 1965**).

III.9. Analyse statistique

Toutes les données obtenues représentent la moyenne de 3 essais. Les valeurs moyennes sont comparées en utilisant le test ppds (plus petites déférence significative) de Fisher au seuil d'erreur 5%. Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide d'un logiciel Infostat et Excel.

Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1. Taux d'humidité

La détermination du taux d'humidité des feuilles de la coriandre est très importante pour prévoir le rendement après séchage. En effet, le taux d'humidité conditionne les paramètres de conservation de la coriandre 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 la coriandre est de 66%.

La figure 04 représente le taux d'humidité des feuilles de coriandre

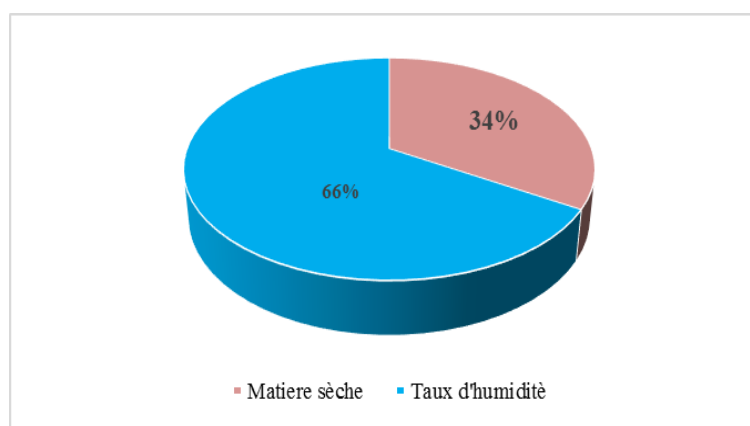


Figure 4 : Représentation du taux d'humidité de la coriandre.

Les cellules végétales possèdent de l'eau qui est une source de dégradation des polyphénols par oxydation (**Ribereau-gayon, 1968**). Pour éviter cette dégradation, on procède à un séchage pour éliminer l'eau, tout en préservant la composition chimique des cellules. Le séchage inhibe aussi les enzymes existantes dans le matériel végétal frais (la polyphénol oxydase) (**Tomas-Babera et Espin, 2001**).

Dans le but d'évaluer l'efficacité du séchage en terme de perte d'eau, les mesures d'activités de l'eau (A_w) des différentes poudres obtenues après séchage et le broyage de la coriandre séchés ont été déterminés et les résultats sont représentées dans **le tableau II**.

Tableau II : l'activité de l'eau des poudres de la coriandre séchées.

Puissances (w) et air libre	Aw
Air libre	0.275
100w	0.269
300w	0.201
500w	0.285
700w	0.201
900w	0.199

D'après les résultats obtenus pour les différentes poudres, on remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre les différentes puissances et à l'air libre ceux qui confirme que les poudres obtenues ont été bien séchées.

IV.2. Cinétique de séchage par micro-onde

La **figure 05** représente la perte de masse en fonction du couple temps-puissance du séchage par micro-onde. La durée du séchage est de 633s, 221s, 125, 118s et 93 sec respectivement à 100, 300, 500, 700 et 900 w.

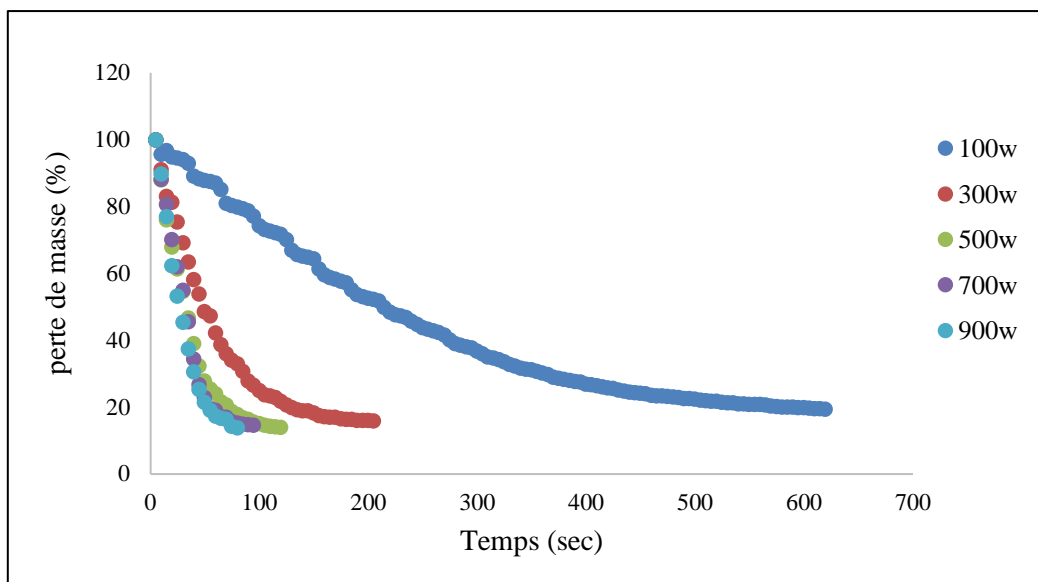


Figure 05: L'évolution de la perte de masse en fonction de couple temps-puissance du séchage au microonde.

