

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique

محمد الصديق بن يحيى - جامعة جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Microbiologie Appliquée et
Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية وعلوم
التغذية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

**Impact du séchage sur les propriétés physico-chimiques, la qualité nutritionnelle
et l'activité antioxydante des figes (*Ficus carica L.*).**

Membres de Jury :

- Présidente : Dr. BEKKA F.
- Examinatrice : Mme. DJABALI S.
- Promotrice : Dr. BOUSSOUF L.

Présenté par :

CHABOUNIA Meriem
DJAFRI Nesrine

Année Universitaire : 2019/2020

Numéro d'ordre :

REMERCIEMENTS

-
Au nom d'Allah Le Tout Miséricordieux, Louange à Dieu, Seul, le tout puissant qui nous a donné la force, la santé et la patience et qui a guidé nos pas pour accomplir ce modeste travail. Seule, Sa foi, nous a inspiré et conforté afin d'atteindre ce but.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promotrice, Madame BOUSSOUF Lilia, Docteur au département de Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel, d'avoir accepté la direction scientifique de notre projet de fin de cycle. Qu'elle soit rassurée de notre profonde gratitude.

Nous sommes très honorées à remercier également Madame BEKKA Fahima, Docteur, à l'Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel pour le grand privilège qu'elle nous a fait d'avoir accepté la présidence de notre jury de soutenance. Qu'elle soit assurée de notre respectueuse considération.

Nous remercions aussi Madame DJABALI Saliha, Maitre Assistante A à l'Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel, d'avoir accepté de consacrer du temps à examiner et juger ce travail.

Un grand merci à nos enseignants, Mr. BOUBZARI Mohammed Tahar et Mlle. LABSIR Dalila pour tout ce qu'ils nous ont prodigué comme conseils et encouragements.

N & M

Dédicace

Les études sont avant tout

Notre unique et seul atout

*Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis jour et nuit nous
mène vers le bonheur fleuri.*

*A l'heure du bilan, je ne peux m'attribuer seule le mérite de ce travail. Et
c'est donc en toute logique que je voudrais remercier les personnes qui y
ont contribué, alors au terme de cette humble recherche*

*Tout d'abord et avant tout à deux êtres les plus chers au monde qui
se brûlent pour que leur fille voie la lumière du savoir, qui ont fait
beaucoup de sacrifices, qui m'ont élevée, formée, encouragée et soutenue
durant toute ma vie, et qui continuent pour assurer ma réussite dans mes
études : **Ma mère Malika** et mon **père Mourad** ceux qui j'ai tant aimés
avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tous les mots
du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leur porte. Que
dieu vous protège, une langue vie Inch—Allah.*

*Je dédie ce modeste travail à **mon cher mari** pour son soutien, sa
patience et son encouragement ainsi qu'à **mes précieux frères Badis et
Mohammed** à qui je souhaite tout le bonheur et la réussite sans oublier
mes chères cousines **Ahlem** et **Selma** pour leurs aides précieuses.*

*Mon remerciement s'adresse aussi à **ma chère amie** et **binôme
Nesrine** ainsi qu'à **sa famille** pour tout son soutien, sa gentillesse et son
sérieux qui nous ont permis d'accomplir ce travail, je lui souhaite toute la
réussite et le bonheur du monde et que Dieu exauce tous ces vœux.*

Meriem

Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

Je dédie ce modeste travail :

*À mes parents, ma mère **Nadjet** et mon père **Abdelmadjid**, les personnes les plus chères dans mon cœur pour leur patience, leurs sacrifices et leur soutien tout au long de mes études.*

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux, que dieu me les gardera pour moi une bougie qui ne s'éteindra jamais.

*À mes chers frères, et surtout *A mon cher petit frère Mohammed.**

*À mon binôme et chère amie **Meriem** et sa famille : J'ai l'honneur de travailler avec elle et je la remercie pour les moments agréables que nous avons passé ensemble ainsi pour sa gentillesse dont elle m'a toujours entouré, son aide et sa patience avec moi et je la souhaite tout le bonheur et la réussite.*

*À mes chères amies **Asma** et **Niaama** pour leurs encouragements permanents et leurs conseils, et surtout leur soutien moral.*

Nesrine

Sommaire

Liste des abréviations**Liste des figures****Liste des tableaux****Sommaire**

Introduction	1
Chapitre I. L'aspect agronomique du figuier <i>Ficus carica L.</i>	5
I.1. Généralités sur le figuier	5
I.2. Classification botanique	5
I.2.1. Position systématique du figuier	6
I.3. Biologie du figuier	7
I.3.1. Description et morphologie du figuier	7
I.3.1.1. Tronc et écorce	7
I.3.1.2. Rameaux fructifères	7
I.3.1.3. Bourgeon terminal	8
I.3.1.4. Feuilles	8
I.3.1.5. Inflorescence et fleurs	9
I.3.1.6. Système racinaire	9
I.3.2. Cycle de développement	9
I.3.2.1. Physiologie du cycle de développement	10
I.3.3. Cycle végétatif annuel et cultural du figuier	11
I.4. Agro-écologie du figuier	12
I.5. Répartition géographique du figuier	13
I.5.1. Dans le monde	13
I.5.2. Dans l'Algérie	13
I.6. Problèmes liés au secteur figuicole algérien	14
Chapitre II. La figue	17
II.1. Description et morphologie	17
II.2. Classification des figues	17
II.3. Maturation et récolte	18
II.4. Production de figues	19
II.5. Composition et valeur nutritive de la figue	20
II.5.1. Glucides	22
II.5.2. Protéines	22
II.5.3. Matière grasse	23

II.5.4. Vitamines.....	24
II.5.5. Fibres alimentaires.....	24
II.5.6. Acides organiques.....	25
II.6. Propriétés thérapeutiques de la figue.....	25
II.7. Profil phénolique de la figue et son pouvoir antioxydant.....	26
II.7.1. Composés phénoliques	26
II.7.1.1. Acides phénoliques.....	27
II.7.1.2. Flavonoïdes.....	27
II.7.1.3. Flavonols	28
II.7.1.4. Anthocyanes	28
II.7.1.5. Tanins	29
II.8. Caroténoïdes	30
Chapitre III. Séchage de la figue.....	33
III.1. Séchage des figues	33
III.1.1. Objectif du séchage	33
III.1.2. Figue sèche.....	33
III.2. Méthodes de séchage.....	35
III.2.1. Séchage traditionnel	35
III.2.2. Séchage artificiel.....	36
III.2.2.1. Réception.....	37
III.2.2.2. Triage et calibrage	37
III.2.2.3. Nettoyage et lavage	37
III.2.2.4. Blanchiment	37
III.2.2.5. Séchage proprement dit	38
III.2.2.6. Conditionnement, emballage et stockage.....	39
III.2.3. Autres méthodes de séchage	40
III.2.3.1. Déshydratation osmotique.....	40
III.2.3.2. Séchage par micro-ondes	41
Chapitre IV. Etudes antérieures traitant l'impact du séchage sur les propriétés physicochimiques, la qualité nutritionnelle et l'activité antioxydante des figes (<i>Ficus caria L.</i>).....	43
IV.1. Séchage au soleil.....	43
IV.1.1. Influence du traitement de séchage par soleil sur les caractéristiques physico-chimiques.....	44

IV.1.2. Influence du traitement de séchage par soleil sur la valeur nutritionnelle	46
IV.1.3. Influence du traitement de séchage par soleil sur les composés phénoliques	48
IV.1.4. Influence du traitement de séchage par soleil sur l'activité antioxydante	53
IV.2. Séchage au four.....	56
IV.2.1. Influence du traitement de séchage au four sur les caractéristiques physico - chimiques.....	56
IV.2.2. Influence du traitement de séchage au four sur la valeur nutritionnelle	58
IV.2.3. Influence du traitement de séchage au four sur le contenu phénolique total et l'activité antioxydante	59
IV.3. Séchage par micro-ondes	60
Conclusion	64
Références bibliographiques	67
Résumé	

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ABTS	2, 2-Azinobis (3-Ethylbenzothiazoline) -Acide 6-Sulfonique
AOAC :	Association Of Analytical Communities
CIHEAM :	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
DPPH :	Di Phényl Picryl Hydrazyl
EAA	Equivalent Acide Acétique
EAG :	Equivalent Acide Gallique
EAT :	Equivalent Acide Tannique
EC :	Equivalent Catéchine
E C-3-G :	Equivalent Cyanidine-3-Glucoside
EQ :	Equivalent Quercétine
EβC :	Équivalent Beta Carotène
FAO:	Food and Agriculture Organization
FRAP:	Ferric Reducing Antioxydant Power
HPLC-DAD :	High Performance Liquid Chromatography -Diode Array Detector
INRAA :	Institut National de la Recherche Agronomique Algérienne
IPGRI:	International Plant Genetic Resources Institute
ITAF :	Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière
MF :	Matière Fraiche
MG :	Matière Grasse
MO :	Micro-Onde
MS :	Matière Sèche
pH :	potentiel Hydrogène
TCs :	Tanins Condensés
UV-vis :	Ultra Violet visible
UI :	Unités internationales

Liste des figures

Liste des figures

Figure 01 : Jeune rameau de l'année	8
Figure 02 : Photo d'un bourgeon terminal du figuier	8
Figure 03 : Forme de la feuille du figuier	9
Figure 04 : Femelle (A) et mâle (B) de <i>Blastohaga psenes</i>	11
Figure 05 : Cycle biologique simplifié du figuier et de son pollinisateur.....	11
Figure 06 : Evolution de la superficie récoltée de figues en Algérie (1988-2018).....	15
Figure 07 : Caractéristiques morphologiques de la figue.....	17
Figure 08 : Part de la production de figues par région	20
Figure 09 : Production de figues ;10 principaux producteurs	20
Figure 10 : Diagramme de fabrication des figues sèches.....	36
Figure 11 : Photographie d'un séchoir hybride.....	38
Figure 12 : Photographie de figues sèches	39

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01 : Taxonomie du figuier 6

Tableau 02 : Types de figuiers présents en Algérie 14

Tableau 03 : Teneur en nutriments des figues fraîches et sèches 21

Tableau 04 : Composition en acides aminés des figues fraîches et sèches 23

Tableau 05 : Composition et valeur nutritionnelle de 100 g de figues sèches 24

Introduction

Introduction

L'arboriculture fruitière fait partie intégrante de la vie économique et sociale de l'Algérie (Benettayeb, 1993). L'heureuse harmonisation de la vocation fruitière de ce pays, qui découle de son climat, de ses possibilités d'irrigation et du développement de la consommation des fruits tant en Algérie que sur les marchés extérieurs lui conduis à mettre en culture plusieurs espèces fruitières.

Le figuier appartient avec l'olivier et la vigne à la trilogie des productions fruitières principales de l'Algérie. Cette importance est liée principalement à une multiplicité d'usages et aux échanges de matériel génétique ce qui entraînait sa diversification et sa propagation (INRAA, 2006).

La figue est le fruit du figuier, un arbre majestueux de la famille des Moracées, qui est l'emblème du bassin méditerranéen, où sa culture et son utilisation constituent une ancienne tradition. Ce fruit millénaire, a accompagné, nourri et donné beaucoup de plaisir à nos aïeux. De par le potentiel nutritif qu'elle recèle, la figue a constituée depuis l'antiquité, non seulement un aliment de base des populations méditerranéennes mais aussi un produit diététique.

