

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Bejaia

Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Spécialité : Génie Alimentaire

N° :.....

Soutenu le :02/07/23

Mémoire de fin de cycle

Cinétique de séchage des feuilles d'oliviers
par différentes méthodes

En vue de l'obtention du diplôme de master

Présenté par : Chabane Chahrazad

Devant le jury composé de :

Mme Bey-Ould Si Said Zakia	Présidente
Mme Arkoub-Djermoune Lynda	Examinatrice
M ^r Bachir bey Mostapha	Encadrant

Année universitaire : 2022/2023

Dédicace

Je viens avec grand plaisir pour dédier ce modeste travail.

*À l'être le plus cher de ma vie, **Ma mère**, À celui qui ma fait de moi ce qui je suis aujourd'hui, **Mon père** ... Merci pour vos efforts, vos sacrifices durant toute ma vie, votre encouragement, votre soutien pour me persévérer jusqu'à l'aboutissement de ce travail.*

*À vous mes frères : **hafid, elyamine, sifou** et ma sœur **wennassa** qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mes études.*

*À mon marie : **Faicaïl** et sa belle famille.*

*À mes nièces : **Soundous, Anis** et **Ayane**.*

À toute ma famille

À toutes mes amies en témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.

À mes amies

*Toute la promo 2018/2023, tout particulièrement **fouzia, basma, rima**.*

*Sincèrement **chahrazad** ...*

Remerciement

A l'occasion de la fin des études à l'Université Abderrahmane Mira, le mémoire de fin d'études a été achevé par la volonté de Dieu Tout-Puissant. Après beaucoup d'efforts, et de ce point de vue, j'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué dans mon étude.

A mon encadreur Mr. Bachir bey Mostapha

J'ai l'honneur d'être parmi vos étudiants encadrés, veuillez bien monsieur recevoir mes remerciements pour le grand honneur que vous avez fait d'accepter mon encadrement sur ce travail.

Aux membres de jury

J'adresse également, mes sincères remerciements aux membres du jury, pour avoir accepté l'évaluation de mon travail et pour m'avoir enrichi de vos suggestions qui serait sans aucun doute utiles dans le futur.

Aux chers parents

J'adresse mes sincères remerciements à mes parents pour le soutien financier et moral durant ma période d'étude, sans oublier mes frères et sœurs qui m'ont encouragé chacun à sa manière.

Des remerciements sont également adressés à ma promotion de 2018/2023 et à tous les amis (es) éloignés et proches qui ont contribué à m'aider morale pour mener à bien cet humble travail.

À la fin : à tous ces intervenants je présente mes remerciements, mes respects et mes gratitudes.

Merci à tous ...

Table des matières

Liste des tableaux	i
Liste des figures	ii
Liste des abréviations	iv
Introduction	1

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur l'olivier	2
I.1. Intérêts des plantes	2
I.2. L'olivier.....	2
I.2.1. Historique sur l'olivier	2
I.2.2. Définition	3
I.2.3. Classification botanique de l'olivier	3
I.2.4. Description botanique	4
I.2.5. Répartition géographique	5
I.2.5.1. Dans le monde.....	5
I.2.5.2. En Algérie	6
I.3. Feuilles d'oliviers	7
I.3.1. Description des feuilles d'olivier	7
I.3.2. Composition chimique des feuilles	8
I.3.3. Domaine d'utilisation des feuilles d'olivier	11
I.3.3.1. Domaine de l'alimentation animale	11
I.3.3.2. Domaine thérapeutique	11
I.3.3.3. Domaine pharmaceutique	11
I.3.3.4. Domaine cosmétologique	12
I.3.3.5. Industrie alimentaire	12
I.3.4. Intérêt des feuilles d'olivier sur la santé.....	12
I.3.5. Utilisation traditionnelle des feuilles	12

Liste des tableaux

II. Généralités	13
II.1. Généralités sur le séchage.....	13
II.2. Définition	14
II.3. Principe de séchage	14
II.4. Objectif de séchage	14
II.5. Méthode de séchage	14
II.5.1. Séchage à l'air libre	14
II.5.2. Séchage par étuve	15
II.5.3. Séchage par four micro-onde	15
II.5.4. Séchage par four infrarouge	15
II.6. Les procédés de séchage	16
II.6.1. Le séchage par conduction.....	16
II.6.2. Le séchage par convection.....	16
II.6.3. Le séchage par rayonnement.....	16

Partie pratique

III. Matériel et méthodes

III.1. Matériel végétal	17
III.2. procédures de séchage	17
III.2.1. Séchage à l'air libre	17
III.2.2. Séchage par étuve	18
III.2.3. Séchage par micro-onde	18
III.2.4. Séchage par four infrarouge	19

IV. Résultat et discussion

IV.1. Cinétique de séchage conventionnel	20
IV.1.1. Cinétique de séchage à l'air libre	20
IV.1.2. Cinétique de séchage par étuve	22
IV.2. Cinétique de séchage innovant	23
IV.2.1. Cinétique de séchage par microonde.....	23
IV.2.2. Cinétique de séchage par infrarouge	26
IV.3. Discussion générale sur le séchage	28
Conclusion.....	29

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique global des feuilles d'olivier cultivé (exprimé en g par 100g).....	9
Tableau II: Composition en acides aminés des feuilles d'olivier fraîche (exprimé en g par kg d'azote total).....	10
Tableau III : Composition en minéraux des feuilles d'olivier (exprimé en g par kg de matière sèche).....	11
Tableau IV: Temps de séchage en fonction de la température ou de la puissance par les différentes méthodes de séchage des feuilles d'olivier	28

Liste des figures

Figure 1 : <i>Olea europaea L</i> , Arbre, Fruit et feuille	4
Figure 2 : Zone de répartition géographique de la culture de l'olivier dans le monde.....	5
Figure 3 : Zone de répartition géographique de la culture d'olivier dans le bassin méditerranéen.....	6
Figure 4 : Répartition de la zone oléicole en Algérie (a : la carte géographique, b : la production de l'huile d'olivier en Algérie 1998-2021	7
Figure 5 : Photographie de la feuille d'olivier.....	8
Figure 6 : Photographie de la feuille d'olivier récolté	17
Figure 7 : Photographie d'une étuve.....	18
Figure 8 : Photographie du four micro-onde	18
Figure 9 : Photographie du four infrarouge	19
Figure 10 : Evaluation de la perte de poids en fonction du temps –température à l'air libre.....	21
Figure 11 : Evolution de la perte de poids en fonction de temps-température	22
Figure 12 : Evolution de la perte de poids en fonction de temps-température.....	22
Figure 13 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température du séchage par micr-onde (100W)	24
Figure 14 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température.....	24
Figure 15 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température au séchage par infrarouge à 40°C	26
Figure 16 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température au séchage par infrarouge à 70, 90 et 120°C	27

Liste des abréviations

Aw : Activité de l'eau

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GHZ : Gigahertz

KHZ : kilohertz

LDL: Low Density Lipoprotéine (Lipoprotéine de basse densité).

MAT : matière azotée totale

MHz : Mégahertz

T3: Triiodothyronin

T4: Thyroxine

TSH: thyroid-stimulating hormone

W: watts

Introduction

La culture de l'olivier en Algérie date de la plus haute antiquité, ses produits ont été l'une des activités fondatrices économiques essentielles des populations rurales et la culture a été largement gérée par les systèmes agricoles traditionnels (Alloum, 1974; Oulebsir, 2008). L'olivier (*Olea europaea*) est un arbre emblématique des régions méditerranéennes, réputé pour ses fruits, les olives, ainsi que pour ses huiles d'olive. Cependant, les bienfaits de l'olivier ne se limitent pas à ses fruits. Ses feuilles, riche en composés bénéfiques, sont également utilisées à des fins thérapeutique et médicinales.

Les feuilles d'olivier ont été largement utilisées en traitement traditionnel dans les pays européens et méditerranéens. Ils ont été utilisés dans l'alimentation humaine sous forme d'extraits, de tisanes et de poudres et contiennent plusieurs composés potentiellement bioactifs pouvant avoir des propriétés antioxydantes, antihypertensives, anti-inflammatoires, hypoglycémiques et hypocholestérolémiants (El et Karakaya, 2009). L'utilisation des feuilles d'olivier en infusion ou mâchées directement sont des remèdes populaires pour le traitement du diabète (Visioli *et al.* 2002).

Lorsque s'agit de conserver et d'utiliser les feuilles d'olivier, le processus de séchage joue un rôle crucial. Il permet de réduire la teneur en eau des feuilles, ce qui prolonge leur durée de conservation et facilite leur utilisation ultérieure. La cinétique de séchage étudie la vitesse à laquelle l'eau est éliminée des feuilles d'olivier pendant le processus de séchage, ainsi que les facteurs qui influencent cette cinétique.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la cinétique de séchage des feuilles d'olivier par différentes méthodes de séchage.

Notre travail est divisé en deux parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique où nous apportons des généralités sur l'olivier, les feuilles d'olivier et les différentes méthodes de séchage.
- La deuxième partie est la partie expérimentale qui est consacrée au séchage où les cinétiques de séchage des feuilles d'olivier sont étudiées en utilisant plusieurs procédés. Puis la partie résultats et discussion est dédiée à l'illustration et la discussion des différents résultats obtenus.

Enfin, une conclusion qui résumera tous les résultats obtenus et quelques perspectives.

Synthèse bibliographique

Synthèse bibliographique

I. Généralités

I.1. Intérêts des plantes

On estime qu'environ 20 000 espèces végétales sont utilisées dans le monde à des fins alimentaires, cosmétiques, thérapeutiques et agricoles. Il est important de distinguer les usages des plantes spontanées et des plantes cultivées actuelles, et du fait d'une certaine confusion, on peut distinguer notamment :

- Les plantes alimentaires à grandes cultures et spontanées.
- Les plantes condimentaires (estragon, persil, cerfeuil).
- Les plantes à boisson (fenouil, anis vert, badiane).
- Les épices.
- Les plantes à parfum (rose de mai, violette, lavande).
- Les plantes médicinales à grandes cultures (pavot oeillette, fenugrec)
- Les plantes à tisanes et infusette (menthe, tilleul).