Les cinétiques de séchage montrent que la perte de masse de la coriandre est en fonction du couple temps-puissance du séchage par micro-onde. Le temps de séchage le plus long est attribués à la puissance 100 W, qui est de 10 min et 33s. Par contre, laps de temps le plus court est obtenue lors de séchage à 700 W et à 900 W (la stabilité de la masse est atteinte à 1min 58s et 1min et 33s, respectivement). Les résultats obtenus montrent que la durée de séchage est inversement proportionnelle aux puissances de séchage, donc plus le niveau de puissance est élevé, plus le temps de séchage est réduit. Par conséquent, le niveau de puissance des micro-ondes a un effet important sur le taux de séchage des feuilles de coriandre.

Ces résultats sont en accord avec des études antérieures (**Funebo et Ohlsson, 1998, Sharma et Prasad, 2001, Soysal, 2004**). L'influence de la puissance sur les cinétiques de séchage peut s'expliquer par le fait que le transfert d'humidité au sein de l'échantillon de coriandre est plus rapide lorsque la puissance de chauffage microondes est plus élevée (**Chemat *et al.*, 2008**). En effet, plus de chaleur est générée au sein de l'échantillon créant ainsi une différence de pression de vapeur d'eau plus grande entre le centre et la surface du produit. C'est ce fort gradient de pression qui serait à la base de l'élimination rapide de l'eau pour les puissances élevées (**Al-Harashseh *et al.*, 2009**). Et cela demeure ainsi jusqu'à ce que la teneur en eau à la surface du produit diminue et devienne un facteur limitant du séchage, conduisant à son ralentissement (**Abbasi et Mowla, 2008**).

IV.3. Dosage des antioxydants

IV.3.1. Polyphénols totaux

Les résultats des teneurs en polyphénols totaux de la coriandre séchées par micro-onde et air libre sont illustrés dans **la Figure 06**. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent acide gallique (GAE) par gramme de poudre.

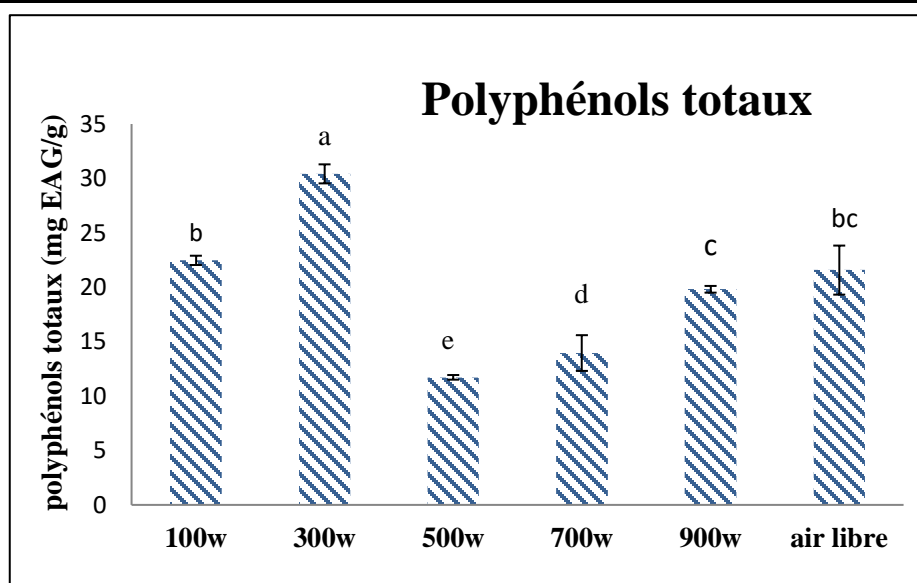


Figure 6 : Teneur en polyphénols totaux des extraits de coriandre séchée par microondes et air libre

Les résultats des teneurs en polyphénols totaux des feuilles de coriandre séchés par micro-onde et air libre sont illustrés dans **la figure 06**.

Les résultats montrent que la teneur en polyphénols totaux varie de 11.72 à 30.41 mg Eq AG/g de MS. En effet, la teneur la plus élevée est attribuée à 300 w (30.41 mg Eq AG/g) et à 100 w, par contre une faible teneur de (11.72 mg Eq AG/g MS) est obtenue à 500 w. Cette diminution peut être expliquée par la dégradation de ces composés par radiations et le temps de séjour des produits aux cours de séchage dans le four microonde qui sont des paramètres qui influencent sur la quantité des polyphénols totaux. Les effets du processus de séchage par micro-onde sur les substances phénoliques des aliments ont été étudiés, certains auteurs ont signalé qu'il ya un effet sur les composés phénoliques (**Akyildiz et al., 2004**) et certains ont déclaré qu'il n'y a pas un changement important sur la concentration de ces composés (**Dewanto et al., 2002**).

Les résultats obtenus montrent que le séchage par microonde (surtout pour 100 et 300w) montre un meilleur résultat que le séchage a l'air libre qui est de 21.57 mg Eq AG/g MS.

l'augmentation de la puissance micro-ondes de 700 à 900 w améliore significativement la teneur en polyphénols qui peut être expliquer par augmentation de la perturbation du tissu végétal avec l'augmentation de l'intensité du champ micro-ondes , provoquant la libération de plus de composés phénoliques (**Hamrouni-Sellami et al., 2013**).

En effet le processus de séchage peut entraîner des niveaux élevés ou faibles de PPT selon le type de composés phénoliques présents dans le matériel végétal et leur emplacement dans la cellule (Capecka *et al.*, 2005).

La teneur en composés phénoliques totaux séchés par microonde a 100w et 300w donnent un taux élevés de polyphénols, ce qui peut être due par 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-farsi *et al.*, 2005), ce qui peut expliquer la teneur élevée en PPT attribuée à la puissance 300W et 100W.