Les habitants des régions du nord du pays sont des très grands consommateurs de figues. Ces dernières sont saisonnières et très périssables en raison de leur courte durée de vie qui est de deux jours à température ambiante (Sharifian et *al.*, 2012), et de 7 à 10 jours si elles sont conservées entre 0 et 2°C (Veberic et *al.*, 2008). Afin de prolonger leur durée de conservation et répondre aux demandes des consommateurs du 21^{ème} siècle plusieurs types de transformation sont appliqués pour ce fruit, mais tout de même le procédé le plus utilisé est le séchage (Vidaud, 1997).

La technique du séchage est une technique précoce mais elle est encore très utilisée de nos jours (Eshak, 2018). Son principal objectif est d'augmenter la durée de conservation du produit en réduisant la teneur en humidité et l'activité de l'eau afin d'inhiber la croissance microbienne et l'activité enzymatique (Aguilera et *al.*, 2003; Cano-Chauca et *al.*, 2004). Une fois séchées, les figues peuvent être stockées de 6 à 8 mois (Slatnar et *al.*, 2011). Le séchage entraîne également une réduction substantielle du poids et du volume, minimisant les coûts d'emballage, de stockage et de transport (Okos, 1992).

En effet, le séchage peut être réalisé par plusieurs processus, parmi eux on cite le séchage au soleil, ce dernier est utilisé depuis longtemps par les agriculteurs et ne produit qu'une petite quantité de figues sèches (El Khaloui, 2010). Il nécessite peu de capitaux, un équipement simple

et un faible apport d'énergie (Hoxha et Kongoli, 2016). Néanmoins, la lenteur du processus, qui est en fonction des conditions climatiques, peut entraîner divers problèmes tels que la croissance et la prolifération des micro-organismes et la perte des composés nutritionnels.

Une autre méthode couramment utilisée est le séchage au four (déshydratation à l'air chaud) qui a gagné une importance en raison de ses nombreux avantages par rapport au séchage au soleil. En effet, ce procédé est plus rapide, se fait dans des meilleures conditions sanitaires, et ses paramètres peuvent être facilement contrôlés, néanmoins il est beaucoup plus énergivore (Slatnar et al., 2011).

Pour réduire les problèmes cités précédemment, de nouvelles techniques ont été étudiées, telles que celles assistées par le rayonnement micro-ondes. Ce sont des alternatives prometteuses pour le séchage des fruits et légumes, réduisant le temps et la consommation d'énergie et améliorant la qualité sensorielle et technologique de la pulpe séchée (Ferrao et al., 2017).

Notre choix s'est porté sur la figue séchée car d'une part elle a une grande importance alimentaire, économique et patrimoniale, et d'autre part sa consommation manifeste un effet positif sur la santé humaine, grâce à l'énergie qu'elle fournit par sa teneur élevée en sucres et sa richesse en fibres, en polyphénols antioxydants ainsi qu'en d'autres composés avec des quantités appréciables tels que les minéraux, les protéines, les acides organiques et les composés volatils qui fournissent un arôme caractéristique agréable (Solomon et al., 2006 ; Oliveira et al., 2009; Bachir Bey et al., 2013).

Récemment beaucoup d'investigations se sont intéressées à étudier l'effet des différents procédés de séchage sur les propriétés physico-chimiques de ce fruit, ainsi que sur sa qualité nutritionnelle et pharmacologique.

Dans cette optique nous nous sommes intéressés à présenter une étude bibliographique sur l'impact du séchage sur les propriétés physicochimiques, la qualité nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante de la figue (*Ficus carica L.*). Pour cela notre mémoire de fin de cycle s'articulera comme suit :

- Le premier chapitre traite l'aspect agronomique du figuier.
- Le second et le troisième chapitre engloberont les données bibliographiques relatives à la figue et le séchage, respectivement.

- Le quatrième chapitre sera consacré aux études antérieures traitant l'influence des différents processus de séchage à savoir le séchage au soleil, au four et aux micro-ondes, sur les attributs de qualité de la figue.

Chapitre I

**L'aspect agronomique du
figuier *Ficus carica L.***

Chapitre I : L'aspect agronomique du figuier *Ficus carica* L.

I.1. Généralités sur le figuier

Ficus carica Linn., ou plus communément connu sous le nom de figue, est l'un des premiers fruits cultivés dans l'histoire de l'humanité. Aujourd'hui, il est consommé dans le monde entier (Mat Desa et al., 2019).

"*Ficus carica* L." provient du mot « *Ficus* » qui signifie verrue, car son lait soigne cette pathologie, et le mot « *carica* » indiquant une région en Turquie où il a probablement existé pour la première fois (Vidaud, 1997).

Dans les religions polythéistes et monothéistes, le figuier revêt un aspect sacré (El Bouzidi, 2002), la figue est par ailleurs le fruit le plus fréquemment mentionné dans la Bible et a été cité dans la « Sourat Attine » du saint Coran : « *Par le figuier et l'olivier !* » (Coran 95 :1), ce qui a contribué à le sacrifier dans la société musulmane.

En raison de son ancienneté, l'origine de *F. carica* fait l'objet d'hypothèses divergentes, mais toutes admettent que celle-ci précède la domestication du blé (Benettayeb, 2018). Selon Jeddi, (2009) le figuier était connu dans le Moyen Orient dès le III^{ème} millénaire chez les ancêtres des Sumériens, cette espèce a été cultivée par les phéniciens, les égyptiens et les grecs au point où l'on pense que c'est une plante indigène à ces milieux.

Des restes de fruits datant depuis 7000 ans avant Jésus Christ ont été trouvés dans les fouilles de Jéricho (Flaishman et al., 2008). Charles, (2002) a précisé que ce sont les carthaginois puis les grecs qui ont étendu la culture du figuier commun dans tout le bassin méditerranéen. Le figuier s'est ainsi étendu progressivement en culture et a atteint les pays les plus lointains.

I.2. Classification botanique

Le figuier commun (*F. carica* ; $2n = 26$) appartient à la famille des Moracées qui compte environ 1500 espèces réparties en 40 genres. Le genre *Ficus*, qui est habituellement classé en six sections ou sous-genres (*Ficus*, *Synocia*, *Sycidium*, *Sycomorus*, *Pharmacosycea*, *Urostigma*) comprend 700 à 800 espèces. Toutefois, seules les espèces *F. carica* et *F. sycomorus* (figuier sycomore d'Égypte) ont des fruits comestibles (Berg et Wiebes, 1992).

I.2.1. Position systématique du figuier

Du point de vue systématique, la taxonomie du figuier rapportée par Chawla et al., (2012) est la suivante :

Tableau 01 : Taxonomie du figuier (Chawla et al., 2012)

Règne	Végétal
Super-embranchement	Spermatophyte
Embranchement	Phanérogames
Classe	Dicotylédone
Sous-classe	Hamamélidées
Ordre	Urticale
Famille	Moracées
Genre	<i>Ficus</i>
Espèce	<i>Ficus carica</i>

La classification des taxons de *Ficus* répartie les figuiers en quatre formes horticoles, à savoir le type sauvage ou caprifiguier et les formes cultivées ou domestiques (Tous et Ferguson, 1996) :

- Le caprifiguier : Ne donne pas de fruits comestibles (pas d'évolution des fleurs en fruits), mais héberge des blastophages qui assurent la caprification des figues.
- Le figuier domestique : Selon la monographie de Condit, (1995), il existe trois types de figuiers domestiques : Smyrna (nécessitent la pollinisation), San Pedro (les figues-fleurs ne nécessitent pas d'être pollinisées contrairement aux figues) et Commun (figues et figues-fleurs ne nécessitent pas de pollinisation). Dont 78% des variétés de figuiers dans le monde sont du type Commun, moins de 4% sont du type San Pedro et les 18% restants sont du type Smyrna. La prévalence de la culture du type Commun dans le monde a été probablement favorisée par la sélection en raison de sa parthénocarpie, notamment dans les régions dépourvues de blastophages.

De même le figuier possède une grande faculté d'adaptation et une étonnante capacité de régénération végétative et de production de fruits sans production de fleurs visibles.

La production de cette espèce est de deux types (Oukabli, 2003) :

- Figuiers bifères (figes fleurs) : Les figes de première récolte ou figes fleurs (El Bacor) sont formées sur les rameaux défeuillés de l'année précédente. Elles passent l'hiver au stade grain de poivre pour reprendre leur développement au printemps. L'évolution des figes fleurs ne nécessite pas de pollinisation et se fait d'une manière parthénocarpique.
- Figuiers unifères (d'automne) : Les figes sont formées à l'aisselle des feuilles des rameaux en croissance.

Un décalage de quelques semaines est toujours observé entre les époques de maturités de ces deux types de production (Oukabli, 2003).

I.3. Biologie du figuier

I.3.1. Description et morphologie du figuier

Le figuier est un arbre volumineux, vigoureux et de grande longévité. Il est généralement conduit en forme d'arbuste de 2 à 5 m de hauteur, mais en conduite libre il peut dépasser 10 ou 12 m. La constitution végétative de l'arbre est semi-ligneuse (Benettayeb, 2018). Le latex de la plante est blanc laiteux contient principalement de la ficine (une enzyme de digestion des protéines) (Chawla et al., 2012).

I.3.1.1. Tronc et écorce

Son tronc est tortueux, trapu et tuméfié au niveau des nœuds (Benettayeb, 2018). L'écorce est lisse peu fissurée de couleur gris clair, conservant longtemps les traces d'insertion des feuilles et la cicatrice annulaire caractéristique laissée par les stipules. Cette écorce se manifeste sur les parties âgées de 2 à 3 ans, les parties plus jeunes passant d'un épiderme vert tendre à un brun vernissé ornementé de nombreuses lenticelles de grande taille (Vidaud, 1997).

I.3.1.2. Rameaux fructifères

Le rameau est constitué d'un ensemble d'entre nœuds, chaque nœud constitue le point d'insertion d'une feuille et des bourgeons axillaires (Figure 01). Leur disposition alternée rarement opposée sur le rameau, est une spécificité de la famille des Moracées (Vidaud, 1997).



Figure 01 : Jeune rameau de l'année (Vidaud, 1997)

I.3.1.3. Bourgeon terminal

Le figuier est constitué d'un bourgeon terminal (Figure 02). Ce dernier est constitué de deux stipules correspondant à la dernière feuille mise en place. Dans ce bourgeon se trouve de 9 à 11 ébauches de feuilles avec leurs stipules (Vidaud, 1997).

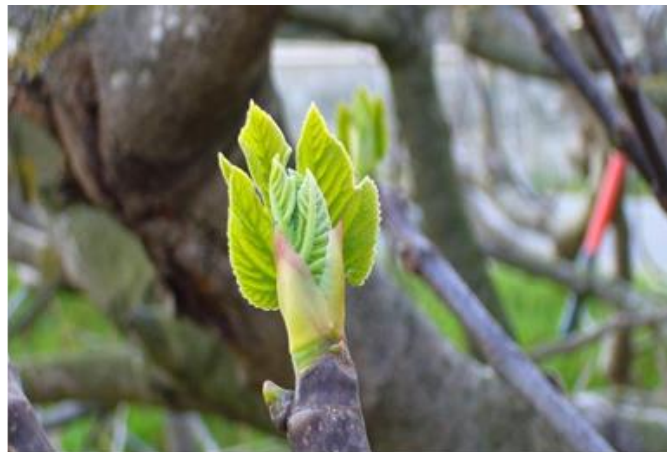


Figure 02 : Photo d'un bourgeon terminal du figuier (Vidaud, 1997)

I.3.1.4. Feuilles

Les feuilles du figuier sont vertes, alternées, palmées, inodores (Chawla et *al.*, 2012), larges, ovales ou orbiculaires (Patil et Patil, 2011), ayant habituellement 3 à 5 lobes (Joseph et Justin, 2011) (Figure 03). La face supérieure est rugueuse et la face inférieure pubescente, dotée de nervures qui apportent de la sève brute et reçoivent de la sève élaborée (Chawla et *al.*, 2012).