Les plantes condimentaires et aromatiques sont les plantes les plus utilisées dans le monde pour aromatiser les plats et à des fins thérapeutiques. Ces espèces contiennent une variété de substances actives dont diverses essences peuvent être extraites, non seulement pour la médecine traditionnelle, mais aussi pour les industries pharmaceutiques, cosmétiques ou technologiques alimentaires (Hmamouchi, 1997)

I.2. L'olivier

I.2.1. Historique sur l'olivier

L'olivier est un arbre de la famille des Oléacées qui était cultivé principalement dans le bassin méditerranéen au moins 3500 ans avant notre ère. Dans la Grèce antique et à Rome, c'était un symbole de fertilité ainsi qu'un symbole de paix et de gloire. Le nom scientifique de l'arbre "*Olea*" vient du mot grec ancien pour "huile". Culture des oliviers originaire de la frontière Iran-Syrie. (Loussert et Brousse 1978)

Dans l'Islam, l'olivier symbolise la présence du Prophète. Grâce à cet arbre béni, les humains ont la lumière des lampes à huile, une lumière divine qui rapproche les gens d'Allah. Nous trouvons cet appel au verset 35 du vingt-quatrième chapitre du Coran :

« Allah est la Lumière du ciel et de la terre. Sa lumière est comme une lampe allumée par un arbre béni, un olivier, même s'il n'y a pas feu Touchez-le et son huile brillera. » (Henry, 2003).

I.2.2.Définition

L'olivier cultivé (*Olea europaea* L.) est un arbre à feuilles persistantes de longue durée. Il est originaire du bassin méditerranéen (Poljuhaetal, 2008). C'est le plus Arbres fruitiers importants produits dans la plupart des pays du monde.

I.2.3 .Classification botanique de l'Olivier

L'espèce *Olea europaea* L. a été nommée par Linné en raison de son aire géographique. C'est l'unique espèce du bassin méditerranéen représentative du genre *Olea*. On distingue deux Sous-espèces, l'olivier cultivé ou l'olivier commun (*Olea europaea sativa*.) et l'olivier sauvage ou oléastre (*Olea europaea sylvestris*) (tourte et Bordonean, 2005).

D'après Pagnol (1975), l'olivier présente la classification suivante :

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Classe : *Dicotylédones (ou Thérébinthales)*
- Sous –classe : *Astéridées (ou Gamopétales)*
- Ordre : *Gentianales (ou Lingustrales)*
- Famille : *Oleacées*
- Genre : *Olea*
- Espèce : *Olea europaea*

Ce dernier regroupe 30 espèces différentes, la plupart sont des arbustes ou des arbres, originaires des régions chaudes (Zohary, 1995).

Il existe deux sous-espèces *Olea europaea* L en Afrique, l'olivier cultivé ou olivier commun (*Olea europaea sativa*.) et l'olivier sauvage ou oléastre (*Olea europaea sylvestris*) (Kohler, 1887).

Olea europaea L. var. *sativa* (var. communis) (Loussert et Brousse, 1978) ou olivier domestique est constitué par un grand nombre de variétés améliorées, ayant une diversité phénotypique importante (Ouazzani et al. 1995 ; Belaj et al. 2001) et qui donnent plus d'intérêt.

Olea oléaster (Beddiar et al. 2007) à laquelle appartiennent les oliviers sauvages et qui proviendraient de la dissémination spontanée, est un arbre très rameux et épineux à branches quadrangulaires et à feuilles très petites. Ses fruits sont petits et produisent peu d'huile.

I.2.4. Description botanique

L'olivier est un arbre polymorphe, de taille moyenne. Très rameux, au tronc noueux, au bois dur et dense, à l'écorce brune crevassée, il peut atteindre quinze à vingt mètres de hauteur, et vivre très longtemps. Il s'adapte aux conditions extrêmes de l'environnement, mais exige une intensité lumineuse importante et un sol aéré (Ghedira, 2008). Les fleurs sont déposées en grappes sur une longue tige (l'olivier produit deux sortes de fleurs, une parfaite qui contient les deux sexes mâle et femelle et une staminée) Burnine et al. 2006). Le tronc est gris-vert et lisse jusqu'à sa dixième année, il prend une couleur gris foncé. Le système racinaire s'adapte à la structure des sols, il reste à une profondeur de 500 à 700 cm et se localise principalement sous le trône (Iandolfi et al 1984).



Figure 1 : *Olea europaea* L, Arbre, Fruits et Feuille.

I.2.5. Répartition géographique

I.2.5.1. Dans le monde

Les zones naturelles de la répartition géographique de l'olivier dans le monde se situent principalement entre 26 degrés et 45 degrés de latitude nord et sud (Figure 2), ce qui montre qu'il a été introduit avec succès en Chine, au Japon, aux États-Unis (Californie), l'hémisphère nord au Mexique, l'hémisphère sud en Australie, l'Afrique du Sud et les pays d'Amérique du Sud.



Figure 2 : Zone de répartition géographique de la culture de l'olivier dans le monde (Cimato, 2008)

En Afrique, l'importance de la culture de l'olivier est suivie par la Tunisie, le Maroc, l'Algérie, la Libye, l'Égypte, l'Afrique du Sud et l'Angola. Les pays européens qui cultivent l'olivier sont, dans l'ordre : l'Espagne, l'Italie, la Grèce, le Portugal, l'Albanie, Chypre, la France, la Slovénie et Malte. Au Moyen-Orient et en Asie, les pays oléicoles sont la Turquie, la Syrie, la Palestine, le Liban, Israël, la Jordanie, l'Irak, l'Iran et la Chine. Aux États-Unis, l'importance de la culture de l'olivier est suivie par l'Argentine, le Mexique, le Chili, le Pérou, l'Uruguay, le Brésil et les États-Unis (Californie). L'Australie fait partie des nouveaux producteurs. Cependant, environ 97% des 850 millions d'oliviers dans le monde, couvrant 9,5 millions d'hectares, poussent dans la région méditerranéenne (verdier 2003) comparée au reste du monde, le bassin méditerranéen reste une zone dominante pour la culture de l'olivieraie, grâce à son climat favorable en termes de température et de mesures hydrologiques (Fig. 3)

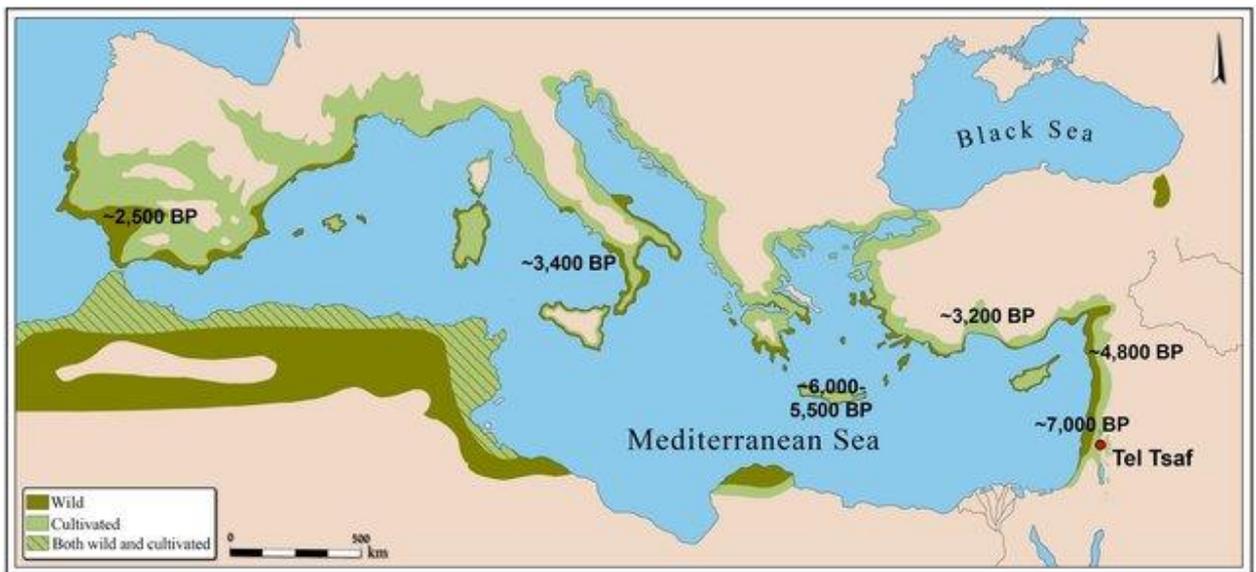


Figure 3 : Zones de répartition géographique de la culture d'olivier dans le bassin méditerranéen (Langgut, 2022)

I.2.5.2 En Algérie

L'Algérie est l'un des principaux pays méditerranéens avec un climat plus propice à la culture de l'olivier, l'une des principales variétés fruitières au niveau national (Babouche et Kellouche 2012). La superficie plantée d'oliviers en Algérie est d'environ 328 884 hectares (FAO, 2013), avec environ 32 millions d'arbres, représentant 34,09% de la superficie des vergers arboricoles du pays (Bensemmane A., 2009).

Les oliviers sont répandus dans tout le pays en raison de leurs multiples fonctions telles que la lutte contre l'érosion, la fertilisation des terres cultivées et la stabilisation de la population dans les zones montagneuses. Elle est concentrée dans trois régions principales : la région centrale (54 %), la région orientale (29 %) et la région occidentale (17 %). Pour la région centre, la plus grande partie de la superficie oléicole de la région (95%) est occupée par les provinces de Bejaia, Tizi Ouzo et Bouira (Figure 4).

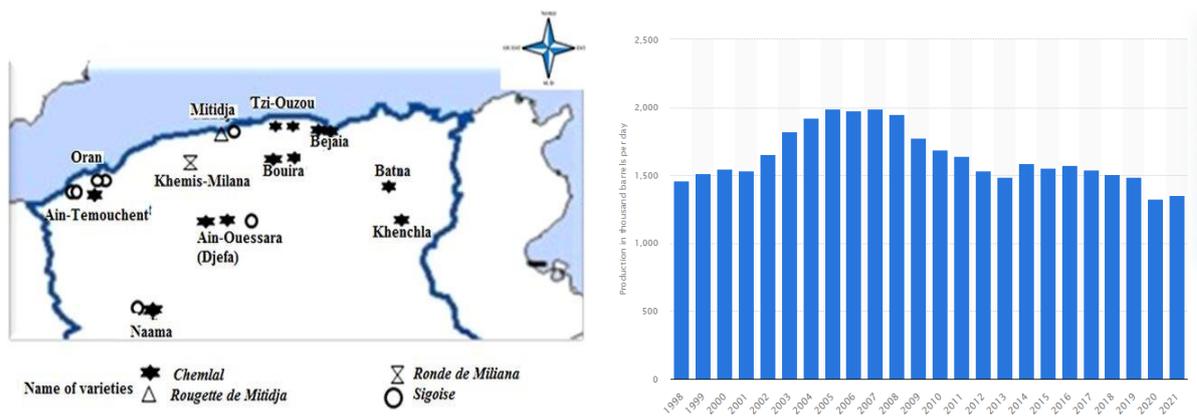


Figure 4 : Répartition de la zone oléicole en Algérie (**a:** la carte géographique, **b:** la production de l'huile d'olive en Algérie 1998-2021 (Douzane *et al.*, 2021)

I.3. Les feuilles d'olivier

I.3.1. Description des feuilles d'olivier

Les feuilles d'olivier sont opposées, ovales allongées, portées par un court pétiole, coriaces, entières, enroulées sur les bords, d'un vert foncé luisant sur la face supérieure, et d'un vert clair argenté avec une nervure médiane saillante sur la face inférieure (figure 5). Le feuillage est persistant, donc toujours vert, mais cela ne veut pas dire que ses feuilles sont immortelles. Elles vivent en moyenne trois ans puis jaunissent et tombent, principalement en été. En cas de sécheresse, les feuilles sont capables de perdre jusqu'à 60% de leur eau, de réduire fortement la photosynthèse et de fermer les stomates permettant les échanges gazeux pour réduire les pertes en eau par évapotranspiration, permettant ainsi la survie de l'arbre au détriment de la production fructi-florale (Ghedira *et al.*, 2008).