Selon Inchuen *et al.*, (2010). La faite d'avoir des meilleurs résultats avec le séchage par microonde peut être expliquer par le fait que la chaleur intense générée par les micro-ondes crée une pression de vapeur et une température élevées à l'intérieur des tissus végétaux. Par conséquent, dans certains cas, des composés phénoliques de parois cellulaires ou des composés phénoliques de liaison pourraient être libérés, entraînant ainsi l'extraction de plus de composés phénoliques.

VI.3.2. Flavonoïdes totaux

Les résultats de la contenance en flavonoïdes obtenues pour les différents extraits de poudres de coriandre séchées par microondes et air libre sont représentés dans la figure 07.

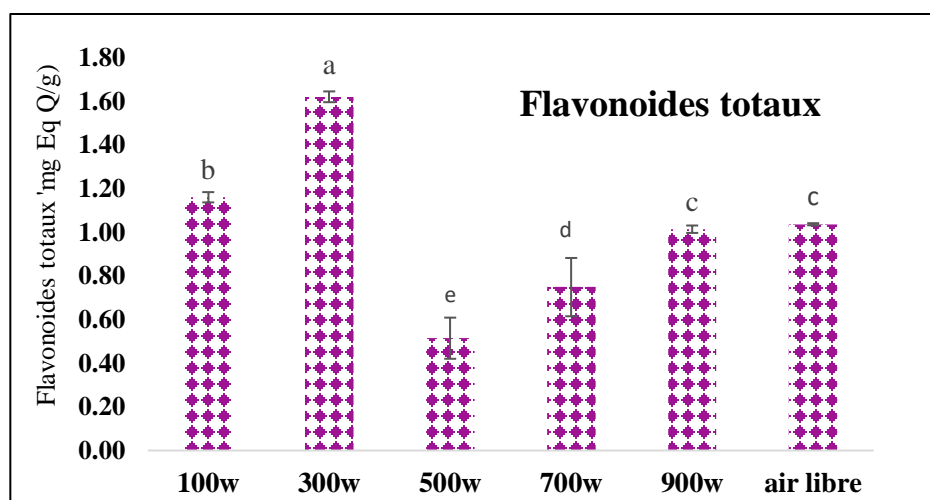


Figure 7 : Teneur en flavonoïdes totaux des extraits de coriandre séchées par microondes et air libre.

A l'analyse de la figure 07, il ressort que la teneur en flavonoïdes est significativement influencée par puissance.

D'après ces résultats, on remarque que la teneur en flavonoïdes augmente de 100W à 300W pour atteindre une valeur maximale de (1.6 mg Eq AG/g) à 300 W. L'analyse statistique montre que les extraits séchés par microonde présentent des différences significatives ($p < 0.05$).

Selon **Toor et Savag, (2006)**, ces résultats peuvent être due à la pénétrabilité des rayonnements micro-ondes, provoque la dégradation des constituants cellulaires, rendant les flavonoïdes plus accessibles pendant l'extraction. Par contre une diminution est observée à 500,700 w et 900 w pour atteindre une valeur minimale de 0.5mg Eq AG/100g à 500 W. Cette diminution peut être expliquée par la dégradation des flavonoïdes par les fortes puissances de séchage par microonde, et voir même le type des flavonoïdes présent dans la coriandre. 900 w et air libre n'ont montré aucune différence significative ($p < 0.05$) en termes de teneur totale en flavonoïdes.

IV.4. Evaluation de l'activité antioxydante

IV.4.1. Activité antiradicalaire DPPH :

Dans ce test, les antioxydants réduits décolorent le radical DPPH, en le transformant en un composé jaune le diphényle picryl hydrazine. L'ampleur de la réaction dépendra de la capacité des antioxydants à donner l'hydrogène (**Ardestani et Yazdanparast, 2007**).

Les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical stable DPPH des feuilles de coriandre séchées par microondes et air libre sont illustrée dans **la Figure 08**.

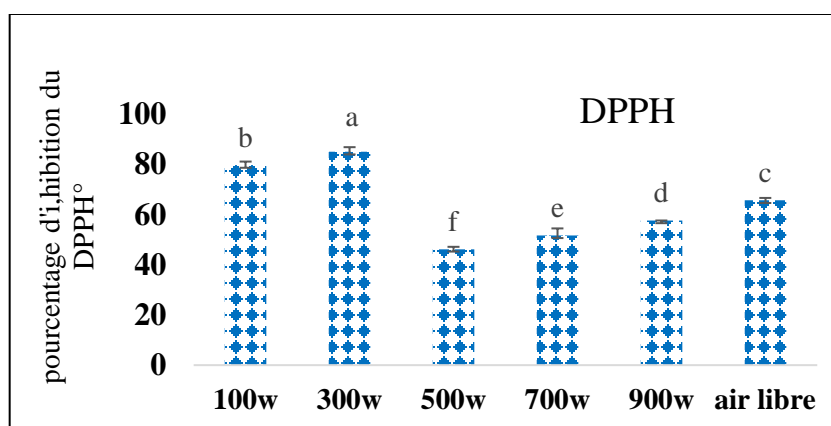


Figure 8: Activité anti-radical DPPH des différents extraits de coriandre séchées par microonde et air libre.