Figure 03 : Forme de la feuille du figuier (Vidaud, 1997)

I.3.1.5. Inflorescence et fleurs

L'inflorescence du figuier est très particulière. Les fleurs ne sont pas visibles à l'extérieur, elles sont enfermées dans une sorte d'un réceptacle appelé sycone qui possède une ouverture, l'ostiole, qui s'ouvre à l'opposé du court pédoncule portant les figes (Vidaud, 1997).

Les fleurs rencontrées dans la figue peuvent être de deux types, soit mâles contiennent à la fois des fleurs femelles et des fleurs mâles dont ces dernières sont peu nombreuses et situées tout autour de l'ostiole, soit femelles constituées uniquement de fleurs femelles dont le style est long (Vidaud, 1997).

I.3.1.6. Système racinaire

Il est généralement peu profond et étalé, couvrant parfois 50 pieds de sol, mais dans un sol perméable, certaines racines peuvent descendre jusqu'à 20 pieds. De nombreux *Ficus* produisent des racines aériennes qui descendent vers le sol. Chez certaines espèces originaires des forêts tropicales, la petite plante *Ficus* s'installe au sommet d'un arbre et, en laissant tomber les racines aériennes, surmonte et étrangle progressivement son hôte (Chawla et al., 2012).

I.3.2. Cycle de développement

Les espèces de *Ficus* sont gynodioïques, et à fonctionnellement dioïque. Certaines sont fonctionnellement femelles et produisent seulement un fruit-graine, tandis que d'autres sont fonctionnellement mâles et produisent uniquement le pollen et des descendants de guêpe pollen

(pollen porteur), c'est alors *Blastophaga psenes* qui apporte le pollen de la fleur mâle à la fleur femelle (Janzen, 1979 ; Wiebes, 1979; Kjellberg et al., 1987).

I.3.2.1. Physiologie du cycle de développement

Le figuier, est un réceptacle ferme, une urne appelée synconium ou syconium. Les fleurs ne sont pas visibles, pour les voir il faut ouvrir la figue. De part cette forme, l'inflorescence représente une barrière mécanique pour la dispersion du pollen ; cette barrière est levée grâce à l'intervention de l'insecte pollinisateur, le blastophage (Figure 04).

La description du cycle biologique (Figure 05) commence en hiver, quand la figue et l'insecte (cycle 1a, 1b) sont au repos. Le cycle ne reprend qu'au mois d'Avril avec la mise en place d'une nouvelle pousse du figuier (cycle 2a, 2b) et la reprise du développement des larves du blastophage (cycle 2a), dont la femelle adulte émerge en Mai sans être chargée de pollen car les fleurs mâles du caprifigier n'ont pas de pollen (cycle 3a) (Kjellberg et al., 1987).

La nouvelle génération de blastophage arrive à maturité mi-Juillet avec la sortie d'insectes femelles chargés de pollen (cycle 4a) (Kjellberg et al., 1987). Ces insectes trouvent des figues réceptives sur les figuiers femelles où les pontes sont vouées à l'échec (fleurs longistylées) (plus de 95% des insectes seront sacrifiés pour la pollinisation des figues) (cycle 4b). Le peu de blastophages restants (5%) à la fin de l'été (5a), pénètrent dans les figues mâles réceptives (mammes) portées par les nouvelles pousses, où elles pondent leurs œufs pour boucler leur cycle de reproduction (6a) (Kjellberg et al., 1987).

Pour les figuiers femelles, quand les blastophages pollinisateurs émergent des profichis, il y aura alors une fécondation des fleurs longistylées par le pollen collé à leurs articulations lors des essais de ponte, ce qui mène au développement des grains dans les fruits mûrs au début d'automne (5b) (Garrone, 1998).

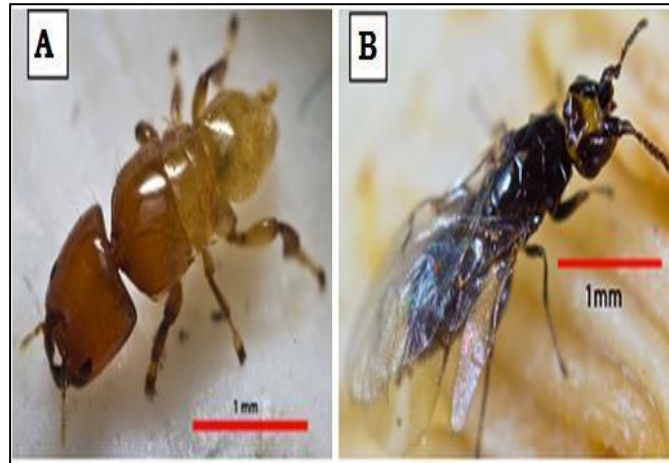


Figure 04 : Femelle (A) et mâle (B) de *Blastohaga psenes* (Vidaud, 1997).

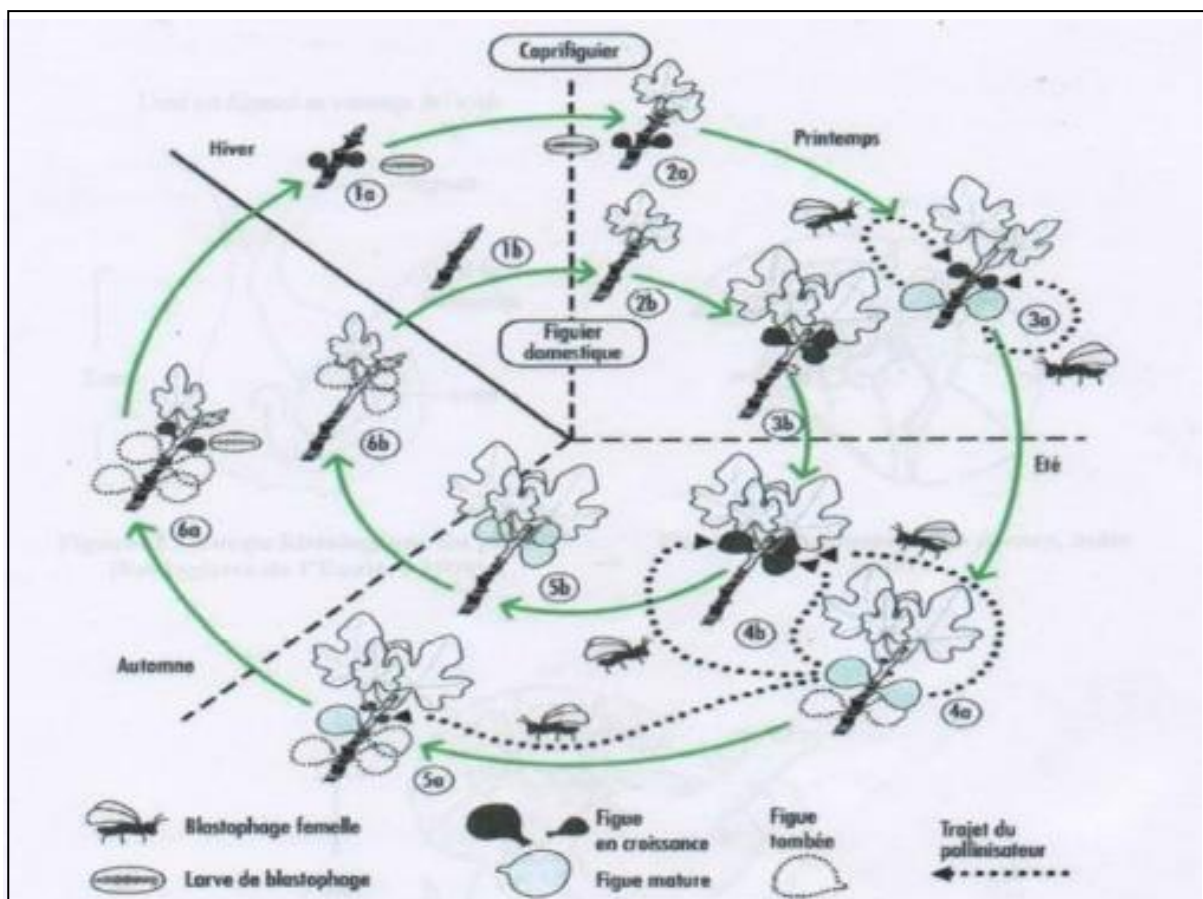


Figure 05 : Cycle biologique simplifié du figuier et de son pollinisateur (Vidaud, 1997).

I.3.3. Cycle végétatif annuel et cultural du figuier

Le cycle végétatif de l'arbre comprend trois phases. Il commence en Février par le débourrement et la formation des rameaux feuillés et se poursuit jusqu'au mois de Mai.

L'activité végétative peut éventuellement reprendre selon les conditions climatiques puis s'estompe au début d'octobre. L'arbre commence alors à se défolier avant d'entrer en période de repos hivernale de plusieurs mois (Oukabli, 2003). La ramification du figuier se fait par les bourgeons dormants de l'année précédente. Elle est de type acrofuge et édifie l'arbre par formation d'unités de croissance dans la partie supérieure de la tige. L'architecture de l'arbre conduit à l'établissement d'un tronc vigoureux portant des rameaux peu ou pas ramifiés (Oukabli, 2003).

I.4. Agro-écologie du figuier

Bien qu'il s'agisse d'une espèce tempérée que l'on trouve couramment dans les régions tropicales et subtropicales, les figues sont aujourd'hui largement cultivées car l'intérêt pour cette plante, en particulier ses fruits, a atteint des pays non indigènes (Mat Desa et *al.*, 2019), mais il est particulièrement bien adapté sur le pourtour méditerranéen où les hivers sont frais et les étés sont chauds et secs (Vidaud, 1997).

La figue (*Ficus carica* L.) est une espèce répandue communément cultivée, en particulier dans les climats chauds et secs. La condition idéale pour une culture intensive des figues est un climat semi-aride avec irrigation. Le figuier est peu exigeant, ainsi il s'adapte à une large gamme de sols, depuis les sols sableux aux sols argileux, mais il préfère les sols limono-argileux. Il tolère des pH de 6 à 7,7 mais craint les fortes concentrations en sodium et en bore (Skiredj et *al.*, 2003).

Les agriculteurs doivent accorder une importance particulière pour les figuiers producteurs, les besoins de ceux-ci en terme de fertilisation varient selon l'âge (Jeddi, 2009), à titre d'exemple les plantes d'un an doivent recevoir 9 Kg de fumier bien décomposé et 35 Kg d'azote sous forme d'urée, d'après Vidaud, (1997), l'azote a une action sur le développement végétatif et la productivité de cet arbre, tandis que le phosphore a une action sur la qualité des fruits, leurs colorations et la maturation, le potassium a une action sur le rendement. L'élagage au printemps, à la montée de la sève, permet le contrôle de la taille de l'arbre et augmente la production (Lim, 2012).