Figure 5 :Photographie de la feuille d'olivier.

La production des feuilles d'olivier est estimée de 25 kilogrammes par olivier (Karakaya, 2009).

Dans les industries de l'huile d'olive, les feuilles d'olivier représentent environ 10 % du poids de l'olive (Khemakhem et al., 2018).

I.3.2.Composition chimique des feuilles

La composition chimique des feuilles de l'olivier varie en fonction de nombreux facteurs :La variété, les conditions climatiques, l'âge des plantations ainsi que l'époque de récolte (Nefzaoui, 1991).

Les différents composés chimiques sont regroupés ci-dessous

- Généralement, la matière sèche (MS) des feuilles vertes se situe autour de 50 à 58%, celle des feuilles sèches autour de 90%.
- La teneur en matières azotées totales (MAT) des feuilles varie de 9 à 13%. La solubilité de l'azote est faible, elle se situe entre 8 et 14%, selon la proportion de bois.

- La teneur en matières grasses (MG) est supérieure à celle des fourrages et oscille autour de 5 à 7%, mais celle des constituants pariétaux et en particulier de la lignine est constamment élevée (18 à 20%) (Civantos, 1983).
- La feuille d'olivier est riche en triterpènes, flavonoïdes, sécoiridoïdes dont l'oleuropéoside et en phénols.

Tableau 1 : Composition chimique globale des feuilles d'olivier cultivé (exprimé en g par 100g) selon plusieurs auteurs (Aouidi., 2012).

Composition (%)	Garciagomez et al. 2003	Martingarcia et al. 2006	Boudhrioua et al. 2009	Erbay et Icier., 2009
Eau	nd	41,4	46,2 – 49,7 a	49,8 a
Protéines	nd	nd	5.0-7.6 a	7.0 b
Lipides	6.2 b	3.2 b	1.0-1.3 a	6.5 a
Minéraux	26.6 b	16.2 b	2.8-4.4 a	3.6 b
Glucides	nd	nd	37.1-42.5 a	27.5 a
Fibres brutes	nd	nd	nd	7.0 a
Cellulose	19.03 b	nd	nd	Nd
Hémicellulose	25.04 b	nd	nd	Nd
Lignine	30.4 b	nd	nd	Nd
Polyphénols Totaux	nd	2.5 b	1.3-2.3 b	Nd
Tannins Solubles	nd	nd	nd	Nd
Tannins condensé	nd	0.8 b	nd	Nd

a : correspond aux valeurs exprimées par rapport à la masse fraîche des feuilles d'olivier.

b : correspond aux valeurs exprimées par rapport à la masse sèche des feuilles d'olivier.

nd : valeur non déterminée

Tableau 2. Composition en acides aminés des feuilles d'olivier fraîches (exprimé en g par Kg d'azote total) (Martin et Malina, 2008).

Acides aminés	Concentration
Acide aspartique	27,5
Acide glutamique	35,1
Serine	44,5
Glycine	79,6
Histidine	25,4
Arginine	162,0
Threonine	46,8
Alanine	73,8
Proline	84,2
Tyrosine	32,3
Valine	74,8
Méthionine	5,3
Cystéine	1,6
Isoleucine	58,8
Leucine	104
Phénylalanine	51,8
Lysine	91,1
Acides aminés essentiels	547
Acides aminés non essentiels	379
Acides aminés totaux (sans tryptophane)	926

Tableau 3 : Composition en minéraux des feuilles d'olivier (exprimé en g par kg de matière sèche) (Aouidi, 2012).

Minéraux	Concentration
Calcium (Ca)	12.7
Phosphore (P)	2.1
Manganèse (Mg)	1.9
Potassium (K)	6.3
Fer (Fe)	273.0
Cuivre (Cu)	10.7
Zinc (Zn)	21.3
Magnésium (Mn)	50.0

I.3.3. Domaines d'utilisations des feuilles d'olivier

I.3.3.1. Domaine de l'alimentation animale

Les feuilles sont utilisées dans l'alimentation des moutons et chèvres (Delgado- Pertinez et al. 2000). Elles sont également utilisées dans l'alimentation des dindes pour améliorer la qualité de leurs viandes (Botsoglou et al. 2010).

I.3.3.2. Domaine thérapeutique

La consommation humaine d'infusion des feuilles d'olivier est bénéfique pour la santé (Giao et al. 2007). Les feuilles d'olivier ont un pouvoir anti- inflammatoire, antifongique et antimicrobien (Talhaoui et al. 2015).

I.3.3.3. Domaine pharmaceutique

La valorisation concerne l'extraction des tocophérols et de l'oleuropéine, ainsi que la production de l'hydroxytyrosol. D'autres substances extraites des feuilles d'oliviers sont également aussi valorisées, telles que les flavonoïdes, les stérols et les alcools gras (Orozco-Solano et al. 2010).

I.3.3.4. Domaine cosmétologique

Les feuilles sont utilisées dans la formulation des produits cosmétiques, telles que les savons, les crèmes (Tadashi, 2006).

I.3.3.5. Industries alimentaires

Les feuilles d'oliviers et les extraits des feuilles d'oliviers sont largement utilisés en industrie alimentaire, les additifs alimentaires et les matières alimentaires fonctionnelles et leurs valeurs nutritives (Lee et al. 2009).

Les feuilles peuvent être utilisées comme stabilisant des huiles végétales (Faraget al. 2007 ; Bouazizet al. 2008), comme ingrédients dans la formulation d'aliment pour les hyperglycémiques (Komaki, 2003). Les tocophérols protègent contre l'oxydation naturelle des acides gras, en particulier les acides gras polyinsaturés. Les feuilles peuvent être aussi utilisées pour la conservation de la viande fraîche de dinde (Djenane et al. 2012).

I.3.4. Intérêt des feuilles d'olivier sur la santé

Des études épidémiologiques ont montré que le régime méditerranéen traditionnel est associé à une faible incidence de maladies cardiovasculaires et de certains cancers (Lee et al. 2009).

Cependant, l'utilisation des feuilles d'olivier est d'un grand intérêt, car elles sont une excellente source de composés nutritifs et bioactifs tels que les polyphénols, les composés volatils, les phytostérols, les acides gras, les tocophérols, le squalène et les pigments colorants, qui peuvent être utilisés comme additifs alimentaires potentiels et/ou nutraceutiques (Žugčić et al. 2019).

Par leurs effets sur certains enzymes métaboliques, les feuilles d'olivier présentent des propriétés anti-lipidimique et sont aussi indiquées pour le traitement du diabète. (Aouidi, 2012).

I.3.5. Utilisations traditionnelles des feuilles

Les feuilles ont été largement utilisées dans les remèdes traditionnels dans les pays européens et méditerranéens comme des extraits, des tisanes, et des poudres (Karakaya, 2009). Ils contiennent plusieurs composés potentiellement bioactifs (Wainstein et al. 2013).

Les feuilles d'olivier sont diurétiques et préconisées dans l'hypertension artérielle modérée. L'extrait de feuilles est utilisé comme adjuvant dans les formes légères de diabète (au cours de la grossesse ou en cas d'obésité) (Ghedira, 2008).

Les feuilles aussi ont été largement utilisées en tant que remède pour le traitement de la fièvre (Lee et al. 2009) et d'autres maladies comme le paludisme. Ils ont été consommés sous forme d'un extrait, d'un ensemble de poudre de herbor ou tisane.

Ces propriétés comme : antioxydantes (Garcia et al. 2006), anti-hypertensive, anti-inflammatoire (Visioli et al. 1998), hypoglycémique et hypocholestérolémiantes est associée à une diminution du LDL-C, des LDL oxydées et des triglycérides (Jemal et al. 2008) . L'étude réalisée par (Jemal et al. 2008) montre que l'extrait de feuille d'olivier diminue le taux de TSH sanguin avec une augmentation de la t3, probablement due à une stimulation de l'enzyme qui convertit la T4 en T3.

Les feuilles possèdent également des propriétés antimicrobiennes (Pereira et al. 2007) contre certains microorganismes tels que les bactéries, les champignons et les mycoplasmes (Ghanbari et al. 2012).

Les feuilles d'olivier possèdent la plus forte capacité à piéger les radicaux libres par rapport aux différentes parties d'olivier (Savournin et al. 2001).

II.Généralités

II.1. Généralités sur le séchage

Le séchage est l'une des anciennes méthodes de conservation des aliments. Selon (Alibas, 2007), Le séchage est défini comme une méthode de stockage qui permet une meilleure conservation , principalement utilisé pour les produits alimentaires à haute teneur en humidité (80%) tels que les fruits, les légumes et autres produits alimentaires considérés comme hautement périssables (**Asioli et al., 2019**).

(Bonazzi et bimbenet., 2003) définissent le séchage comme l'opération d'évaporation de l'humidité contenue dans les aliments pour stabiliser les denrées périssables en réduisant l'activité de l'eau (aw) afin d'obtenir un produit solide et sec avant son utilisation dans un procédé industriel.

Quelle que soit la méthode de séchage (air chaud ou micro-ondes), le transfert d'humidité est dû à la différence de pression de vapeur d'eau entre l'intérieur du produit et la surface, qui fournit une force attractive pour l'eau (Maskan, 2001).

II.2. Définition

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste à l'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant ainsi la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique, afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage (Verdier et al. 2016), ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (Djerroud et al. 2010).

II.3. Principes de séchage.

La première idée qui vient à l'esprit pour sécher un produit est de le porter à la température d'ébullition de l'eau, qui alors se vaporise. En réalité, ce principe n'est pas le plus employé et l'on préfère souvent opérer à température moins élevée en utilisant l'air comme gaz d'entraînement [Roland., 2000].