Selon les résultats obtenus, les différents extraits de coriandre possèdent la capacité de réduire le radical DPPH. Les teneurs d'inhibition varient de 46.33% jusqu'à 85.11%. En effet,

l'échantillon séché à 300W et à 100W présentent les pourcentages d'inhibition les plus importants avec des valeurs de 85.11 et 79.77% respectivement. Par contre, l'échantillon séché à 500 W présente la plus faible activité anti radical DPPH avec une valeur de 46.33%. Cette différence de l'activité antiradicalaire (DPPH) peut être expliquée par la différence des teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes qui ont un pouvoir d'agir comme des agents réducteurs en donnant plus d'atomes pour stabiliser les radicaux libres (Pietta, 2000). L'augmentation de pourcentage d'inhibition des radicaux DPPH pour les puissances 100 et 300 est peut-être due au clivage et libération des composés phénoliques à des puissances plus élevées, ce qui induit à une forte activité anti radicalaire, L'activité inhibitrice du radical DPPH ne dépend pas uniquement de la teneur en antioxydants y compris les polyphénols, mais aussi de la structure et les interactions existantes entre les différentes formes (Turkmen *et al.*, 2006).

IV.4.2. Le pouvoir réducteur

L'activité anti oxydante peut être estimée par la mesure du pouvoir réducteur. La réduction du (Fe^{3+}) est utilisé comme un indicateur de la capacité à donner des électrons, qui est un mécanisme important de l'action des polyphénols et peut être fortement relié avec d'autres propriétés antioxydantes (Dorman *et al.*, 2003).

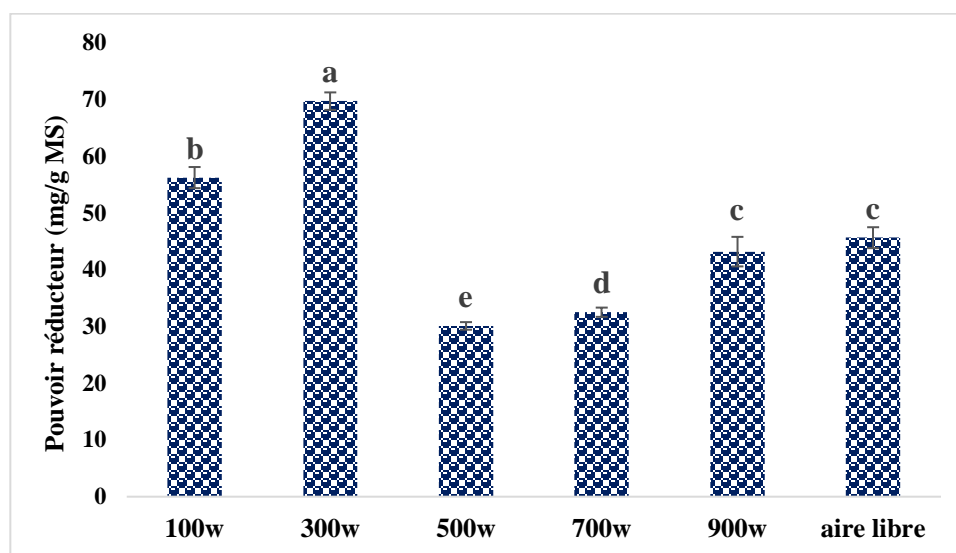


Figure 9 : Le pouvoir réducteur des différents extraits de coriandres séchées par microonde et air libre.

Les résultats obtenus pour le pouvoir réducteur sont représentés dans la **Figure 09**. Selon les résultats obtenus, le pouvoir réducteur des extraits varie de 30.11 à 69.74 mg/gMS. En effet, le pouvoir réducteur le plus important est enregistré à la puissance 300W (69.74mg/g MS), suivi de

100W avec une valeur de 56.26mg/g MS, alors que le plus faible est observé à 500W (30.11mg/gMS). Cela peut être expliqué par la présence de composés donneurs d'électrons qui entraînent la réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} . Néanmoins, quand on augmente la puissance de séchage, on observe une diminution de réduction du Fe^{3+} en Fe^{2+} pour atteindre une valeur de 30.11 mg/g MS à 500W cela peut être expliqué par la destruction de quelques polyphénols sous l'effet des hautes puissances.

L'activité antioxydante dépend de la teneur en composés phénoliques et la position des groupements hydroxyles (**Jayaprakaska et al., 2008**). Généralement, les polyphénols avec un nombre élevé de groupements hydroxyles présentent l'activité antioxydante la plus élevée due à leur pouvoir de donner plus d'atomes pour stabiliser les radicaux libres (**Heim et al., 2002**).

Conclusion

La présente étude, a pour objectif d'apporter une modeste contribution en étudiant le comportement des molécules d'eau dans les feuilles de coriandre par des cinétiques et d'évaluer l'effet du séchage sur la qualité de la coriandre en le comparant à l'air libre.

À cet égard nous avons suivi l'effet du séchage par microondes sur les composés bioactifs de la coriandre à savoir les composés phénoliques, les flavonoïdes, ainsi que l'activité antioxydante. Pour cela nous avons procédé au dosage de ces composés dans les poudres de la coriandre séchées à différentes puissances (100, 300, 500, 700 et 900 W.) et air libre

Le suivi de la cinétique a montré que la perte de masse de la coriandre est en fonction du couple temps-puissance du séchage par micro-onde. En effet, Le temps de séchage le plus long est attribués à la puissance 100 W, qui est de 10 min et 33s.

L'évaluation quantitative des polyphénols totaux, indique que le rendement optimal est de 30.41 mg Eq/g de MS ; cette valeur est attribuée à la puissance 300W. Et d'autre part le dosage des flavonoïdes nous a indiqué que la teneur optimale en flavonoïdes est de 1.62 mg Eq/g de MS, attribuée à la puissance de 300W. Par ailleurs l'activité anti-radical DPPH, l'activité la plus élevée est de 85.11% obtenue à la puissance de 300 W. Concernant la réduction du fer ferrique, les résultats montrent que la teneur la plus élevée est de 69.74mg Eq/g de MS obtenue avec le séchage par micro-onde à la puissance 300W.