Malgré leur tolérance à la sécheresse, des arrosages copieux sont nécessaires afin d'améliorer la production en quantité et en qualité. Selon Oukabli, (2003), leurs besoins réels annuels sont de l'ordre de 600 mm, surtout au printemps et en début de l'été. La température optimale moyenne pour la croissance est de 18 à 20°C, mais elles requièrent une température

plus élevée (environ 30°C) durant la maturation du fruit et la phase de séchage qui apparaît en Août et en Septembre, selon Stover et *al.*, (2007), le figuier peut tolérer les périodes glaciales d'hiver ; il peut résister à -10°C.

Le figuier se multiplie principalement par boutures qui s'enracinent facilement (Skiredj et *al.*, 2003). La période la plus favorable est le début Mars (Goby, 2006). La distance entre les plantations varie selon la richesse du sol, la hauteur pluviométrique annuelle et les possibilités d'irrigation (Oukabli, 2003). Les boutures sont espacées de 20 à 30 cm sur la ligne et 60 cm entre lignes, les plantations se font en carrée ou selon les courbes de niveau avec une distance de 4 à 6 m en tous sens (Skiredj et *al.*, 2003). La mise à fruit débute à partir de la 3^{ème} année mais le rendement maximal (5 tonnes/ha en terrain sec à plus de 20 tonnes/ha en culture irriguée) est atteint après 6 ans (Oukabli, 2003).

Dans la région nord de la Méditerranée, les figuiers produisent une ou deux cultures par an selon le cultivar. La première récolte est issue de fleurs qui ont été initiées l'année précédente, et les fruits mûrissent au début de l'été. La deuxième récolte (la principale) est produite à partir des fleurs qui poussent sur les pousses de la saison en cours, et les fruits mûrissent à la fin de l'été (Veberic et *al.*, 2008).

I.5. Répartition géographique du figuier

I.5.1. Dans le monde

La rusticité culturelle, l'adaptabilité à des divers environnements et la multiplication facile ont entraîné la dispersion du figuier dans plusieurs régions du monde.

Le figuier (*Ficus carica*) est l'une des espèces particulières de *Ficus* qui propage à l'état sauvage (Patil et Patil, 2011), en Asie du Sud-Ouest et dans la région de la Méditerranée orientale, de la Turquie à l'est à l'Espagne et au Portugal à l'ouest ; il est également cultivé commercialement dans certaines parties des États-Unis et du Chili et, dans une faible mesure, en Arabie, en Perse, en Inde, en Chine et au Japon (Chawla et *al.*, 2012).

I.5.2. Dans l'Algérie

Le figuier compte parmi les trois productions fruitières principales de l'Algérie : Olivier, Figuier et Agrumes.

En Algérie, la culture du figuier est ancestrale, cette espèce fruitière s'accommode presque à tous les étages bioclimatiques algériens (Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne ; ITAF). Les situations les plus convenables en Algérie, du point de vue altitude sont comprises entre 300 et 800 m, selon les régions et l'exposition, cependant le figuier prospère du littoral jusqu'à 1200 m d'altitude (Chaker, 1997).

La majorité des plantations, soit 60% environ, est concentrée dans les wilayas de Bejaïa, Sétif, Constantine, Tizi-Ouzou et Bouira (Benettayeb ,2018) (Tableau 02). La majorité de la production est fournie par les régions de montagnes de Kabylie (Bejaia, Tizi-Ouzou et Sétif) qui détiennent respectivement : 34%, 23% et 13% de l'effectif total des arbres, ces dernières cultivent les variétés les plus attrayantes comme 'Tameriout', 'Taranimt' et 'Béjaoui' (ITAF).

Tableau 02 : Type de figuiers présents en Algérie (Feliachi, 2006)

Type de figuiers	Variétés
Caprifiguiers	'Amellal', 'TitN'Tsekourt', 'Abetroune' 'AdrasViolet', 'Azaim', 'Medloub'
Smyrna	Alekake', 'Amesas', 'Tabelout', 'Tadefouit' 'Tameriout', 'Taranimt', 'Abougandjour' 'Adjaffar', 'Averane', 'Avouzegar', 'Azendjer'
Commun	'Abakor', 'Azaich', 'Verdale blanche' 'Kadota', 'Chetoui'

I.6. Problèmes liés au secteur figuicole algérien

Le verger figuicole algérien avec près de 5 million d'arbres se maintient encore parmi les principales espèces fruitières du pays et constitue plus de 10% du patrimoine arboricole national. (INRAA, 2006). Selon les dernières statistiques de la FAO, l'Algérie a connu plusieurs fluctuations de la superficie récoltée de figues (Figure 06). En 1988, il représentait plus de 50% des espèces rustiques autres que l'olivier. Cette régression des superficies et des rendements est due à plusieurs facteurs (INRAA,2006) à savoir :

- La non valorisation des productions de la figuerie ce qui rend cette espèce fruitière marginalisée ;
- La fréquence des incendies qui ravage chaque année des centaines d'hectares ;

- En grande partie le verger figuicole vieillit et peu reproductif ;
- Manque de moyens, matériels, et le non maîtrise des techniques culturales ;
- La préférence des agriculteurs pour des cultures qui assurent d'importants rendement et beaucoup plus rémunératrices ;
- Le changement des habitudes alimentaires de la population locale a plongé la culture du figuier dans des problèmes divers (ITAF) ;

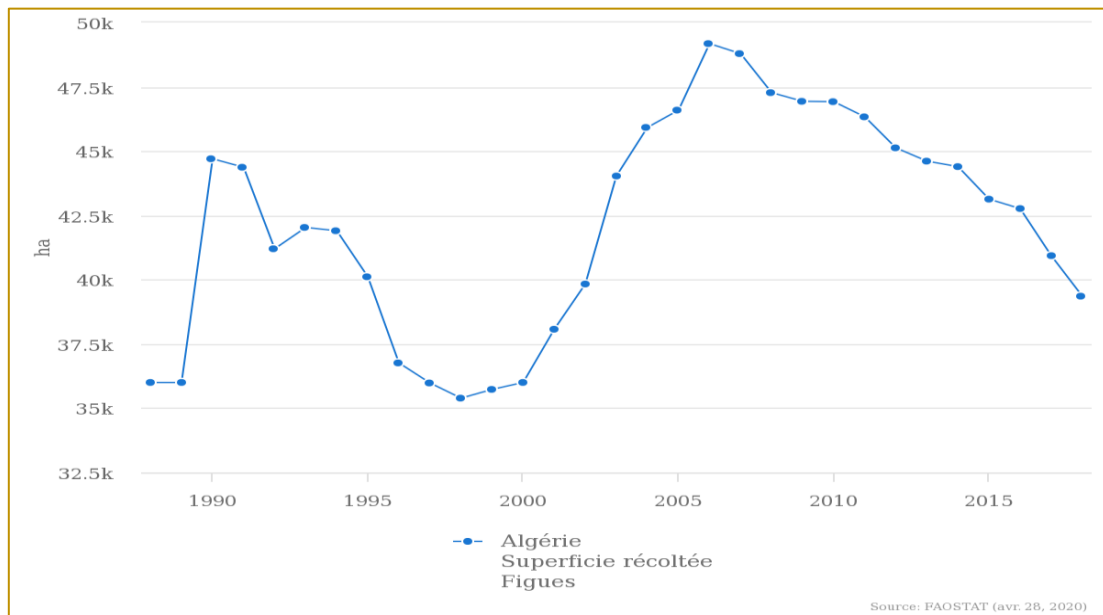


Figure 06 : Evolution de la superficie récoltée de figes en Algérie (1988-2018) selon FAO stat, (2018).

Chapitre II

La figue

Chapitre II : La figue

II.1. Description et morphologie

La figue n'est pas un vrai fruit (Haesslein et Oreiller, 2008), ce sont les akènes qui le sont (Chawla *et al.*, 2012). Elle se trouve solitaire et généralement sessile sur la branche de 5 à 8 centimètres de haut (Starr *et al.*, 2003), et de poids qui varie entre 30 à 65 grammes (Ouaouich et Chimi, 2005).

C'est un fruit de forme pyramidale parfois arrondie (Starr *et al.*, 2003), sphérique ou ovoïde présentant un téton sur les quelles est fixée la queue qui la rattache à l'arbre (Haesslein et Oreiller, 2008).

La figue est composée d'une peau externe pigmentée (verte pur, marron, pourpre ou noire) (Chawla *et al.*, 2012), d'un ostiole (œil ou opercule) et d'un pédoncule (Haesslein et Oreiller, 2008). La face interne de la peau est blanche et contient de nombreux akènes (en nombre de 30 à 1600 par fruit) attachés à la chair gélatineuse (Figure 07) (Joseph et Justin, 2011).

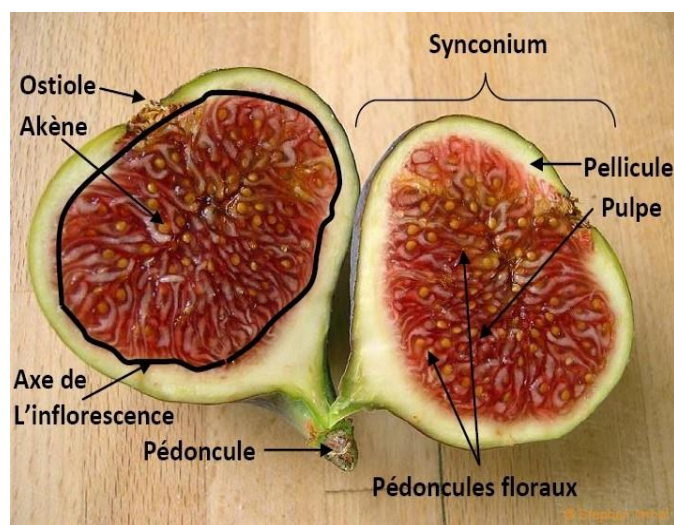


Figure 07 : Caractéristiques morphologiques de la figue (Haesslein et Oreiller, 2008).

II.2. Classification des figues

Les critères de classification (descripteurs) ont été bien définis par l'Institut International des Ressources Génétiques des Plantes (IPGRI) en 2003, en se basant sur les travaux d'Aksoy, (1994). Selon l'IPGRI et le Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), au minimum 31 descripteurs sont considérés hautement discriminants (la forme de la feuille et du fruit, la nécessité de pollinisation, le poids, la couleur,

la hauteur et le diamètre des fruits, la largeur de l'ostiole, la facilité d'épluchage, la présence de craquelures sur la peau, etc.).

Néanmoins ces caractères sont souvent influencés par les conditions du milieu (climat et composition du sol) (Chessa et Nieddu, 2005) et de l'activité antioxydante de quelques variétés de figes sèches.

Selon la couleur de la peau, les figes les plus courantes sont :

- La fige noire est sucrée et plutôt sèche.
- La fige verte est juteuse et a une peau fine.
- La fige violette est la plus sucrée, la plus juteuse, la plus fragile et la plus rare.
- Les variétés à peaux noires et violettes sont consommées fraîches alors que les variétés à peaux vertes sont le plus souvent séchées (Haesslein et Oreiller, 2008).

Selon leur forme, on divise les figes en trois groupes (Bauwens, 2008) :

- Le premier est constitué de figes tout simplement rondes, souvent aplaties à la base et parfois également en haut.
- Toute une série de figes ont un profil triangulaire ou en forme de cône rappelant la forme d'une poire.
- Le dernier groupe est constitué de fruits oblongs, irréguliers ou asymétriques.