II.4. Objectif de séchage

Le but principal du séchage est de réduire l'activité de l'eau de divers matériaux périssables, en convertissant ces derniers en produits stables. Elle consiste à éliminer l'excès d'humidité des produits en évaporant l'eau qu'ils contiennent afin de permettre leur conservation à température ambiante.

II.5. Méthode du séchage

Pour extraire l'eau d'un produit, différents modes peuvent être utilisés :

II.5.1. Séchage à l'air libre

Cette méthode est la plus ancienne et elle est utilisée jusqu'à nos jours. Elle est basée sur un transfert de l'eau de la matrice voulue séchée vers l'air ambiant. En effet, une faible humidité relative de l'air correspond à une température élevée, ce qui lui confère une plus grande capacité d'entraînement de l'humidité. Ainsi l'augmentation de la température de l'air ambiant et sans effet sur sa teneur en vapeur d'eau, mais les variations de température dans une matrice hydratée aura une incidence sur le contenu en vapeur d'eau de cette dernière (Hossain et al. 2003).

II.5.2. Séchage à étuve

Le séchage à l'air classique est l'une des opérations les plus utilisées pour éliminer l'humidité ou les solvants présents dans une substance en la plaçant dans une étuve à température contrôlée. L'étuve est généralement un appareil fermé avec des parois isolantes et une source de chaleur interne. Le matériau à sécher est étalé ou placé dans les plateaux à l'intérieur de l'étuve, puis la température est réglée en fonction des exigences spécifiques du processus de séchage. L'objectif du séchage à étuve est de réduire le contenu en humidité d'un matériau jusqu'à atteindre un niveau spécifique. Le séchage à l'air offre des produits déshydratés pouvant avoir une durée de vie prolongée, mais malheureusement, la qualité d'un produit séché de manière conventionnelle est généralement considérablement réduite par rapport à celle du produit alimentaire d'origine (Vasseur, 2009).

II.5.3. Séchage par micro-onde

Les micro-ondes font partie du spectre électromagnétique et forment la bande de fréquences s'étendant de 300 MHz à 300 GHz (10⁹ Hz). Dans la mesure où elles ne rencontrent pas une surface métallique, sur laquelle elles se réfléchissent, les micro-ondes pénètrent les objets et s'y transforment en chaleur. Cette constatation se fait particulièrement dans le cas d'un matériau contenant de l'eau, qui les absorbe facilement. (Douglas, 1993). IL a été rapporté qu'il était au moins deux fois plus efficace que les méthodes de séchage conventionnelles pour les aliments (Rattanadecho et *al*, 2015).

Le séchage par micro-onde présente plusieurs avantages, entre autres comme une opération très rapide dans le temps, permettant des économies d'énergie, et une qualité du produit plus élevée. Ce séchage est très élargi dans diverses applications comme l'inactivation, la stérilisation enzymatique et la pasteurisation des produits alimentaires (jus de fruit, laits, purée alimentaire, viande) (Fito et *al*, 2005).

II.5.4. Séchage par four infrarouge

Le séchage par four infrarouge est une méthode utilisée pour éliminer l'humidité d'un objet ou d'un matériau en utilisant des sources de chaleur infrarouge. Contrairement au séchage par four à microonde, qui utilise des ondes électromagnétiques à haute fréquence, le séchage par four infrarouge repose sur l'émission de rayonnement infrarouge pour chauffer l'objet et évaporer l'eau. Dans un four infrarouge, des éléments chauffants spéciaux émettent des rayons infrarouges qui pénètrent dans l'objet et transfèrent de la chaleur directement aux molécules d'eau. Ces molécules d'eau absorbent l'énergie

infrarouge, ce qui provoque leur évaporation et leur élimination de l'objet (Riadh et al. 2015).

Le séchage par four infrarouge est couramment utilisé dans l'industrie pour sécher divers matériaux. Il est souvent préféré lorsque la rapidité du processus est un des facteurs critiques, car les sources de chaleur infrarouge peuvent atteindre des températures élevées en peu de temps, permettant ainsi un séchage rapide.

II.6. Les procédés de séchage

II.6.1. Le séchage par conduction

Le séchage est effectué en mettant directement le matériau en contact avec une surface chaude (enveloppe, plaque ...) (Zhu et Hummer, 2012).

II.6.2. Le séchage par convection

L'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est apportée par un gaz chaud qui circule au contact du matériau à sécher. Ce dernier joue aussi le rôle de vecteur transportant la vapeur produite hors de l'enceinte de séchage (Esfahani *et al.* 2015).

II.6.3. Le séchage par rayonnement

Le processus dans lequel la chaleur est transférée d'une source de rayonnement, telle que le soleil ou un radiateur, à un matériau humide pour évaporer l'humidité. Le séchage par rayonnement utilise directement l'énergie rayonnante.

L'énergie est apportée par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques (Wang *et al.* 2015).

Partie pratique

I. Matériel et méthodes

III. Matériel et méthodes

III.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est récolté le mois de février 2023, dans la région de Tazmalt, wilaya de Bejaia, au sud-ouest de l'Algérie. La variété (*Olea europaea*) se caractérise par une couleur vert-gris. Après la récolte des feuilles d'olivier, une fois au laboratoire, un tri préliminaire a été effectué (élimination des feuilles perforées, fragmenter, endommagées, portant des taches, pourries ou présentant des signes d'attaque causés par des insectes nuisibles). Ensuite, les feuilles ont été mises dans une boîte bien fermée.



Figure 6 : Photographie des feuilles d'olivier(*Olea europaea*)

III.2. Procédures de séchage

Le séchage des feuilles d'olivier est effectué par différentes méthodes : à l'air libre, par l'étuve ventilée, par four micro-onde et four infrarouge.

III.2.1. Séchage à l'air libre

Les feuilles d'olivier (15 g) sont étalées en une seule couche pour une aération optimale, à 2 m du sol. Les propriétés psychométriques de l'air pendant le séchage sont d'environ 23 °C (20-25 °C). Pendant les 7 jours de séchage, l'humidité relative de l'air était d'environ 72%, il est important de retourner les feuilles de temps en temps pour qu'elles sèchent uniformément. L'échantillon est pesé toutes les 24 h jusqu'à ce que la masse se stabilise.

III.2.2. Séchage par étuve

Les feuilles d'olivier (15g) sont étalées sur un verre de montre puis séchées dans une étuve (WTC BINDER, Figure 7) en utilisant quatre différentes températures (40, 70, 95 et 120 °C). La masse des feuilles est enregistrée périodiquement jusqu'à atteindre la stabilité.



Figure 7 : Photographie d'une étuve

III.2.3 Séchage par micro-onde

Le procédé de séchage est effectué à l'aide d'un four à micro-ondes (modèle Maxipower) caractérisé par une cavité de 22,5 cm (L) x 37,5 cm (L) x 38,6 cm (H). Le four est équipé d'un système de contrôle numérique du temps d'irradiation et de la puissance des micro-ondes (100 à 1000 W) et de la fréquence de fonctionnement de 2450 kHz.

Les feuilles d'olivier sont étalées sur un verre de montre, ensuite séchées au four micro-onde (Figure 8) en utilisant quatre différentes puissances (100, 400, 700 et 1000 W). La masse des feuilles est suivie par pesée de l'échantillon jusqu'à la stabilité.



Figure 8 : Photographie du four micro-onde

III.2.4. Séchage par infrarouge

La cinétique de séchage des feuilles d'olivier a été réalisée à l'aide d'un four infrarouge (RADWAG, MAC 50/NP, Figure 9) en utilisant quatre températures (40, 70, 95 et 120 °C).

La méthode consiste à placer les feuilles d'olivier en couche mince à l'intérieur de l'appareil sur une coupelle d'aluminium. Le four est équipé par une balance analytique pour la détection de la diminution du poids au cours de séchage. Ainsi, l'évolution de la masse de l'échantillon est enregistrée en continu au cours de temps jusqu'à ce que la masse devienne constante.



Figure 9 : Photographie du four infrarouge

IV. Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus couramment utilisées pour la conservation des fruits, légumes, etc. Parce qu'il réduit l'activité de l'eau et permet une protection pour une durée plus prolongée (Huang et al. 2016). L'eau représente une source de dégradation des produits par l'intervention de l'activité enzymatique, l'attaque des microorganismes et les réactions chimiques. Parmi les méthodes de séchage figurent les procédés traditionnels ou conventionnels comme l'air libre et les étuves ainsi que les méthodes innovantes telles que le micro-onde et l'infrarouge.

IV.1. Cinétique de séchage conventionnel

IV.1.1. Cinétique de séchage à l'air libre

La méthode la plus courante de séchage naturel est le séchage à l'air, c'est une méthode simple, facilement accessible aux familles aux ressources limitées, pour conserver les produits de saison (Maseko *et al.* 2019).

Pour éviter les limitations du séchage pendant les périodes plus froides, le séchage au four est un excellent moyen de le faire. Selon les rapports, cette méthode peut retenir plus de composés, réduire le temps de séchage et améliorer les attributs sensoriels tels que la couleur et la texture par rapport à l'air libre (Mdziniso *et al.*, 2006).

(La figure 10) montre l'évolution de la perte de poids au cours de séchage des feuilles d'olivier à l'air libre.

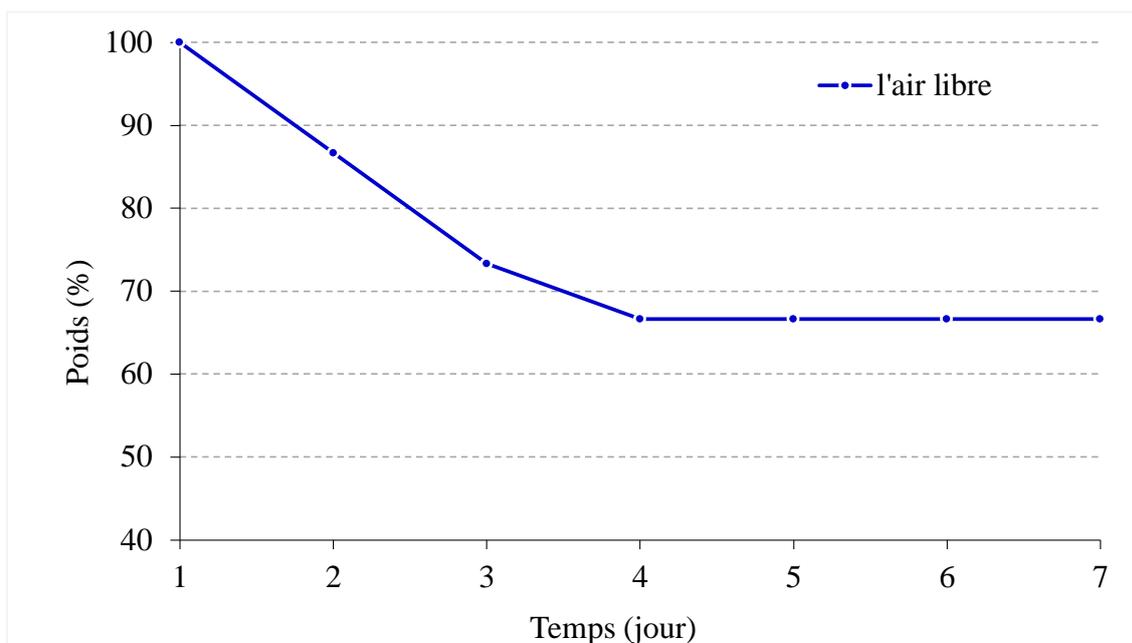


Figure 10 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température à l'air libre

D'après la courbe on a remarqué que la perte de poids de l'échantillon séché à l'air libre a progressivement diminué pour se stabiliser à partir de 4^{ème} jour à une valeur de 66.66%. Au début du séchage, les molécules d'eau qui ne sont pas liées à diverses structures végétales sont facilement éliminées de l'échantillon, mais à la fin du processus, l'eau liée restante est moins susceptible de s'évaporer.