Le dosage des polyphénols, des flavonoïdes et la mesure de l'activité antiradicalaire montrent que les teneurs en ces composés ont été influencées par la puissance de séchage. La concentration en substances bioactives est inversement proportionnelle à la puissance du séchage, nous avons obtenus les meilleurs résultats pour la puissance 300 W. En outre L'évaluation des effets du séchage par microonde sur l'activité antioxydant des composés phénoliques révèle que le séchage par cette méthode d'une part il permet de préserver la qualité nutritionnelle de coriandre et d'autre part permet de réduire le temps de séchage.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre l'influence du séchage par microonde sur coriandre et sur la composition physico-chimique des poudres obtenues. Cependant, il serait souhaitable de compléter ce travail avec :

Conclusion

- ✓ Étendre l'échantillon à l'ensemble du territoire national ; et analyser l'impact d'origine géographique sur l'activité antioxydante biologique et de composition.
- ✓ Combiné le séchage par micro-ondes avec d'autres méthodes telles que : séchage assisté par micro-ondes, lyophilisation assistée par micro-ondes, séchage sous vide assisté par micro-ondes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

- Abbasi Souraki B. & Mowla D., 2008:** Simulation of drying behaviour of a small spherical foodstuff in a microwave assisted fluidized bed of inert particles. *Food research International* **41**, 255-265.
- Ahmad S. S., Morgan M.T. & Okos M. R., 2001:** Effects of microwave drying, checking and mechanical strength of baked biscuits. *Journal of Food Engineering*, 63-75.
- Akyildız., Aksay S., Benli H., Kiro_glu F. & Fenercio_glu H., 2004:** Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. *Journal of Food Engineering* **65**, 95-99.
- 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.
- Al-Harashseh M., Al-Muhtaseb A.H. & Magee T. R. A., 2009:** Microwave drying kinetics of tomato pomace: effect of osmotic dehydration. *Chem. Eng. Process* **48**, 524-531.
- Aliyu, S., Momoh, M., Garba M.M., Musa M. & Rikoto I.I., 2017:** Comparative Study of Open Air Drying and A Medium Size Passive Solar Dryer Using Ete as Glazing Material *Journal of Applied Physics*, 66-71.
- Ardestani A. & Yazdanparast R., 2007:** Antioxidant and Free Radical Scavenging Potential of Achillea santolina Extracts. *Food Chemistry*, 104, 21-29.

-B-

- Bajpai M., Mishra A. & Prakash D., 2005:** Antioxidant and free radical scavenging activities of some leafy vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56, 473-481.
- Bimbenet J. J., 1984 :** Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires Dans les cahiers du Génie Industriel Alimentaire (GIA). *Edité par la Sepaic/Paris 2ème édition*, 34.
- Bimbenet J. J., Bonazzi C. & Dumoulin E., 2002:** L'eau en séchage, stockage et réhydratation Dans l'eau dans les aliments. *Edition Tecet Doc. PARIS*, 525-546, 674.
- Blade S., 2008:** Coriander. Alberta Agriculture and Rural Development. *Agdex* **147**, 20- 2.
- Bouraout M; Richard P; Durance T (1994).** Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering*, 17, 353-363.
- 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.

Bruneton J., 2009 : Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e ed.), Tec&Doc/EMInter, Paris

Buffler C. R., 1993: Microwave Cooking and Processing: Engineering Fundamentals for the Food Scientist. *Aspen Publishers. Newyork*, 220. *Bulletin*, 12(2): 201-214.

-C-

Capecka E., Mareczek A. & Leja M., 2005: Antioxidant activity of fresh and herbs of some Lamiaceae species. *Food Chemistry*, 93, 223–226.

Caroline Trudeau Dt. P. ; Louise Corneau Dt. P., M. Sc Iris Gigneux Dt.P. & M.Sc., 2006 : Nutritionniste, Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), *Université Laval*.

Chadwick John., (1976).The Mycenaean World, *Cambridge University Press*, 201,119.

CHARREAU A. & CAVAILLE R., 1991: Séchage Théorie et calculs Dans Techniques de l'Ingénieur, *Traité de génie des procédés*, 23.

Chemat F.,Tomas V. & Virot M., 2008: Ultrasound-assisted extraction in food analysis. *Handbook of food analysis instrument* , 85-103.

Coste., 1937: Coriandrum sativum L. *tome 2 Taxon 1486*, 165.

-D-

Dewanto V., Wu X., Kafui K. A., & Liu R.H., 2002: thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity.. *agric. Food chem*, 50, 3010-3014.

Diederichsen., 1996: Origin of the species and centres of diversity, p. 19-21.

Dorman H.J.D., Peltoketo A., Hiltunen R. & Tikkanen M.J. 2003: Characterization 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.

Drouzas A. E., Tsami E. & Saravacos G. D., 1999: Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*, 117-122.

-F-

Feng H. & Tang J., 1998: Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science* 63, 679-683.

Funebo T. & Ohlsson T., 1998: Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38(3), 353–367.

-G-

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

Gowen A. A., Abu-Ghannam N., and Frias J. & Oliveira J., 2008: Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **9**, 129-137.

-H-

Hamrouni Sellami I., Rahali F Z., Rebey I B., Bourgou S., Limam F., Marzouk B., 2013: Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. *Food and Bioprocess Technology* **6 (3)**, 806–817.