II.3. Maturation et récolte

Le processus de maturation de la fige est classé comme climactérique, montrant une élévation dans le taux respiratoire et la production d'éthylène au début de la phase de maturation (Marei et Crane, 1971).

Le développement du fruit femelle de la fige est caractérisé par trois phases. La première est caractérisée par une croissance rapide de taille. Pendant la deuxième phase, le fruit reste presque avec la même taille, couleur et fermeté. La troisième phase est considérée comme la phase de maturation, là où le fruit se développe, sa couleur change, la texture de la pulpe se ramollit (Marei et Crane, 1971) et sa peau commence à se fissurer.

En général, les figes fraîches doivent atteindre un certain stade de maturité avant d'être récoltées, car elles restent immatures si elles sont cueillies tôt. Une fige peu mûre est en outre

moins riche en sucres et n'a pas encore développé ses propriétés organoleptiques. En revanche, une récolte tardive entraîne de grosses difficultés de manutention (récolte, conservation, transport) (Benettayeb, 2018).

Les figues fraîches doivent être récoltées manuellement et délicatement par temps frais, tôt le matin ou en fin de journée. Elles sont fragiles, rapidement périssables à température ambiante et sans possibilité de les conserver au-delà de deux ou trois jours au réfrigérateur, leur écoulement rapide sur un marché de proximité est recommandé (Jeddi, 2009).

Pour le séchage, les figues sont cueillies à maturité complète, même avec excès, quand elles sont ridées, demi-sèches. Récoltées par temps sec, après la disparition de la rosée matinale chaque variété est cueillie séparément et suivant ses aptitudes au séchage (Mauri, 1952).

II.4. Production de figues

La production mondiale des figues a atteint 1 135 316 tonnes en 2018 dont plus de 90% proviennent du bassin Méditerranéen et du Moyen Orient (Figure 08). Cette production est largement basée sur la figue sèche, plus résistante et mieux conservable (FAO stat, 2018).

Les trois plus grands pays producteurs de figues fraîches sont la Turquie qui assure à elle seule, environ le quart de la production mondiale de figue avec plus de (306 499 t), suivie par l'Égypte (189 339 t) et le Maroc (128 380 t), (FAO stat, 2018). Dans la même année, l'Algérie détient la quatrième plus grande production mondiale. Elle représente environ 10 % avec plus de 109 214 t (Figure 09).

Selon FAO stat, (2018) la superficie récoltée mondiale de figuier a été estimée à 301 062 ha dont 61 498 reviennent au Maroc et 51 389 ha à la Turquie. En Algérie, les plantations de figuier couvrent une superficie globale de 39 356 ha soit, près de 15% du patrimoine arboricole national (262 000 ha), cette superficie est occupée par plus de 4,5 millions d'arbres.

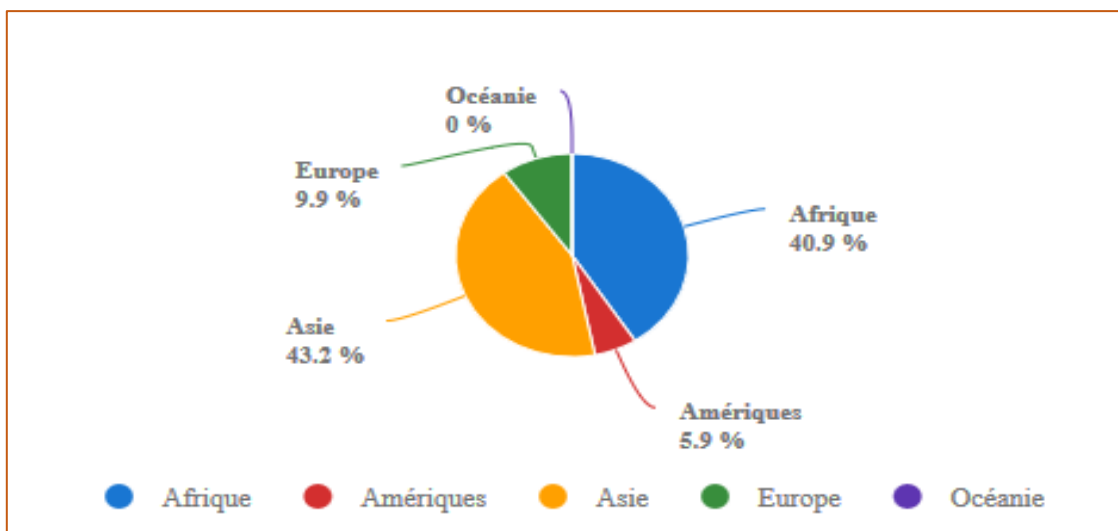


Figure 08 : Part de la production de figes par région (FAO stat, 2018).

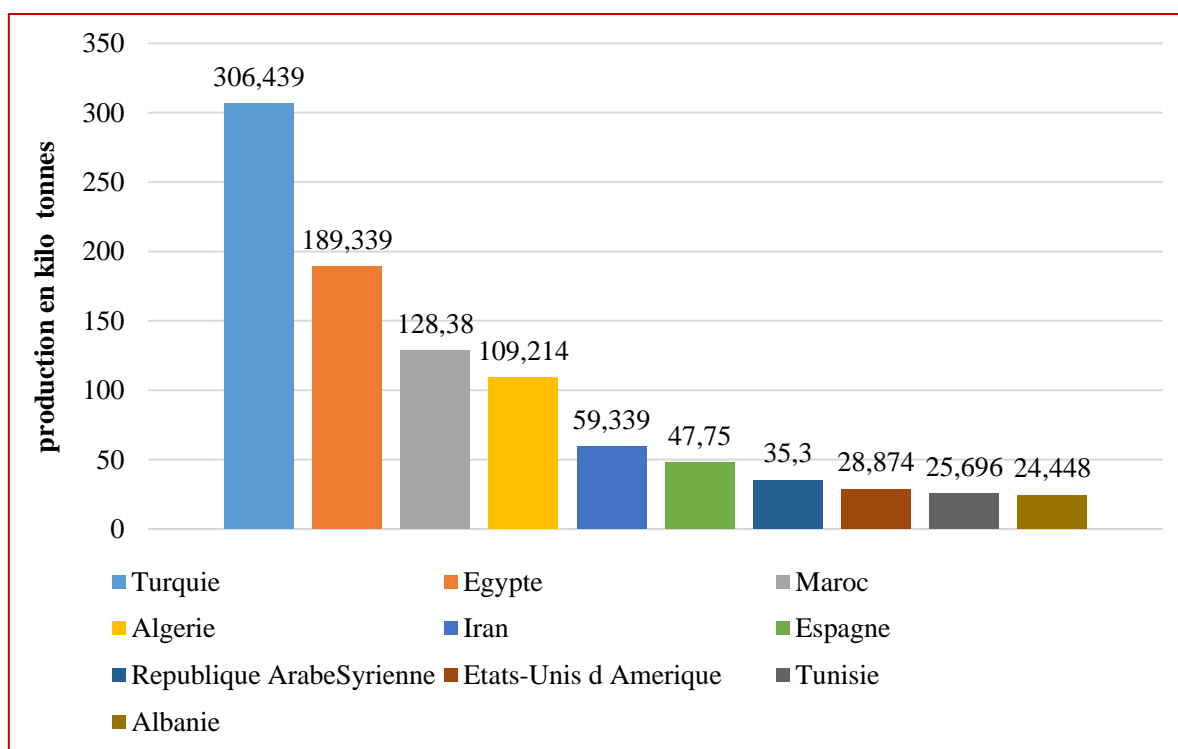


Figure 09 : Production de figes ; 10 principaux producteurs (FAO stat, 2018).

II.5. Composition et valeur nutritive de la figue

La figue (fraîche ou séchée), a une grande importance en nutrition. Ce fruit millénaire a accompagné, nourri et a donné beaucoup de plaisirs à nos aïeux (El Khaloui, 2010), et pour justifier sa valeur nutritionnelle il existe un dicton arabe qui dit : "Le jour de figue pas de pâte " (Favier et al., 1993).

La figue joue un rôle équilibrant dans l'alimentation, grâce à sa teneur élevée en glucides assimilables qui dépasse les 53%, son faible apport en lipides et l'absence de cholestérol (El Khaloui, 2010). Elle est non seulement un fruit fibreux (Guvenc et *al.*, 2009), mais aussi une source importante de vitamines, d'acides aminés et d'antioxydants (Crisosto et *al.*, 2010), de minéraux et d'oligo-éléments, avec des teneurs assez importantes en calcium, phosphore, potassium et en fer (Infanger, 2004) (Tableau 03).

A l'état frais la figue renferme en moyenne 80% d'eau 13% de sucre. Après séchage, les sucres dépassent 55%, elle est donc très énergétique (El Khaloui, 2010).

Tableau 03 : Teneur en nutriments des figues fraîches et sèches (Arvaniti et *al.*, 2019).

Composant diététique	Valeur/100g fraîche	Valeur/100g sèche
L'eau (g)	79.11	30.05
Calories (Kcal)	74.0	249.0
Protéine (g)	0.75	3.30
Graisse totale (g)	0.30	0.93
Gras saturé (g)	0.06	0.93
Fibre (g)	2.9	9.8
Sucres (g)	16.26	47.92
Cholestérol (mg)	0.0	0.0
Calcium (mg)	35.0	162
Fer (mg)	0.37	2.03
Magnésium (mg)	17.0	68.0
Phosphore (mg)	14.0	67.0
Potassium (mg)	232.0	680
Sodium (mg)	1.0	10.0
Zinc (mg)	0.15	0.55
Vitamine A (IU)	142.0	10
Riboflavine (mg)	0.050	0.082

II.5.1. Glucides

Après l'eau, les glucides sont les constituants les plus abondants dans les fruits, représentant entre 50 et 80% du poids sec. Les carbohydrates sont des réserves d'énergie et des unités de construction des parois cellulaires. Produits de la photosynthèse, les glucides simples ou « sucres » sont aussi d'importants facteurs de la qualité sensorielle (Favier et *al.*, 1993).

Selon Lim, (2012), une portion de 100 g de figues sèches apporte 63,87 g de glucides dont 47,92 g de sucres (24,79 g de glucose, 22,93 g de fructose, 5,07 g d'amidon, 0,13 g de galactose et 0,07 g de saccharose). La différence de teneur en sucres dépend de la culture, de la maturité, des conditions de stockage, mais également peut changer d'une année à une autre (Gozlekci, 2011).

II.5.2. Protéines

Selon le tableau (03), les figues sèches sont les plus concentrées en protéines que les figues fraîches.

D'après la composition avancée par Lim, (2012), les teneurs en acides aminés « acides » sont plus élevées que celles des autres acides aminés contenus dans la figue, qu'elle soit fraîche ou sèche.

Tableau 04 : Composition en acides aminés des figes fraîches et sèches (Lim, 2012).

Acide aminé	Figue fraîche (mg/100 g)	Figue sèche (mg/100 g)
Acide aspartique	176	645
Acide glutamique	72	295
Alanine	45	134
Arginine	17	77
Cystine	12	36
Glycine	25	108
Histidine	11	37
Isoleucine	23	89
Leucine	33	128
Lysine	30	88
Méthionine	6	34
Phénylalanine	18	76
Proline	49	610
Sérine	37	128
Thréonine	24	85
Tryptophane	6	20
Tyrosine	32	41
Valine	28	122
Total	0,64 g/100 g	2,75 g/100 g

II.5.3. Matière grasse

La figue contient une faible quantité en lipides, environ 1,9% (Kolesnik et *al.*, 1987 ; El Khaloui, 2010). Malgré leur faible teneur, les lipides ont une influence fondamentale sur la durée de stockage, les propriétés organoleptiques et la valeur nutritionnelle et biologique. Les lipides de *Ficus carica* sont caractérisés par un taux élevé d'insaturation (>68%) des acides gras monovalents, dont la majorité sont polyinsaturés et qui dans certains cas peuvent expliquer la responsabilité de la détérioration oxydative de la figue et ses dérivés (Kolesnik et *al.*, 1987).