Le poids des feuilles d'olivier diminue au cours de séchage à l'air libre en raison de l'élimination de l'eau contenue dans les tissus végétaux. Lorsque les feuilles sont fraîches, elles contiennent une certaine quantité d'eau, sous forme de sève et à l'intérieur des cellules. Le processus de séchage permet à cette eau de s'évaporer progressivement dans l'atmosphère, ce qui entraîne une diminution du poids des feuilles. Quand les feuilles d'olivier sont exposées à l'air libre, l'humidité à la surface des feuilles s'évapore d'abord, créant un gradient de concentration en eau entre l'intérieur et l'extérieur des feuilles. Ce gradient de concentration favorise la diffusion de l'eau des parties internes des feuilles vers la surface, où elle peut s'évaporer dans l'air. Lorsque les feuilles d'olivier sont exposées à l'air libre, l'eau contenue dans les feuilles s'évapore progressivement.

L'évaporation de l'eau entraîne une réduction du poids des feuilles. La chaleur environnante a un effet sur les molécules d'eau présentes dans ces feuilles. La chaleur

Fournis l'énergie nécessaire pour accélérer l'évaporation de l'eau. Lorsque la température augmente, les molécules d'eau absorbent cette énergie thermique et commencent à déplacer plus rapidement.

IV.1.2. Cinétique de séchage par étuve

Les figure (11, 12) illustrent l'évolution de la perte de poids en fonction de couple temps-température de séchage des feuilles d'olivier a étuve.

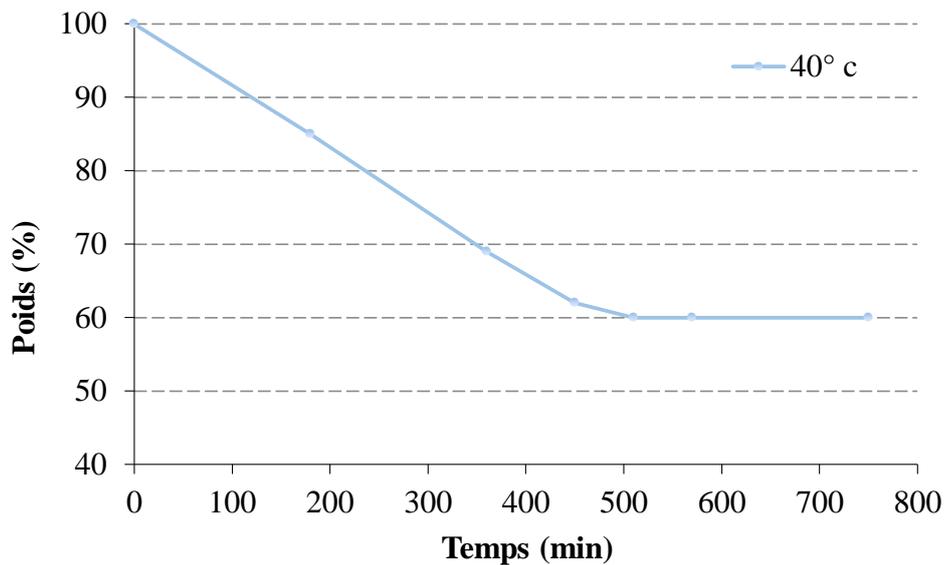


Figure 11 : Evolution de la perte de poids en fonction de temps-température.

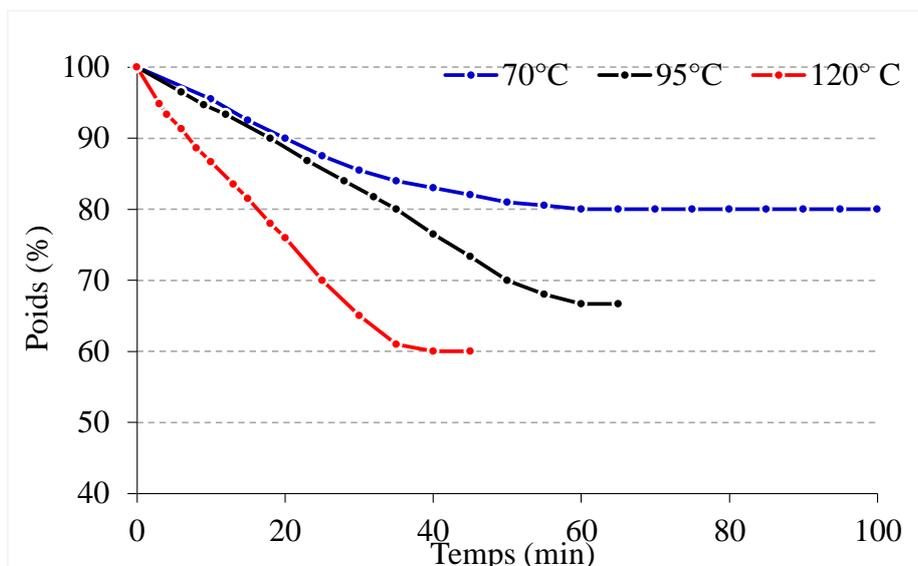


Figure 12 : Evolution de la perte de poids en fonction de temps-température

D'après les courbes, on peut voir que la perte de poids des feuilles d'olivier est proportionnelle au couple temps-température pour toutes les températures étudiées. En

effet, à des températures élevées (70, 95 et 120 °C), la perte d'eau était beaucoup plus rapide (respectivement 60, 60 et 40 min). A 40 °C, la masse devient stable après (510 min), donc le taux de perte est plus lent par rapport à la température précédente. Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée.

Hihat *et al.* (2017) ont constaté que la perte d'humidité avait également une relation proportionnelle avec l'augmentation de la température et inversement proportionnelle au temps requis pour le séchage.

Le principe de fonctionnement de l'étuve que l'air chaud circule autour de matériaux pour évaporer l'eau qu'il contient. Le séchage par étuve est couramment utilisé dans de nombreux domaines, tels que l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire, la chimie et le textile.

La teneur en eau diminue progressivement en raison de l'application de chaleur et de la circulation de l'air chaud. L'élévation de la température dans l'étuve provoque l'évaporation de l'eau présente dans le matériau. L'eau liquide se transforme en vapeur d'eau et s'échappe dans l'atmosphère environnante. Plus la chaleur est élevée, plus l'évaporation est rapide. Lorsque la température est élevée dans l'étuve, une différence de concentration en eau se crée entre l'intérieur des feuilles et l'atmosphère environnante. Cela entraîne une diffusion de l'eau vers les zones de concentration plus faible. Ce processus de diffusion favorise la diminution de la teneur en eau dans les feuilles.

Cette méthode permet un séchage rapide et contrôlé de matériaux, réduisant ainsi le temps et les coûts de production.

IV.2. cinétique de Séchage innovant

IV.2.1. Cinétique de séchage par micro-onde

Les résultats de l'évolution de la perte de poids des échantillons des feuilles d'olivier en fonction du temps de séchage au micro-onde pour les différentes puissances (100, 400, 700 et 1000 W) sont représentés dans les figures (13, 14).

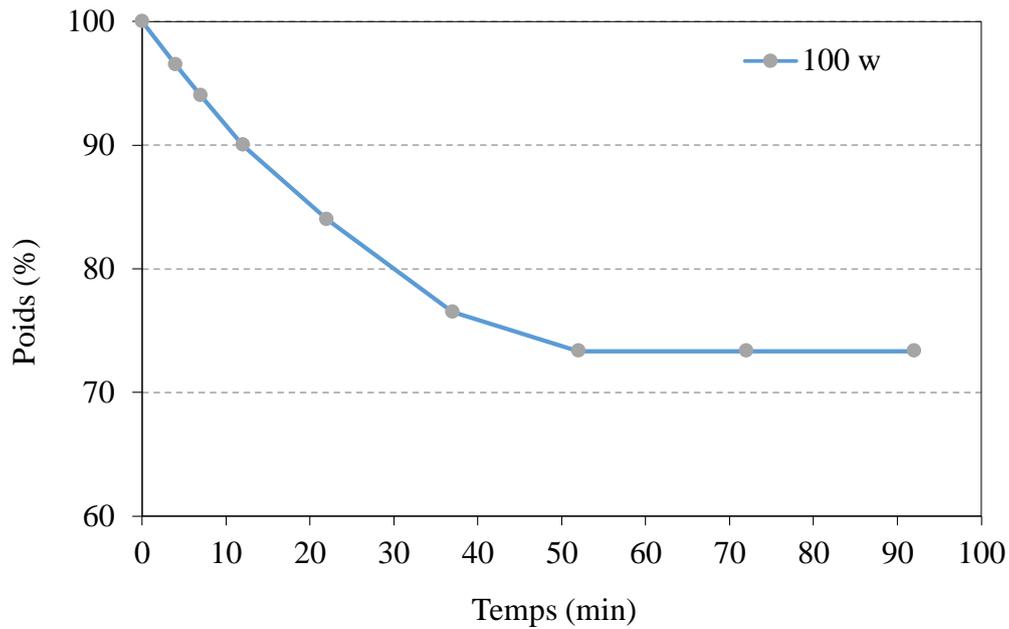


Figure 13 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température du séchage par micro-onde (100 W).