Heim K. E., Tagliaferro A. R. & Bobilya D. J. 2002: Flavonoid antioxidants: chemistry metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutrition and Biochemistry*. **13** : 572–584.

Heller W., Forkmann G., 1993: The flavonoïds advances in research since 1986 Druyne T., 1999: Condensed vegetable tannius: biodiversity in structure and biological activities. *Systematics and ecology***27**, 445-459.

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.

-I-

Inchuen S., Narkrugsa W. & Pornchaloempong P., 2010 : Effect of drying methods on chemical composition, color and antioxidant properties of Thai red curry powder. *Kasetsart Journal of Natural Science*, **44**,142–151.

Inci T T. & Dursun P., 2004: Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering* **65** (2004) 413–425.

-J-

Jayaprakasha G. K., Girenavar B. & Patil B. s., 2008: Antioxydant capacity of pummelo and navel orange: Extraction efficiency of solvents in sequence. *LWT*, **41**, 376-384.

-K-

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.

Khraisheh M. A. M., Cooper T. J. R. & Magee T. R. A., 1997: Transport Mechanisms of Moisture during Air Drying Processes. *Food and Bioproducts Processing* **75(1)**, 34-40.

-M-

- 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.
- Maskan M. 2001:** Kinetics color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal Food Engineering*. 48:169-175.
- Maskan M., 2000:** Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71–78.
- Mudgett R. E., 1989:** Microwave food processing. *Food Technology*, January: 117-126.
- Ni H., 1997:** Multiphase moisture transport in porous media under intensive microwave heating. Ph.D. *Thesis, Cornell University, U.S.A.*

-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.

-P-

- Perino S. & Chemat F., 2015:** Chauffage micro-ondes comme éco-procédé en industrie agroalimentaire. *Technique d'ingénieur*, F3070 V1.
- Pietta P. G., 2000 :** Flavonoids as antioxidants. *J Nat Prod* 63, 1035-1042.
- Ribereau-Gayon P. P., 1982:** Incidences oenologiques de la pourriture du raisin1. *EPPO Bulletin*, 12(2): 201-214.

-R-

- Ribereau-Gayon., 1982:** Incidences oenologiques de la pourriture du raisin1. *EPPO*
- Rougier C., 2003 :** Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les microondes appliquée en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. *Thèse de Université de Limoge*.

-S-

- Sahib G N ., Anwar F., Gilani A. H., Abdul Hamid A., Saari N. & Khalid M. Alkharfy 2012:** Coriander (*Coriandrum sativum* L.): A Potential Source of High-Value Components for Functional Foods and Nutraceuticals. *phytotherapy research*.
- Schiffmann R. F., 1987:** Microwave and dielectric drying in Handbook of industrial drying. Mujumdar, A. S. (Eds). Marcel Dekker, New York.
- Sharma G P. & Prasad S., 2001:** Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave–hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50, 99–105.

Singh R. P. & Heldman D. R., 2001: *Introduction to Food Engineering, Third Edition.* London UK: Academic Press.

Singleton V. L. & Rossi J. A., 1965: Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic*, **16(3)**, 144-158.

Soysal Y., 2004: Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, **89(2)**, 167–173.

-T-

Tomas-Babera F. A. & Espin J. C., 2001: Phenolic compounds and related enzyme as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the science of food and agriculture* 81: 853-876.

Toor R. K., & Savage G. P., 2006 : Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*, **94(1)**, 90–97.

Turkmen N., Sari F. & Velioglu Y.S., 2006: Effect of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin-Ciocalteu methods. *Food Chemistry* **99**, 838- 841.

-U-

UNUP: The United Nations University press (UNUP) 1986. *Food and Press nutrition bulletin.*

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

-W-

Wawizyniak J. J., 1999-2000: L'essentiel de la chimie organique. (*Cours*).

Wichtl M. & Anton R., 2003: Plantes thérapeutiques, tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. *2e édition, EMInter/Tec & Doc éditions, Paris*, 135-7.

-Y-

Yongsawatdigul J. & Gunasekaran S., 1996: Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation* **20**, 145-156.

-Z-

Zohary Hopf., 2000: Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physio.* 49, 43-66

Résumé

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciens et traditionnels pour préserver les herbes et les légumes. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du séchage par micro-ondes sur la qualité nutritionnelle de la coriandre. Le séchage a été effectué à différentes puissances (100, 300, 500, 700 et 900W) aux micro-ondes et les comparer à poudres séchées à l'air libre. Des cinétiques de séchage ont été réalisées en fonction de la perte de masse au cours du temps. La composition physico-chimique ainsi que l'activité antioxydante des différents échantillons ont été analysées. L'évaluation quantitative des polyphénols totaux, indique que le rendement optimal est de 30.41 mgEq/g de MS. Et d'autre part le dosage des flavonoïdes nous a indiqué que la teneur optimale en flavonoïdes est de 1.62 mgEq/g de MS, par ailleurs l'activité anti-radical DPPH, l'activité la plus élevée est de 85.11% obtenus à 300w. Concernant la réduction du fer ferrique, les résultats montrent que la teneur la plus élevée est de 69.74mgEq/g de MS. La puissance 300w c'est la puissance qui permet de mieux préserver la qualité nutritionnelle de la coriandre en outre le séchage par microondes permet de réduire le temps de séchage