Les lipides neutres représentent la plus grande fraction des lipides totaux, Leur composé le prédominant est le tri-acylglycérol avec un taux de 50%, les esters de stérol, les esters d'acide

gras et des stérols libres sont aussi présents avec une quantité considérable. Les phospholipides ne représentent qu'une petite fraction (Kolesnik et *al.*, 1987). La figue contient des taux élevés en acides gras non essentiels tels que l'acide palmitique (16:0), l'acide oléique (18:1 ω 9), l'acide stéarique (18:0) qui sont présents dans la chair et des acides gras essentiels tels que l'acide linoléique (18:2 ω 6), ce dernier est particulièrement présent dans l'écorce (Guvenc et *al.*, 2009).

II.5.4. Vitamines

Le taux de vitamine varie entre les différentes parties de la figue, selon Guvenc et *al.*, (2009), l'écorce et la partie blanche du fruit qui contient un taux élevé de γ -Tocophérol. Tandis que δ -Tocophérol se trouve dans toutes les parties du fruit à des quantités différentes, elle est légèrement élevée dans la peau.

Les vitamines D2, D3 et l'acétate de α - Tocophérol se trouvent dans toutes les parties mais la partie blanche contient le taux le plus élevé de vitamine D2, bien que la quantité la plus élevée de la vitamine D3 et l'acétate de α - Tocophérol se trouve dans la chair (Guvenc et *al.*, 2009). D'autres types de vitamines sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 05 : Composition et valeur nutritionnelle de 100 g de figes sèches (Guvenc et *al.*, 2009).

Valeur nutritionnelle		100 g de figue Sèche
Vitamines	Provitamine A	80 IU
	Thiamine (vit B ₁)	0,10mg
	Riboflavine (vit B ₂)	0,10mg
	Acide nicotinique (vit B ₇)	0,7mg
	Acide ascorbique	0

II.5.5. Fibres alimentaires

Les figes fraîches et séchées contiennent environ 30 % de fibres solubles et 70 % de fibres insolubles (Solomon et *al.*, 2006). Celles-ci favorisent une élimination régulière des selles en augmentant leur volume et en modifiant leur consistance (Haesslein et Oreiller, 2008).

II.5.6. Acides organiques

Les figues contiennent l'acide citrique comme acide organique majoritaire, l'acide malique en quantités appréciables et l'acide acétique sous forme de traces (Belitz et *al.*, 2009). Selon Trad et *al.*, (2013), l'acide citrique représente 0.35 g / 100 g de poids frais qui est presque trois fois plus élevé que l'acide malique (0.13 g /100 g de poids frais).

L'étude menée par Pande et Akoh, (2010) a révélé que la figue fraîche contient en plus des acides organiques cités précédemment l'acide oxalique (17,9 mg/100 g), l'acide ascorbique (14,2 mg/100 g) et l'acide succinique (10,2 mg/100 g), suivi par des traces d'acide phytique (Favier et *al.*, 1993).

II.6. Propriétés thérapeutiques de la figue

L'importance de *F. carica* en tant qu'alternative à la guérison de certaines maladies a été reconnue à travers les siècles (European Pharmacopoeia, 2007), au-delà de ces propriétés thérapeutiques elle possède des propriétés nutritives et cosmétiques.

Qu'en témoignage de ces innombrables vertus notre Prophète Mohamed (QSSL) lui a réservé plusieurs hadiths, parmi lesquels :

« Si je devais espérer un fruit apporté du paradis, ce serait certainement la figue »

La fonction principale d'un figuier est de produire de délicieux fruits, nourrissants à l'état frais ou sec, ou en faisant partie d'une préparation salée ou sucrée.

Consommée crue, la figue a un effet laxatif, diurétique, anti-inflammatoire, hypocholestérolémiant, antidiabétique, anticancéreux et immuno-modulateur (Chawla et *al.*, 2012). Elle traite aussi l'anémie et les troubles hépatiques, soigne la toux irritante et les bronchites (Kahrizi et *al.*, 2012).

La figue sèche associée à l'acide acétique est utilisée pour soigner les gonflements et les tumeurs, en pâte elle traite les brûlures et l'eczéma, soulage les hémorroïdes et les crampes abdominales (Lansky et Paavilainen, 2011). La décoction de figues convient pour les maladies inflammatoires et elle est utilisée pour adoucir la toux et les rhumes opiniâtres (Clement, 1979).

Ce fruit contient le plus haut niveau de polyphénols, de flavonoïdes et anthocyanines (Perez et *al.*, 2003 ; Solomon et *al.*, 2006). Ces précieux antioxydants peuvent protéger les

lipoprotéines contre l'oxydation et produisent une augmentation significative de la capacité antioxydante au niveau du plasma (Vinson et *al.*, 2005).

D'après Vinson, (1999), en plus des polyphénols, la figue comprend d'autres composés à activité anti-cancérogène, spécifiquement les coumarines et les benzaldéhydes.

La figue est également connue pour ses propriétés laxatives modérées et peut être utilisée pour le traitement symptomatique de la constipation (Yancheva et *al.*, 2005).

II.7. Profil phénolique de la figue et son pouvoir antioxydant

II.7.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires communs des plantes, qui non seulement ont des fonctions physiologiques dans les plantes, mais produisent également des effets positifs pour la santé humaine, car ils peuvent agir comme antioxydants. Les composés phénoliques peuvent servir à cette fin en réduisant ou en donnant de l'hydrogène à autre composé, en éliminant les radicaux libres et en neutralisant l'oxygène singulet (Caliskan, 2015). L'activité antioxydante des composés phénoliques est basée également sur la chélation des ions des métaux pro-oxydants et l'inhibition de certaines enzymes (Siricha et *al.*, 2010).

Les polyphénols présentent dans leurs structures au moins un cycle aromatique à 6 atomes de carbone lui-même porteur d'un nombre variable de fonction hydroxyle (Ribéreau-Gayon, 1968).

Plus de 8000 structures phénoliques sont connues, allant de molécules phénoliques simples de faible poids moléculaire tel que les acides phénoliques aux composés hautement polymérisés comme les tanins (Martin et Andriantsitohaina, 2002).

La fraction phénolique de la figue est définie qualitativement et quantitativement par la variété, la classe (noire, blanche), la partie du fruit (pulpe ou peau), l'état du fruit (frais ou sec) (Del Caro et Piga, 2008), la saison de récolte (juin ou septembre), l'origine et l'irrigation (Veberic et *al.*, 2008).

Piga et *al.*, (2004) ont détecté des composés phénoliques dans la peau et la pulpe des figues et ont constaté que le cultivar de figue noire avait la teneur la plus élevée et que la plupart des polyphénols étaient concentrés dans la peau.

Les polyphénols sont des composés très diversifiés et peuvent être classés en nombreuses classes et sous-classes : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, les tanins etc... (Curtay et Robin, 2000 ; Siricha et *al.*, 2010).

II.7.1.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques appartiennent à deux classes : Acides hydroxy-benzoïques et acides hydroxy-cinnamiques (Veberic et *al.*, 2008). Ce sont parmi les composés phénoliques les plus prédominants dans la figue et se concentrent principalement dans la peau (Caliskan et Polat, 2011).

Selon Arvaniti et *al.*, (2019), l'acide gallique, l'acide chlorogénique, sont les acides phénoliques les plus prédominants dans les variétés de figues sèches et fraîches, De même Veberic et *al.*, (2008) ont détecté en plus de ces composés des traces d'acide syringique.

II.7.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les constituants majoritaires des polyphénols ; plus de 5000 composés sont identifiés. Ils sont largement présents dans la quasi-totalité des plantes, notamment dans les fruits et les légumes (Ribéreau-Gayon, 1968).

Les flavonoïdes sont des di-phényle-propanes (C6-C3-C6) qui constituent les pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux (Bruneton, 1987). Ils sont classés par leur structure chimique en plusieurs catégories : Les flavones, flavonols, flavanols, isoflavones, les anthocyanidines (Zoughlache, 2009).

Les flavonoïdes se comportent comme des antioxydants de diverses manières, y compris le piégeage direct des espèces d'oxygène, la chélation des métaux de transition impliquée dans la formation des radicaux de processus et la prévention du processus de peroxydation en réduisant les radicaux alcoxyle et peroxyde (Trifunski et *al.*, 2015), par inhibition de la lipo-oxygénase et/ou de la cyclo-oxygénase (Cheikh-Traoré, 2006).

Selon Veberic et *al.*, (2008), les flavonoïdes présents dans la figue sont la rutine, la catéchine, l'épi-catéchine, etc. D'après Ouchemoukh et *al.*, (2012), la figue sèche est le fruit le plus riche en flavonoïdes (105,6mg EQ/100g MS) par rapport aux autres fruits séchés.

II.7.1.3. Flavonols

Les flavonols (hydroxy-3 flavones) sont largement répandus, ils sont caractérisés par la présence de carbonyle en position 4 et d'un groupement hydroxyle en position 3 (Guignard, 1996).

Les flavonols sont présents sous forme glycosylée (glucose, rhamnose, xylose, acide glucuronique...), ils s'accumulent au niveau des feuilles et des fruits (Robards et Antolovich, 1997 ; Marfak, 2003).

Dans l'étude menée par Slatnar *et al.*, (2011), 4 composés du groupe du flavonols ont été identifiés dans les figes fraîches et sèches à savoir : le kaempferol-3-O-glucoside, la rutine et la quercétine-3-O-glucoside, la lutéoline-8-C-glucoside, ce dernier composé est identifié uniquement dans la fige sèche.

II.7.1.4. Anthocyanes

Les anthocyanines sont des substances appartenant à la classe des flavonoïdes (Albitar, 2010). Ce sont des pigments hydrosolubles qui participent à la coloration de certaines parties des plantes (fleurs, fruits, feuilles) en bleu, rouge, mauve, rose et orange (Wang *et al.*, 1997 ; Giusti et Wrolstad, 2001). Ils sont composés de deux ou trois parties : la base aglycone (anthocyanidine), sucres, et souvent des groupes acyle (Albitar, 2010).

Les anthocyanines sont des molécules très instables à cause de l'absence d'un électron dans leur structure, ainsi leur stabilité dépend du pH et de la température (Wrolstad *et al.*, 2005). La présence de deux hydroxyles les rend très sensibles à l'oxydation ce qui est à l'origine de leur propriété antioxydante (Castanaeda-Ovando *et al.*, 2009).

La teneur globale en anthocyanes est considérée comme une marque de différenciation pour les figes, qui possède une diversité de couleurs, allant du violet foncé au vert (Solomon *et al.*, 2006).

Ouchemoukh *et al.*, (2012) ont montré dans leur recherche que la fige sèche est le fruit le plus riche en anthocyanines par rapport aux autres fruits secs tels que les prunes (2 mg/100g de MS) et les raisins.