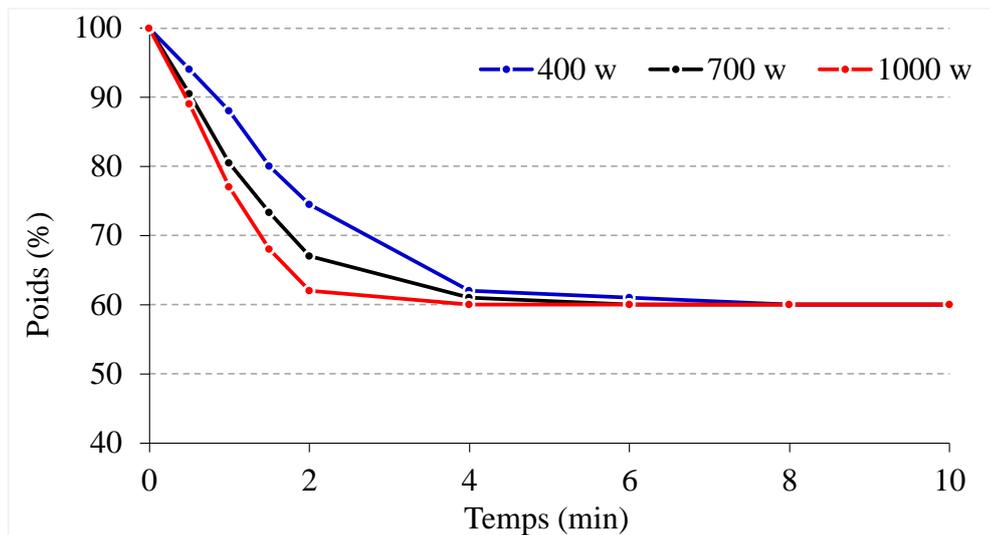


Figure 14 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température du séchage par micro-onde.

La cinétique de séchage a montré que la teneur en eau diminuait avec la progression du temps de séchage par micro-onde. L'évolution de la perte de poids est différente d'une puissance à une autre. Le temps de séchage le plus court a été enregistré à 1000 W avec une durée de 4 min (240 s), alors que le temps de séchage le plus long a été enregistré à 100 W avec une durée de 52 min (3120 s).

En effet l'augmentation de la puissance des micro-ondes augmente sensiblement la vitesse de la perte de poids, ce qui diminue automatiquement le temps de séchage.

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques qui ont une interaction directe avec les molécules polaires, comme les molécules d'eau. Lorsque les feuilles d'olivier sont séchées à l'aide d'une micro-onde, la chaleur générée par le rayonnement micro-onde a un impact sur les molécules d'eau présentes dans les feuilles. La chaleur transférée aux molécules d'eau provoque leur évaporation, ce qui entraîne le processus de séchage. Lorsque les micro-ondes pénètrent dans les feuilles d'olivier, elles provoquent un mouvement rotatif des molécules d'eau, ce qui génère de la chaleur par frottement interne. Cette chaleur excite les molécules d'eau et augmente leur énergie cinétique, ce qui entraîne leur vaporisation. Pendant le processus de séchage par micro-ondes, la chaleur est distribuée de manière relativement uniforme à l'intérieur des feuilles, ce qui favorise une évaporation plus rapide de l'eau.

Les résultats obtenus montrent que la durée de séchage est inversement proportionnelle aux puissances de séchage, les temps de séchage les plus rapides sont obtenus à de fortes puissances. Cela a été démontré par Ghanem et al. (2012) sur l'écorce d'agrumes.

L'efficacité du séchage par micro-ondes peut s'expliquer par la pression interne élevée, qui entraîne une augmentation des gradients de concentration par l'évaporation du liquide à travers le produit, entraînant une stabilité de la perte de poids (Chemat, *al.* 2004). Le séchage par micro-ondes est basé sur le principe de l'interaction des micro-ondes avec les molécules d'eau présentes dans les matériaux à sécher.

Les micro-ondes ont une longueur d'onde qui leur permet de pénétrer à l'intérieur des aliments et d'autres matériaux. Lorsque les micro-ondes entrent en contact avec l'eau, ils font vibrer les molécules d'eau, produisant de la chaleur. Cette chaleur est alors utilisée pour sécher le produit.

IV.2.2. Cinétique de séchage par infrarouge

Le séchage par infrarouge est une méthode utilisée pour sécher les matériaux en surface à l'aide de rayons infrarouges. Le but principal de séchage par infrarouge est d'accélérer le processus de séchage en chauffant rapidement la surface à sécher, ce qui permet d'évaporer rapidement l'humidité présente.

Le but de séchage par infrarouge réduit la teneur en eau des feuilles pour améliorer leur qualité et prolonger leur durée de conservation. La réduction de la teneur en eau de ces feuilles permet de les préserver plus longtemps et de mieux conserver leur qualité nutritionnelle et phytochimique.

La perte de poids en fonction de couple temps-température du séchage assisté par infrarouge sont représentés dans les figures (15, 16)

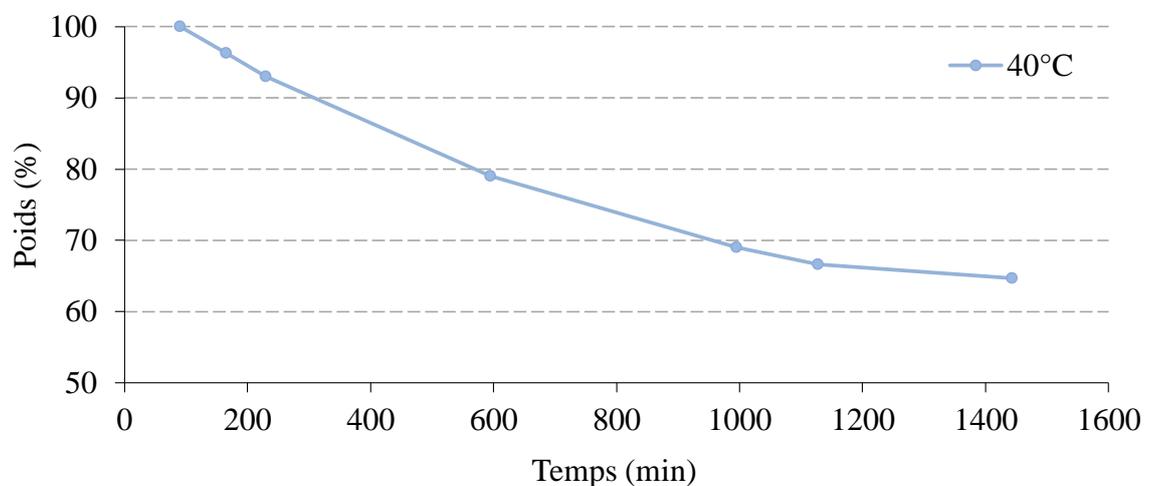


Figure 15 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps-température au séchage par infrarouge à 40 °C.

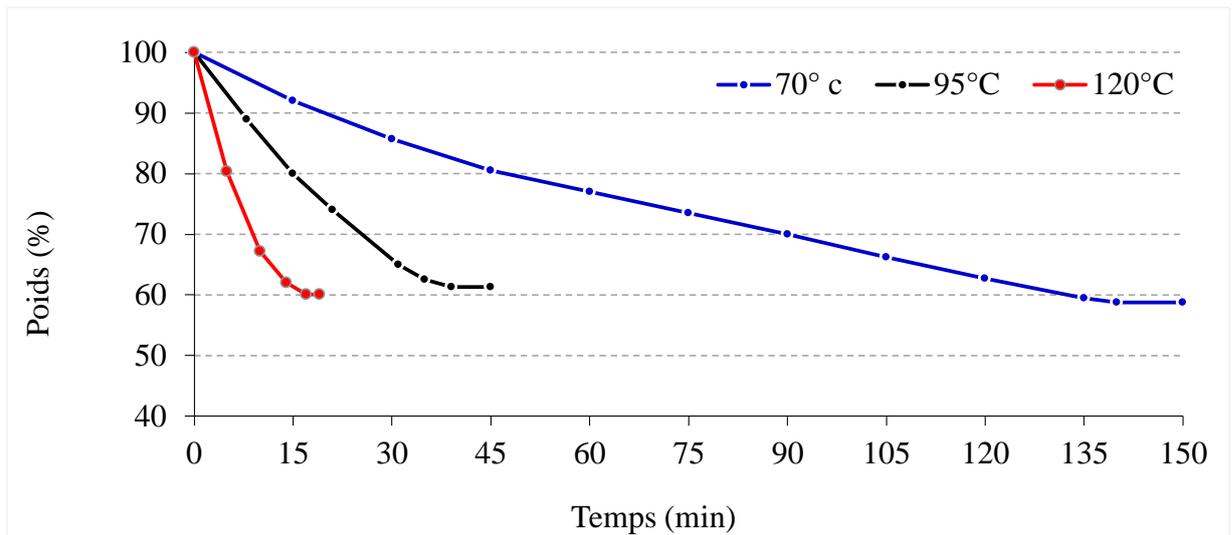


Figure 16 : Evolution de la perte de poids en fonction de couple temps-température au séchage par infrarouge à 70, 90 et 120 °C.

Les courbes montrent la variation de la perte de poids en fonction du temps et de la température de séchage. Le poids de l'échantillon diminue avec la progression dans le temps. Le temps de séchage le plus long est attribué à la température de 40 °C qui est de 1440 min. Par contre, le temps le plus court est obtenu lorsque le séchage à 120 °C (17 min).

Tout d'abord, l'élévation de la température est augmentée par l'agitation thermique des molécules d'eau. Ces dernières commencent à absorber l'énergie des radiations infrarouges, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de vibration et de rotation de ces molécules. Par la suite, ces mouvements moléculaires produisent des frictions permettant de générer de la chaleur ce qui favorise la diffusion de l'eau et son évaporation des feuilles d'olivier.

Lors de séchage par four infrarouge des feuilles d'olivier, la chaleur joue un rôle essentiel dans l'évaporation de l'eau présente dans les feuilles. Lorsque la chaleur est appliquée aux molécules d'eau, elles absorbent cette énergie, ce qui entraîne une augmentation de la température et peut éventuellement provoquer l'évaporation de l'eau.

La cinétique de séchage des feuilles d'olivier par infrarouge montre que plus la température est élevée, plus le temps de séchage est court et que la vitesse de séchage est rapide.

IV.3. Discussion générale sur le séchage

Le tableau(4) résume le temps nécessaire pour le séchage pour les différentes méthodes de séchage étudiées en fonction du temps. La comparaison entre les méthodes de séchage indique que le transfert de poids au sein de l'échantillon a été rapide au cours de séchage par micro-ondes par rapport au séchage par étuve. Le séchage innovant ne nécessite que 52min pour la puissance minimale de 100 W, alors que, pour la température de 40 °C, le séchage conventionnel a été achevé après 96 heures.

Les résultats montrent que le séchage innovant (micro-ondes, infrarouge) permet de déshydrater mieux le matériel végétal que le séchage conventionnel. Ce qui confirme l'efficacité du séchage micro-onde en termes de temps.