Mots-clés : coriandre, cinétique, séchage, activité antioxydante, micro-onde

ABSTRACT

Drying is one of the oldest and traditional methods to preserve herbs and vegetables. The aim of this work is to study the effect of microwave drying on the nutritional quality of coriander. The drying was carried out at various powers (100, 300, 500, 700 and 900W) in the microwave and compared with dried powders in the open air. Drying kinetics were performed as a function of mass loss over time. The physico-chemical composition as well as the antioxidant activity of the various samples were analyzed. The quantitative evaluation of total polyphenols indicates that the optimal yield is 30.41 mgEq / g DM. And on the other hand the dosage of flavonoids told us that the optimal content of flavonoids is 1.62 mgEq / g of MS, moreover the anti-radical activity DPPH, the highest activity is 85.11% obtained at 300w . Regarding the reduction of ferric iron, the results show that the highest content is 69.74mgEq / g DM. The 300w power is the power that helps to better preserve the nutritional quality of coriander and microwave drying reduces the drying time.

Keywords: coriander, kinetic, drying, antioxidant activity, microwave.

الملخص

التجفيف هو واحد من أقدم الطرق التقليدية للحفاظ على الأعشاب والخضروات. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير تجفيف الميكروويف على الجودة الغذائية للكرزيرة. تم إجراء التجفيف بإستعمال قوى مختلفة (100 ، 300 ، 500 ، 700 و 900 واط) في الميكروويف ومقارنتها بالمساحيق المجففة في الهواء الطلق. تم تنفيذ حركية التجفيف كدالة لفقدان الكتلة مع مرور الوقت. تم تحليل التركيب الفيزيائي الكيميائي وكذلك النشاط المضاد للأكسدة للعينات المختلفة. يشير التقييم الكمي لإجمالي polyphenols إلى أن العائد الأمثل هو 30.41 mgEq / g DM. ومن ناحية أخرى ، أخبرتنا جرعة الفلافونويد أن المحتوى الأمثل للفلافونويد هو 1.62 ملغ / غ من MS ، علاوة على النشاط المضاد للراديكالية DPPH ، أعلى نشاط هو 85.11% تم الحصول عليه عند 300 واط. فيما يتعلق بإرجاع الحديد ، تظهر النتائج أن أعلى محتوى هو 69.74 DM.mgEq / g. قوة 300 واط هي القوة التي تساعد على الحفاظ على الجودة الغذائية للكرزيرة والتجفيف بالميكروويف يقلل بشكل أفضل من وقت التجفيف.

الكلمات المفتاحية: كزبرة ، تجفيف ، نشاط مضاد للأكسدة ، أفران ميكروويف

Annexes

Annexe 01 : Matériels utilisés

1-Appareillage



Balance de précision (kern Als220-4N)
(Max220g, d=0.1 mg)



Microondes (CONDOR)



Centrifugeuse



Broyeur électrique (MOULINEX)



Etuve ventilée (MEMMERT)



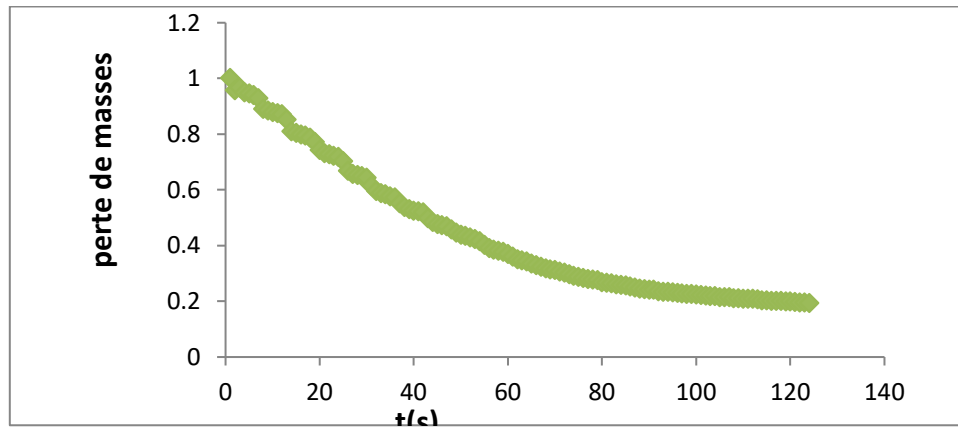
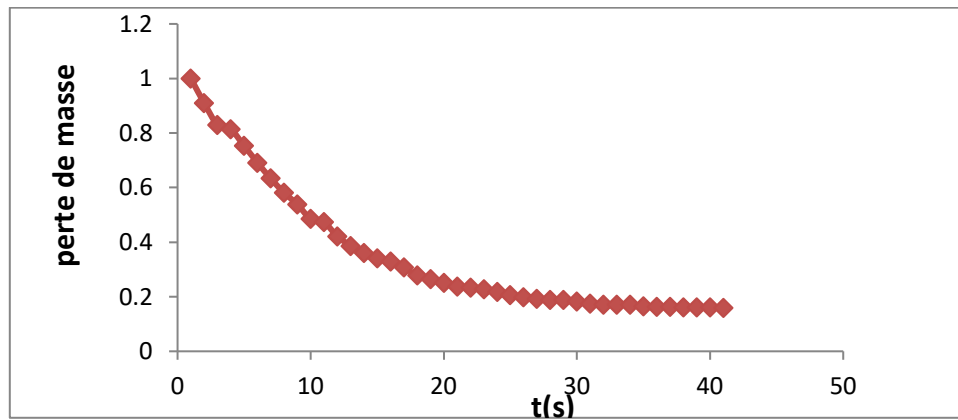
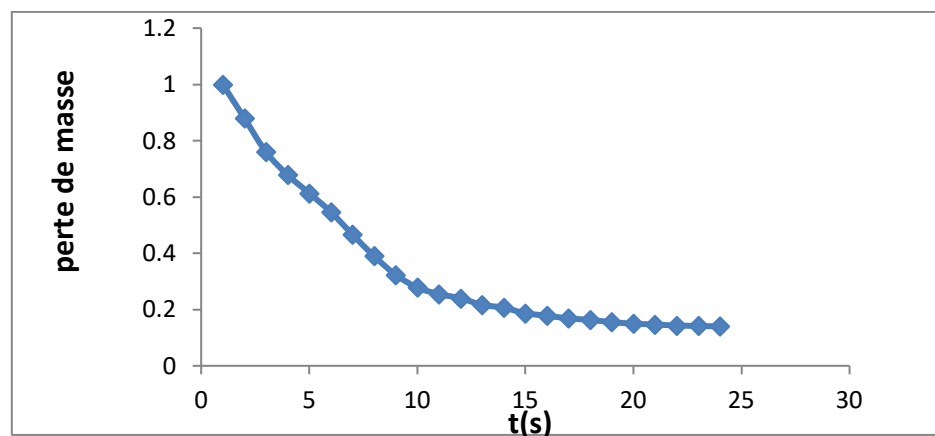
Bain marie (MEMMERT)