L'espèce *Ficus carica* se caractérise par la présence majoritaire de 2-monoglucosides d'anthocyanidines, en particulier la cyanidine 3-glucoside et la keracyanine (Del Caro et Piga, 2008), en plus de ces composés, Duenas et *al.*, (2008) ont détecté : la cyanidine-3,5-diglucoside et la péllargonidine 3-rutinoside.

II.7.1.5. Tanins

Les tanins sont par définition des composés phénoliques polaires d'origines végétales (Berthod et *al.*, 1999) avec des poids moléculaires compris entre (500-3000 Daltons), ils existent presque dans chaque partie de la plante (écorce, bois, feuilles, fruits et racines) (Cowan, 1999 ; Zimmer et Cordesse, 1996).

Des études antérieures ont été effectuées sur des extraits polyphénoliques de *F. carica* et ont signalé de nombreux composés bioactifs, à savoir une bonne richesse en tanins (Al-Snafi, 2017 ; Sharma et *al.*, 2017).

La caractéristique la plus déterminante des tanins est leur capacité à former des complexes (par précipitation) avec les polymères naturels comme les protéines, les polysaccharides (la pectine, la cellulose, l'hémicellulose...), les alcaloïdes, les acides nucléiques et les minéraux (Frutos et *al.*, 2004).

Les tanins peuvent agir comme antioxydants. La capacité antiradicalaire des dimères et trimères de procyanidines est augmentée avec la galloylation et dans une moindre mesure avec la longueur de la chaîne, elle est également influencée par la position des substituants galloyle (Cheyner, 2005 ; Gramza et Kolczak, 2005).

De même Al-Maliki, (2012) a rapporté dans ces études antérieures que la figue possède une activité antimicrobienne issue de certains composés tanniques actifs tels que l'acide éllagique, l'acide chébulique et le gallotanin.

A. Tanins condensés

Les tanins condensés (TCs), ou pro-anthocyanidols (Muller Harvey et Mc Allan, 1992 ; Bruneton, 1999) sont des polymères flavanique constitués de flavan-3-ols (catéchine et épicatechine) et des flavan 3,4 diols le plus souvent liées entre elles par des liaisons C4-C8, la classe la plus courante sont les procyanidines. Debib et *al.*, (2013) ont signalé dans leur étude que la figue avait une teneur en tanins condensés comprise entre 10 et 194 mg EAG / 100 g.

Comme tous les composés phénoliques, les pro-anthocyanidines ont aussi un pouvoir antioxydant grâce à leur potentiel redox, et à l'activité scavenger des radicaux libres (Kelm et *al.*, 2005).

B. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des polyesters d'un sucre (majoritairement le glucose) et d'un nombre variable de molécules d'acides phénols qui sont considérés comme des non flavonoïdes (éllagitanine, gallotanins) (Delluc, 2004).

Par hydrolyse (acide, alcaline ou enzymatique), les acides phénoliques libérés sont l'acide gallique ou l'acide éllagique, à partir des tanins galliques (gallotanins) et les tanins éllagiques (éllagitanins), respectivement (Zimmer et Cordesse, 1996).

II.8. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments naturels qui appartiennent à la famille des tétraterpènes et sont représentés par plus de 600 variantes structurales naturelles connues, ils contribuent à la coloration jaune, orange ou rouge des fruits et légumes (Tapiero et *al.*, 2004).

Ces pigments lipophiles contiennent une structure cyclique à chaque extrémité, elle leur confère la capacité de recevoir un radical libre sans pour autant perdre leur stabilité ; ils ont donc un effet antioxydant notable (Dionne, 2002). Il existe deux grandes classes de caroténoïdes :

- Les carotènes, non polaires, ils ne présentent que des chaînes hydrocarbonées (α -carotène, β -carotène) ; ils confèrent les couleurs orange et rouge.
- Les xanthophylles, sont les plus polaires à cause de la présence de l'oxygène dans leurs structures (lutéine, β -cryptoxanthine, zéaxanthine, astaxanthine, ...), ils sont responsables de la couleur jaune (Dionne, 2002).

Ouchemoukh et *al.*, (2012) ont noté dans leur travail que *Ficus carica* est l'une des sources des caroténoïdes avec une teneur d'environ 11 mg E β C/100g MS.

Le profil des caroténoïdes de la figue étudiée par Kakhniashvili et *al.*, (1987) a montré que la lutéine et l' α -carotène sont les caroténoïdes les plus dominants, en plus de la présence de la violaxanthine, la neoxanthine, la rubixanthine et la kryptoxanthine en teneur plus faible.

Belitz et *al.*, (2009) ont rapporté la présence d'autres composés qui sont ; la phytoène, phytofluène et lutéoxanthine.

Chapitre III

Séchage de la figue

Chapitre III : Séchage de la figue

III.1. Séchage des figues

Le séchage des fruits est l'une des méthodes de conservation des aliments sur une période prolongée (Okos et *al.*, 1992). Ce procédé reste une pratique courante, surtout pour les produits locaux (Cantin et *al.*, 2011). Par contre, une mauvaise maîtrise de cette technique entraîne la perte des valeurs nutritives et thérapeutiques de l'aliment (Piga et *al.*, 2004).

Les figues fraîches sont hautement périssables à l'état ambiant. A basse température et humidité élevée (4,44 - 6,11°C, 75% d'humidité relative), les figues peuvent rester en bon état pendant 8 jours, cependant, lorsqu'elles sont conservées dans des conditions ambiantes, elles ne peuvent durer que 1 à 2 jours (Mat Desa et *al.*, 2019). Leur durée de vie après la récolte varie selon la variété, la température et le degré de maturité au moment de la récolte (Doymaz, 2005).

III.1.1. Objectif du séchage

De nombreuses variétés de fruits sont saisonnières et leur disponibilité pour une consommation prolongée a été rendue possible grâce au séchage (Mat Desa et *al.*, 2019).

Le séchage est un processus d'élimination de l'humidité par l'action de la chaleur. Il sert de conservation en inhibant l'activité de l'eau dans les produits frais (Mat Desa et *al.*, 2019). Il permet d'une part de réduire le poids et le volume de la figue, aussi bien que l'emballage et le coût de la livraison, l'activité microbienne et les modifications chimiques durant le stockage (Martinez-Garcia et *al.*, 2013), et d'autre part il augmente la concentration des polyphénols totaux et par conséquent l'activité antioxydante mais, diminue la concentration en anthocyanines (Martinez-Garcia et *al.*, 2013).

Le séchage permet également de valoriser des produits alimentaires en produits séchés stables en absorbant la surproduction (Mamouni, 2002).

III.1.2. Figue sèche

Seules les figues pollinisées se prêtent au séchage d'où l'intérêt de la caprification (Mamouni, 2002 ; Oukabli, 2003), alors que les figues fleurs et les figues d'automne sont des variétés destinées uniquement à la consommation à l'état frais (Mamouni, 2002).

Les critères les plus appréciés pour les figues destinées au séchage sont : une teneur élevée en sucres et en solides solubles, une faible acidité et une peau moelleuse pour produire des

figues séchées de couleur claire, de texture douce et de fractions riches en sucres (Mat Desa et *al.*, 2019).

Les variétés à peau noire et violette sont consommées fraîches, alors que les variétés à peau verte sont le plus souvent séchées. Après séchage, ces dernières deviennent blanches (Mamouni, 2002 ; Oukabli, 2002), alors que les figues colorées conservent leur couleur (Mamouni, 2002).

La norme indique que les figues séchées produites pour la consommation directe doivent contenir une humidité de 26% pour les figues non traitées et de 26 à 40% pour les figues traitées à haute humidité (Mat Desa et *al.*, 2019).

Les fruits secs sont des produits durables grâce à leur faible activité d'eau, les principaux problèmes dans le commerce des figues séchées sont les parasites de stockage et les *mycotoxines*. Pour assurer la sécurité du consommateur, les produits séchés doivent être exempts de contamination chimique ainsi que d'infestation bactérienne et fongique (Mat Desa et *al.*, 2019). Les figues sèches sont plus altérées par *Aspergillus sp.*, *Alternaria sp.*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium sp.*, *Saccharomyces*, *Pichia* et *Bacillus* (Cantin et *al.*, 2011). L'un des types courants de mycotoxines détectées est l'aflatoxine qui se développe à partir d'une infection à *A. flavus* (Mat Desa et *al.*, 2019).

La qualité finale de la figue séchée dépend des paramètres de séchage tels que la température, la vitesse et l'humidité relative de l'air de séchage, ainsi que la durée de séchage et également leur conditionnement, la durée et conditions de stockage. Plus important encore, la qualité finale du produit dans les figues séchées dépend du stade de maturité du fruit, car l'accumulation et la maturation du sucre se produisent au cours des trois derniers jours (Mat Desa et *al.*, 2019).

La couleur et la fermeté du fruit étant les critères généralement employés pour déterminer la date optimale de récolte. Les figues destinées à être séchées doivent être cueillies très mûres, elles doivent être récoltées par temps sec et chaque variété doit être cueillie séparément selon ses aptitudes à la dessiccation. La figue parfaitement mûre se flétrit, son port n'est plus érigé, la peau est légèrement craquelée ; le pédoncule, d'abord turgescent et blanc laiteux, devient sec et translucide, ainsi elle se détache facilement avec son pédoncule, contrairement à une figue insuffisamment mûre (Ouaouich et Chimi, 2005).

III.2. Méthodes de séchage

Les figues sont récoltées avec un taux d'humidité très élevé, propice aux dégradations diverses ce qui rend les produits très périssables. En conséquence, faute de moyen de conservation, les pertes peuvent être très élevées (Ouaouich et Chimi, 2005).

Pour prolonger la durée de la conservation des figues et leur disponibilité aux cours de toutes les saisons les agriculteurs utilisent des méthodes de séchage traditionnelles, tandis qu'au niveau industriel ils utilisent des procédés de séchage artificiels plus rapides pour assurer une grande production destinée au commerce.

III.2.1. Séchage traditionnel

Le séchage au soleil est une méthode de conservation traditionnelle (Sen et *al.*, 2010 ; Faleh et *al.*, 2012) utilisée pour obtenir les figues sèches sans dépense financière et avec des équipements simples. Cette méthode permet d'obtenir des figues avec un bon goût et une bonne consistance (Faleh et *al.*, 2012).

C'est une technique qui se base sur la convection naturelle par circulation de l'air chaud ambiant. Le séchage convectif consiste en l'élimination de l'eau de la surface du fruit par l'air chaud, ce qui crée un gradient à l'intérieur du fruit incitant l'eau à se déplacer par diffusion de l'intérieur vers la surface (Carranza-Concha et *al.*, 2012).

Dans les régions où les conditions climatiques sont adéquates (Sen et *al.*, 2010), les figues sont étalées en monocouche sous le soleil (El Khaloui, 2010), à l'air libre (Oukabli, 2002), sur le sol en terre battue, sur les terrasses (Jeddi, 2009), les toits des constructions (El Khaloui, 2010), ou sur des nattes ou des claies de roseaux (Gamero, 2002).

Pour un séchage régulier, les fruits doivent être retournés chaque jour. Pour ne pas s'altérer, les claies sont mises à l'abri le soir. Le séchage dure 3 à 6 jours, selon la température de la saison (El Khaloui, 2010). Les figues sont considérées sèches lorsqu'elles acquièrent une élasticité au touché et ne laissent pas s'écouler de sirop sous l'effet d'une pression entre le pouce et l'index (El Khaloui, 2010).