Tableau 4 : Temps de séchage en fonction de la température ou de la puissance par les différentes méthodes de séchage des feuilles d'olivier

Méthode de séchage	Température ou puissance	Temps de séchage
Air libre	23 °C	5 760 min (96 h)
Etuve ventilée	40 °C	510 min (8,5 h)
	70 °C	60 min (1 h)
	95 °C	60 min (1 h)
	120 °C	40 min
Four micro-onde	100 W	52 min
	400 W	8 min
	700 W	6 min
	1000 W	4 min
Four infrarouge	40 °C	1 443 min (24 h)
	70 °C	140 min (2,3 h)
	95 °C	39 min
	120 °C	17 min

Le séchage en utilisant le four micro-onde est la méthode la plus efficace en particulier avec l'utilisant des puissances supérieures à 400 W. L'efficacité de séchage par four à micro-ondes peut être expliquée par une haute pression interne et les gradients de concentration qui augmentent l'évaporation de liquide à travers le produit jusqu'à la stabilité (Chemat *et al.* 2008).

Conclusion

Aujourd'hui, un grand nombre de plantes médicinales possèdent des propriétés biologiques très importantes et sont largement utilisées dans divers domaines tels que la médecine, la pharmacologie, la cosmétologie et l'agriculture. Ce regain d'intérêt vient d'une part du fait que les plantes médicinales sont une source inépuisable de substances biologiquement actives, d'autre part les effets secondaires provoqués par les médicaments inquiètent les usagers et les font se tourner vers des traitements moins agressifs pour l'organisme.

A la lumière des résultats obtenus, la cinétique de séchage montre que la méthode du séchage assisté par microonde, les feuilles d'olivier se déshydratent plus rapidement que par la méthode conventionnelle. En utilisant la plus faible puissance testée de micro-onde (100W), il a fallu seulement 52 min pour stabiliser le poids d'échantillon, par contre, pour la forte puissance du micro-ondes (1000W) 4 min sont suffisantes pour déshydratées les feuilles d'olivier. L'échantillon séché avec de basses températures (40°C) par l'étuve, il a fallu 510 min.

Le séchage par les méthodes innovantes (micro-ondes, infrarouge) déshydrate plus rapidement les feuilles d'olivier que le séchage par les procédés conventionnels, tels que le l'air libre et par étuve. L'utilisation de micro-onde est recommandée pour le séchage des feuilles d'olivier.

Références bibliographiques

A

Alibas I. (2007). Microwave, Air And Combined Microwave Air-Drying Parameters Of Pumpkin Slices. *Lwt Food Science And Technologie* 40 (2007) 1445-1451.

Alloum D. (1974). “L’oléiculture Algérienne”, *Options Méditerranéens*, N°24. P. 45-48.

Analysis. *Handbook Of Food Analysis Instruments*

Aouidi, F. (2012). Antimicrobial Activity Of Olive (*Olea Europaea* L. Cv. Cobrançosa) Leaves. *Molécules, Etude De La Valorisation Des Feuilles D’olivier Olea Europaea Dans L’industrie Agro-Alimentaire. Thèse E Doctorat, Institut National Des Sciences Appliquées Et De Technologie (Tunisie).*

Asioli, D., Rocha, C., Wongprawmas, R., Popa, M., Gogus, F. Et Almi, V. L. (2019). Microwavedried Or Air-Dried? Consumers' Stated Preferences And Attitudes For Organic Dried Strawberries. A Multi-Country Investigation In Europe. *Food Research International*, 120, 763-775.

B

Babouche Et Kellouche A., (2012). Etude De L'entomofaune De L'olivieraie De La Region De Tizi-Ouzou. Op Laboratoire D'entomologie. Departement De Biologie Faculte Des Sciences Biologiques Et Des Sciences Agronomiques. Universite De Tizi-Ouzou Algerie.

Beddiar A., Mekahlia M.N. Infectivité Et Efficacité De 4 Morphotypes De Spores De Champignons Endomycorhiziens A Arbuscules Extraits De Sols Algériens Et Inoculés A L’oléastre (*Olea Oleaster* « Hoofg. Et Link. »). Colloque International Sur Les Bio Tech World. Oran, Algérie, 24-25 Novembre (2007).

Belaj A., Trujillo I., De La Rosa R., Rallo L. Polymorphism And Discrimination Capacity Of Randomly Amplified Polymorphic Markers In An Olive Germplasm Bank. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, (2001), 126(1): 64-71. Doi: 10.21273/Jashs.126.1.64

Bensemmane A., (2009). L’oleiculture: Developpons Le Secteur De L’huile D’olive.

Bonazzi, C., &Bimbenet, J.J. (2003). Séchage Des Produits Alimentaire Principe.Techniques De L'ingénieur. Opération Unitaires Du Génie Industriel Alimentaire. Base Documentaire : Tib430duo (Ref : Article : F 3000).

Botsoglou E., Govaris A., Christaki E. And Botsoglou N. (2010). Effect Of Dietary Olive Leaves And/Or A-Tocopheryl Acetate Supplementation On Microbial Growth And Lipid Oxidation Of Turkey Breast Fillets During Refrigerated Storage. Food Chemistry 121, 17-22

Bouaziz M., Fki I., Jemai H., Ayadi M. And Sayadi, S. (2008). Effect Of Storage On Refined Andhusk Olive Oils Composition: Stabilization By Addition Of Natural Antioxidants From Chemlali Olive Leaves. Food Chemistry 108, 253-262.

Burnie, G., Forrester, S., Greig, D., &Guest, S. (2006). Botanica: Encyclopedie De Botanique Et D'horticulture. Menges, Paris .

C

Chemat, F., Tomao, V. Et Viot, M. (2008). Ultrasound-Assisted Extraction In Food
Cimato A. 2008-Olive Nursey Production And Plant Production Techniques-International Olive Council; [Http://Www.Intemationaloliveoil.Org/Downloads/Projects/Index.Htm](http://Www.Intemationaloliveoil.Org/Downloads/Projects/Index.Htm).

Civantos L. (1983). Valorisation Des Sous-Produits De L'olivier, Réunion Du Comité Technique (Fao), 143-145.

D

Delgado-Pertinez M., Gomez-Cabrera A. And Garrido A. (2000). Predicting The Nutritive Value Of The Olive Leaf (*Olea Europaea*): Digestibility And Chemical Composition And In Vitro Studies. Animal Feed Science And Technology 87,187-201.

Djenane D., Yanguela J., Derriche F., Bouarab L & Roncales P. (2012). Extrait De Feuilles D'olivier ; Tests In Vitro Vis-A-Vis De Staphylococcus Aureus, Salmonella Enteritidis Et Pseudomonasaeruginosa ; Application Sur La Viande De Dinde. Phytothérapie : 10-18.

Douglas, C. G. (1993). Physique Générale 2 : Electricité Et Magnétisme. Canada : Deboeck Université, P. 282, 287.

Douzane M, Daas M-S, Meribai A, Guezil A-H, Abdi A, Tamendjari A. (2021). Evaluation Physico-Chimique Et Sensorielle Des Huiles D'olive Vierges De Plusieurs Régions Oléicoles Algériennes .Ocl 28 :55

E

El S.N. Et Karakaya S., (2009). Olive Tree (*Olea Europaea*) Leaves: Potential Beneficial Effects On Human Health. *Nutrition Reviews*, 67(11), 632-638.

Esfahani, J. A., Vahidhosseini, S. M. Et Barati, E. (2015). Three-Dimensional Analytical Solution for Transport Problem During Convection Drying Using Green's Function Method (Gfm). *Applied Thermal Engineering*, 85, 264-277.

F

Farag R.S., Mahmoud E.A. And Basuny A.M. (2007). Use Crude Olive Leaf Juice As A Natural Antioxidant For The Stability Of Sunflower Oil During Heating. *International Journal Of Food Science & Technology* 42,107-115.

Fito P, Chiralt A Et Martin E-M. (2005). Current State Of Microwave Applications To Food

G

Garcia M., Rues Y., Moumen A., Alcaide M. (2006). Effet Of Polyethylene Glycol, Urea And Sunflower Meal On Olive (*Olea Europaea* Var .*Europaea*) Leaf Fermentation In Continuous Fomenters. *Small Ruminant Research*, 61,53-61.

Ghanbari R ., Farooq A., Alkharfy Khalid M., Gilani A-H. And Saari N. (2012). Valuable Nutrients And Functional Bioactives In Different Parts Of Olive (*Olea Europaea* L.) A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 3291-3340.

Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N. Et Mihoubi, N. B. (2012). Microwave Dehydration Of Three Citrus Peel Cultivars: Effect On Water And Oil Retention Capacities, Color, Shrinkage And Total Phenols Content. *Industrial Crops And Products*, 40, 167-177.

Ghedira K, (2008). L'olivier, *Phytothérapie* . 6: 83–89.

Giao M.S., Gonzalez-Sanjose M.L., Rivero-Perez M.D., Pereira C.I., Pintado M.E. And Malcata F.X. (2007). Infusions Of Portuguese Medicinal Plants: Dependence Of Final Antioxidant Capacity And Phenol Content On Extraction Features. *Journal Of Science Food & Agriculture* 87,2638-2647.

H

Henry S. (2003). L'huile D'olive, Son Intérêt Nutritionnel, Ses Utilisations En Pharmacie Et En Cosmétique. Diplôme D'etat De Docteur En Pharmacie. Université Henri Poincare - Nancy 18, 214- 22.

Hihat,S., Remini,H.,& Madani, K.(2017). Effet Du Séchage Au Four Et Au Microonde Sur Les Composés Phénolique Et La Capacité Antioxydante Des Feuilles De Coriandre. *International Food Research Journal*, 24(2), 503-509.

Hmamouchi, M., (1997). Plantes Alimentaires, Aromatiques, Condimentaires, Médicinales Et Toxiques Au Maroc. 89 -108

Hossain Ma, Bala Bk Et Satter Ma. (2003). Simulation Of Natural Air Drying Of Maize Incrubs. *Simulation Modelling Practice And Theory*, 11(7–8):571-583.

Huang J, Zhang M ,Adhikari B Et Yang Z.(2016). Effect Of Microwave Air Spouted Drying Arranged In Two And Three Stages On The Drying Uniformity And Quality Of Dehydrated Carrot Cubes. *Journal Of Food Engineering*.10 P.

J

Jemal H., Bouaziz M., Fkii., El Fakia A., Sayadi S. (2008). Hyolipidimic And Antioxidant Activities Of Oleuropien And Its Hydrolysis Derivative-Rich Extracts From Chemlali Olives Leaves. *Chemico-Biological Interactions* 176, 88-98.