Spectrophotomètre(UVmini1240)

2. Produits chimiques

- Acétone
- Acide gallique
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3) (SIGMA-ALDRICH)
- Folin-ciocalteu (PROLABO)
- Chlorure d'aluminium (AlCl_3) (SIGMA-ALDRICH)
- Méthanol (PROLABO)
- Acide chlorhydrique (HCl) (SIGMA-ALDRICH)
- Chlorure de potassium (KCl).
- Acétate de sodium ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (BIOCHEM Chemopharma)
- Tampon phosphate
- Ferricyanide de potassium (K^+) (SIGMA-ALDRICH)
- Chlorure de fer (FeCl_3) (BIOCHEM Chemopharma)
- ABTS (SIGMA-ALDRICH)
- DPPH (SIGMA-ALDRICH)
- TCA (SIGMA-ALDRICH)
- Acide ascorbique
- Quercétine

Annexe 02 : Cinétiques de séchages**Figure1** : cinétique de séchage 100W.**Figure 2** : Cinétique de séchage de 300W.**Figure 3** : cinétique de séchage 500W.

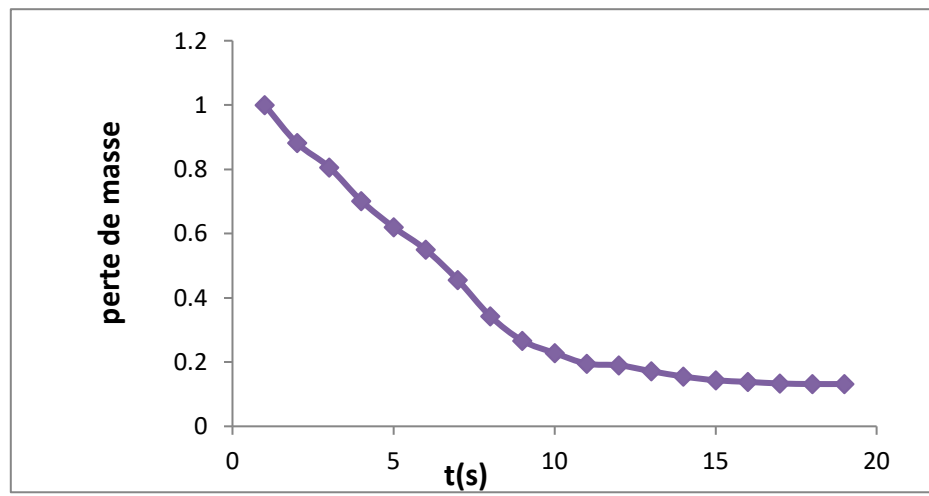


Figure 4 : cinétique de séchage 700W.

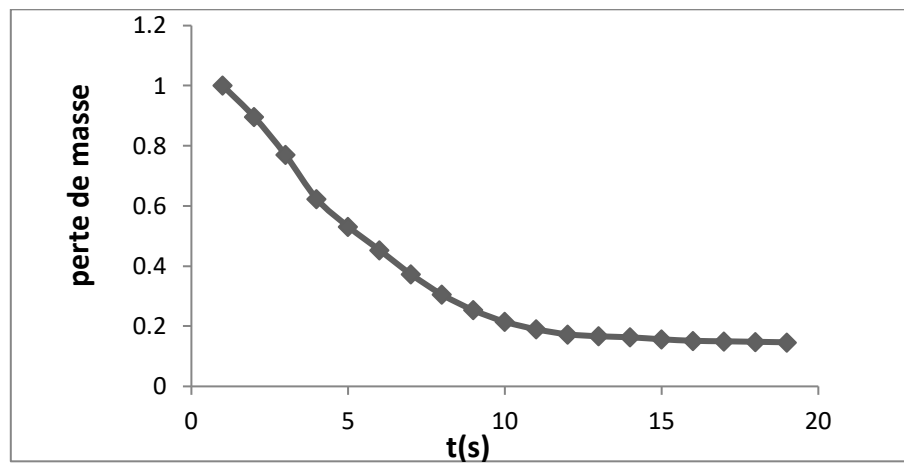


Figure 5 : cinétique de séchage 900W

Annexe 03 : Courbe d'étalonnages