K

Karakaya S. (2009). Olive Tree(*Olea Europaea*) Leaves : Potential Beneficial Effect On Human Health .*Nurtition Reviews* 67,632-638.

Khemakhem I., Abdelhedi O., Trigui I., Ayadi M. A., &Bouaziz M. (2018). Structural, Antioxidant And Antibacterial Activities Of Polysaccharides Extracted From Olive Leaves. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 106: 425–432.

Komaki E., Yamaguchi S., Maru I., Kinoshita M., Kakehi K. Ohta Y. And Tsakada, Y. (2003). Identification Of Anti-Amylase Components From Olive Leaf Extracts. Food Science. Technology. Research 1, 35-39.

L

Landolfi R., Mower R.L., Steiner M. (1984).Modification Of Platelet Function And Arachidonic Acid Metabolism By Bioflavonoids. Structure-Activity Relations, Biochem Pharmacol 33 :1525-1530.

Langgut 2022: <https://doi.org/10.1038/S41598-022-10743-6>.

Lee Oh., Lee B., Lee G., Lee H.B., Parck C.S. (2009). Assessment Of Phenolic Enriched Extract And Fraction Of Olive Leaves And Their Antioxidants Activities. Bioresource Technology 100 ,6107 -6113.

Loussert R., Brousse G. L'olivier. Techniques Agricole Et Production Méditerranéennes(Éd) Maisonneuve Et Larousse, Paris, France, (1978).

M

Martin-Garcia, A.I., Molina-Alcaide, E., (2008). Effect Of Different Drying Procedures On The Nutritive Value Of Olive (*Olea europaea* Var. *Europaea*) Leaves For Ruminants. Animal Feed Science And Technology, 142, 317-329. Technology, 142, 317-329.

Maseko, I., Mabhaudhi, T., Ncube, B., Tesfay, S., Araya, H. T., Fessehazion, M. K., Chimonyo, V.G.P., Ndhlala, A. R., & Du Plooy, C. P. (2019). Le Séchage Postrécolte Maintient Le Contenu Phénolique, Flavonoïde Et Gallotannin De Certains Légumes-Feuilles Africains Cultivés. Scientia Horticulturae, 255, 70-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.019>.

Maskan, M. (2001). Kinetics Of Colour Change Of Kiwifruits During Hot And Microwave Drying. Journal Of Food Engineering, 48,169-175.

Mdziniso, P.,Hinds, M. J., Bellmer, D.D., Brown, B., & Payton, M.E. (2006). Qualité Physique Et Teneur En Carotène Des Légumes Verts A Feuilles Et Jaunes Succulents Séchés Au Soleil. Plant Foods For Human Nutrition (Dordrecht, Pays-Bas), 61(1), 12-20. Pmid :16683189. <http://dx.doi.org/10.1007/S11130-006-0003-Y>.

N

Nefzaoui A. (1991). Contribution A La Rentabilité De L'oléiculture Par Une Valorisation Optimale Des Sous-Produits. *Options Méditerranéens*, 153-173.

O

Orozco-Solano M., Ruiz-Jiménez J. And Luque De Castro M.D. (2010). Ultrasound-Assisted Extraction And Derivatization Of Sterols And Fatty Alcohols From Olive Leaves And Drupes Prior To Determination By Gas Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. *Journal Of Chromatography A* 1217, 1227-1235.

Ouazzani N., Lumaret R., Villemur P. Apport Du Polymorphisme Allo-Enzymatique A L'identification Variétale De L'olivier (*Olea Europaea L.*). *Agronomie*, (1995), 15: 31-37.

Oulebsir, R. (2008). *Olivier En Kabylie, Entre Mythes Et Réalités*. Harmattan.

P

Pagnol J. L'olivier. Avignon : Ed, Aubanel, (1975).

Pereira A-P., Ferreira I., Marcelino F., Valentão P., Andrade P-B., Seabrar., Estevinho L., Bento A. Et Pereira J-A. (2007). Phenolic Compound And Antimicrobial Activity Of Olive (*Olea Europaea L. Cv. Cobrançosa*) Leaves. *Molécules* 12, 1153-1162.

Poljuha, D., Barbara, S., Karolina B. B., Marina R., Kristina B., Elvino Š., Marin K. And Aldo M. (2008). Istrian Olive Varieties. Processing. Universidad Politecnica De Valencia, Valencia, Spain. 535 P.

R

Rattanadechoa P., Makulb N. (2015). Microwave-Assisted Drying: A Review Of The State-Of-the-Art. *Drying Technology: An International Journal*, P. 02.

Riadh M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H., Et Soh, A.C. (2015). Infrared Heating In Food Drying: An Overview. *Drying Technology*, 33(3), 322-335.

Roland,C., André, J. (2000). Technique De L'ingenieur-Génie Des Procédés Séchage. 2 ; 2480-22 .

S

Savournin C., Baghdikian B., Elias R., Dargouth-Kesraoui F., Boukef K., Balansard G. (2001). Rapid High-Performance Liquid Chromatography Analysis For The Quantitative Determination Of Oleuropein In *Olea Europaea* Leaves. *J. Agric. Food Chem* 49, 618–621.

T

Tadashi U. (2006). Antiaging Food Compositions Containing Collagen, And Their Manufacture. Patent Written In Japanese, 7.

Talhaoui N., Taamalli A., Gómez-Caravaca A. M., Fernández-Gutiérrez A. And Segura- Carretero A. (2015). Phenolic Compound In Olive Leaves: Analytical Determination, Biotic And Abiotic Influence, And Health Benefits. *Food Research International* 77, 92–108.

Tourte, Y., And Bordonean, M., (2005). *Le Monde Des Vegetales : Organisations, Physiologie Et Genomique.* Eds. Dunod. Paris. France. 25-26.

V

Vasseur J. (2009). Séchage : Principes Et Calcul D'appareils. Séchage Convectif Par Air Chaud (Partie I). *Techniques De L'ingénieur. Opération Unitaire : Evaporation Et Séchage Base Documentaire (Ref : Article : J2451).*

Verdier, E., (2003). L'huilé d'olive.

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.

Visioli F., Bellosta S., Galli C. (1998). Oleuropein, The Bitter Principles Of Olives, Enhances Nitric Oxide Production By Mouse Macrophages. *Life Sci* 62, 541–546.

Visioli F., Poli A. Et Gall C., (2002). Antioxidant And Other Biological Activities Of Phenols From Olives And Olive Oil. *Medicinal Research Reviews*, 22(1), 65-75.

W

Wainstein J, Ganz T, Boaz M, Bar Dayan Y, Dolev E, Kerem Z, Madar Z. (2013). Olive Leaf Extract As A Hypoglycemic Agent In Both Human Diabetic Subjects And In Rats. *Natural Medicine*, 01- 477.

Z

Žugčić T., Abdelkebir R., Alcantara C., Collado Mc, García-Pérez Jv & Meléndez-Martínez Aj ., Barba Fj (2019). De L'extraction De Composés Précieux Aux Bienfaits Pour La Santé Des Feuilles D'olivier En Passant Par La Bio Accessibilité, La Biodisponibilité Et L'impact Sur Le Microbiote Intestinal. *Tendances De La Science Et De La Technologie Alimentaires*.

Zhu, F. Et Hummer, G. (2012) Drying Transition In The Hydrophobic Gate Of The Glic Channel Blocks Ion Conduction. *Biophysical Journal*, 103(2), 219-227.

Zohary D., Smartt J., Simmonds N.W., “Evolution Of Crop Plans”. Longman Scientificand Technical. United Kingdon, (1995), 379-282.

Résumé

Le séchage joue un rôle crucial, il permet de réduire la teneur en eau des feuilles d'olivier, ce qui prolonge leur durée de conservation. Dans ce contexte, le présent travail consiste à comparer les techniques de séchage, conventionnelles (l'air libre et étuve) et innovantes (four micro-onde et four infrarouge) des feuilles d'olivier (*Olea europaea*). Les cinétiques de séchage ont été réalisées en fonction de la perte de poids des feuilles d'olivier. Les résultats du temps de séchage obtenus par micro-onde sont beaucoup très réduits comparativement au séchage conventionnel. Le séchage par micro-ondes est basé sur le principe de l'interaction des micro-ondes avec les molécules d'eau présentes dans les matériaux à sécher. Par conséquent, les cinétiques de séchage montrent que, avec les méthodes innovantes du séchage assisté par micro-onde et four infrarouge, notre matrice végétale (les feuilles d'olivier) se déshydrate plus rapidement comparativement à la méthode conventionnelle.

Mots-clés : Feuilles d'olivier, séchage, air libre, étuve, micro-onde, infrarouge, cinétique.

Abstract

Drying plays a crucial role in reducing the water content of olive leaves, thereby extending their shelf life. In this context, the present study compares conventional (open air and oven drying) and innovative (microwave and infrared ovens) drying techniques for olive (*Olea europaea*) leaves. Drying kinetics were determined as a function of olive leaf weight loss. The drying time results obtained by microwave drying are much reduced compared with conventional drying. Microwave drying is based on the principle of the interaction of microwaves with the water molecules present in the materials to be dried. Consequently, the drying kinetics show that, with the innovative methods of microwave-assisted drying and infrared oven drying, our plant matrix (olive leaves) dehydrates faster than with the conventional method.

Keywords: Olive leaves, drying, open air, oven, microwave, infrared, kinetics.

ملخص

يلعب التجفيف دورًا حاسمًا، فهو يقلل من محتوى الماء في أوراق الزيتون، مما يطيل مدة صلاحيتها. في هذا السياق، يتكون العمل الحالي من مقارنة تقنيات التجفيف التقليدية (في الهواء الطلق والفرن) والمبتكرة (فرن الميكروويف وفرن الأشعة تحت الحمراء) لأوراق الزيتون (*Olea europaea*). تم إجراء حركية التجفيف على وفق الفقد الوزني لأوراق الزيتون. يتم تقليل نتائج وقت التجفيف التي يتم الحصول عليها بواسطة الميكروويف بشكل كبير مقارنة بالتجفيف التقليدي. يعتمد التجفيف بالميكروويف على مبدأ تفاعل الموجات الدقيقة مع جزيئات الماء الموجودة في المواد المراد تجفيفها. ونتيجة لذلك، تظهر حركية التجفيف أنه من خلال طرق التجفيف المبتكرة التي يتم دعمها بواسطة فرن الميكروويف والأشعة تحت الحمراء، فإن مصفوفة النبات (أوراق الزيتون) تجف بسرعة أكبر مقارنة بالطريقة التقليدية.

الكلمات المفتاحية: أوراق الزيتون، التجفيف، الهواء الطلق، الفرن، الميكروويف، الأشعة تحت الحمراء، الخواص الحركية.