Cependant, le séchage au soleil expose les produits à la poussière, aux mouches et aux souillures et à des contaminations nombreuses et variées. En outre cette méthode qui ne coûte pratiquement rien ne permet aucun contrôle sur les paramètres de séchage et allonge la période

de séchage. En conséquence, la qualité du produit est très mauvaise sur les plans hygiéniques et nutritifs, donc elle est déconseillée pour les raisons économiques et surtout de santé publique (Belaid, 2015).

III.2.2. Séchage artificiel

Aujourd'hui une quantité importante de la production des figes est séchée, en se basant sur des techniques modernes, par des systèmes de séchage mécaniques à l'air chaud (Babalís et al., 2006).

Les matières premières destinées à être séchées sont toujours soumises à une préparation préliminaire (nettoyage, triage, calibrage, blanchiment, fumigation, etc.) en vue des traitements ultérieurs. Ces opérations de préparations varient selon la nature de la matière première et le produit que l'on veut obtenir (Ouaouich et Chimi, 2005). Les principales d'entre-elles sont mentionnées dans le schéma ci-dessous (Figure 10).

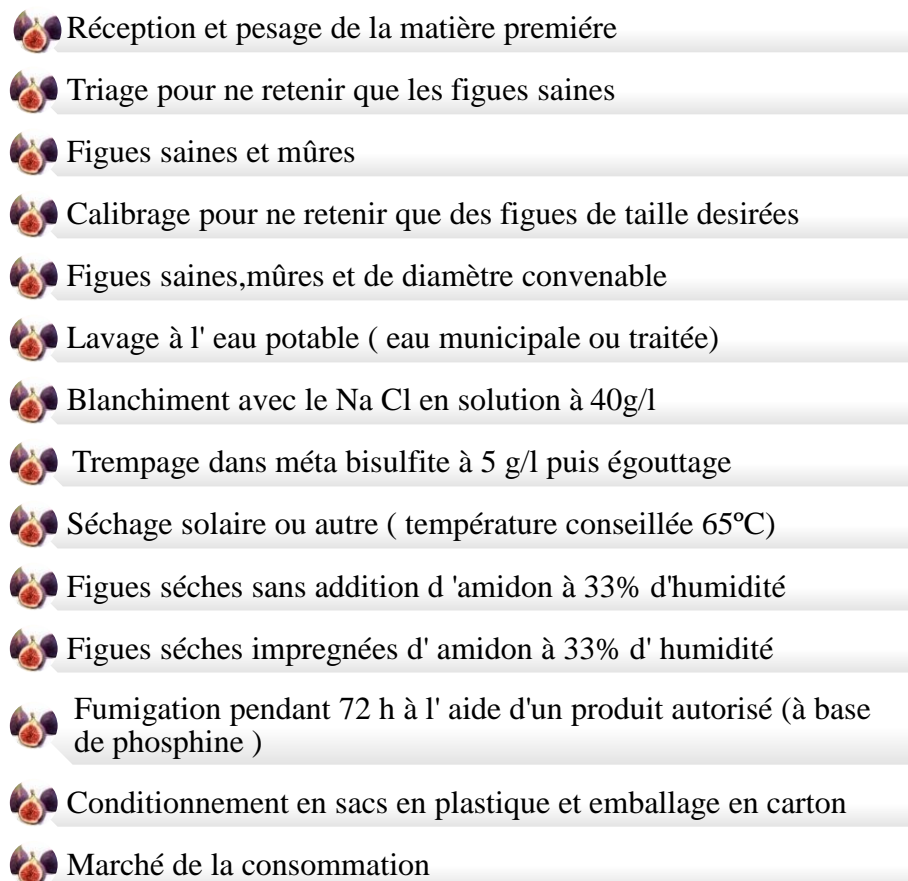


Figure 10 : Diagramme de fabrication des figes sèches (Belaid, 2015)

III.2.2.1. Réception

A la réception, les figues doivent être pesées. Afin de s'assurer de la qualité des fruits réceptionnés on doit procéder à l'identification des variétés des figues. Le pourcentage de la matière étrangère et des fruits abîmés et contaminés donne une idée sur l'état de la matière première (Belaid, 2015).

III.2.2.2. Triage et calibrage

A l'unité de séchage, le triage est fait manuellement sur des tapis d'inspection. Un triage manuel permet de supprimer tous les fruits impropres à la consommation, peu murs, abîmés, trop gros ou trop petits. Le calibrage consiste à obtenir des fruits de même calibre (même volume, même densité) pour leur assurer un comportement uniforme durant le processus de séchage et de coupler à la qualité du produit fini une homogénéité pour sa présentation. A partir d'un lot d'une même variété on classe les fruits en différents calibres ou grosseur sur la base du diamètre équatorial ou volume (Belaid, 2015).

Ce calibrage peut se faire à la main ou à l'aide d'un calibre industriel mais pour les figues il n'existe pas de calibre industriel réglementé. Les fruits non conformes sont de préférence destinés à la fabrication de confiture ou d'autres produits confits (Belaid, 2015).

III.2.2.3. Nettoyage et lavage

Le but de cette étape est d'éliminer les fruits contaminés et toute souillure et matière étrangère afin d'obtenir des produits frais et propres. En particulier, elle permet de diminuer le temps de séchage et d'exploiter dans des meilleures conditions la capacité du séchoir (Belaid, 2015).

III.2.2.4. Blanchiment

Le blanchiment préliminaire a pour but de nettoyer la peau en éliminant la poussière qui la recouvre, les traces de latex qui rendent le fruit collant et la peau plus perméable, ce qui facilite le séchage. Il est obtenu par arrosage pendant 20 à 30 secondes avec de l'eau sodée (1 % de soude) chauffée à 80°C sur le tapis grillagé en inox. Cet arrosage est suivi d'un rinçage par aspersion d'eau chaude légèrement acidulée avec de l'acide citrique pour éliminer toute trace de soude. Les figues doivent être, autant que possible positionnées « queue en haut » sur le tapis pour éviter que la soude ne pénètre dans le fruit par l'ostiole (Belaid, 2015).

III.2.2.5. Séchage proprement dit

Le séchage est réalisé dans des séchoirs mécaniques dans une enceinte fermée permettant de maîtriser les paramètres de séchage, d'optimiser l'énergie et d'assurer au produit les normes d'innocuité et de qualité requises (Ouaouich et Chimi, 2005 ; Jeddi, 2009 ; El Khaloui, 2010).

Le séchage industriel est basé sur l'utilisation de séchoirs conventionnels (fours) ou des séchoirs hybrides (four et solaire) pour la déshydratation (Figure 11), ce dernier possède plusieurs avantages dont les plus importants sont (Ouaouich et Chimi,2005) :

- Le produit est séché indirectement avec de l'air ventilé ce qui évite la dégradation de ses ingrédients sensibles aux photons ;
- Très bonne qualité finale du produit séché ;
- Le séchoir utilise l'énergie de soleil le jour et du fuel la nuit ce qui évite la réhydratation du produit pendant la nuit ;
- Faible coût d'installation ;
- Facilité de construction ;



Figure 11 : Photographie d'un séchoir hybride (Ouaouich et Chimi, 2005).

Immédiatement après l'opération de trempage, les figes sont étalées en monocouche sur des claies qu'on superpose dans l'enceinte du séchoir (El Khaloui, 2010).

Le séchoir hybride utilise principalement l'énergie solaire indirecte et une source d'appoint utilisant le gaz ou le diesel qui est mise en service la nuit et en temps nuageux au-delà du minimum requis pour éviter la réhydratation des produits. L'énergie solaire est cueillie par des collecteurs installés sur le toit et acheminée vers et répartie dans les compartiments de l'enceinte du séchoir par des tubes souples en polyéthylène. Un système de ventilation alimenté par des cellules solaires permet de propulser l'air chaud dans les différentes parties du séchoir (Ouaouich et Chimi, 2005).

La température de séchage est fixée entre 60 et 65°C (El Khaloui, 2010), mais la première phase du séchage doit se faire à des températures inférieures à 45°C (Gamero, 2002). Les claies sont de temps en temps retirées et retournées pour améliorer les conditions de séchage. L'opération dure environ trois heures, après quoi les figes acquièrent la couleur jaune dorée désirée (Figure 12). Les figes refroidies subissent une fumigation par un produit à base de phosphine ou d'acide carbonique pour éviter le développement des larves d'insectes (Ouaouich et Chimi, 2005).



Figure 12 : Photographie de figes sèches (Ouaouich et Chimi, 2005).

III.2.2.6. Conditionnement, emballage et stockage

La détérioration de la couleur, de la flaveur et de la texture est possible aussi bien avant ou au cours du séchage ainsi qu'au cours du stockage, donc un conditionnement s'impose (Belaid, 2015).

Les produits séchés sont triés selon l'humidité (on élimine les fruits grillés et trop hydratés), la dimension et la couleur puis pesés avant de les mettre dans des emballages alimentaires à base de polyéthylène ou de polyvinyle, des pellicules cellulosiques (cellophane), ou des emballages en papier et carton. Le conditionnement et l'emballage permettent de (Belaid, 2015) :

- Préserver au fruit leur couleur et arômes et les conserver à l'abri de l'humidité pour éviter toute contamination extérieure.
- Ralentir au maximum les réactions de détérioration du produit à condition d'utiliser un emballage approprié permettant de maintenir le bas niveau de l'activité de l'eau atteint à la fin de séchage et la température maintenue à l'intérieure à environ 25°C.
- Leur donner un aspect attrayant et faciliter leur manutention et stockage.

III.2.3. Autres méthodes de séchage

III.2.3.1. Déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique est une technique de séchage qui consiste à éliminer partiellement l'humidité du produit en le plaçant dans une solution de sucre concentré (Naikwadi *et al.*, 2010). Les fruits absorbent une partie du sucre et peuvent ainsi retenir d'avantage l'eau à la fin du processus, ce qui les rend plus tendres que s'ils avaient été uniquement séchés à l'air (Ife Fitz et Bas, 2003).

Les fruits séchés de cette manière présentent une structure poreuse et croustillante et ont retenu un pourcentage élevé de leurs composés volatiles odorants (Naikwadi *et al.*, 2010).

Cette technique a fait l'objet des travaux de Naikwadi *et al.*, (2010), les figues propres ont été soumis à un traitement à la vapeur à 90°C/5 min en autoclave puis trempées dans différents sirops de saccharose, de glucose, de fructose et de sucre inverti à 50° Brix pendant 24 h. A leur sortie des solutions sucrées, les figues subissent un séchage à 50-55°C durant 18-20 h dans le but d'amener l'humidité des fruits à 18-20 %.

Les résultats ont montré que les figues préparées dans les sirops de fructose et de sucre inverti ont maintenu leur qualité sensorielle et hygiénique durant 6 mois comparées aux figues sèches non traitées.

III.2.3.2. Séchage par micro-ondes

Ces dernières années, le séchage par micro-ondes a gagné en popularité en tant que méthode de séchage alternative dans l'industrie alimentaire grâce à son uniformité et sa sélectivité (Sharifian et *al.*, 2012).

C'est une méthode rapide, plus régulière et offre des économies d'énergie importante avec une réduction potentielle du temps de séchage allant jusqu'à 50 % en plus de l'inhibition de la température de surface du matériau traité comparant au séchage conventionnel par l'air chaud (Abou-Farrag et *al.*, 2013).

Les micro-ondes font partie du spectre électromagnétique, leurs fréquences se situent entre 300 et 300 000 MHz avec des longueurs d'onde correspondantes comprises entre 1 000 et 1 mm. L'énergie des micro-ondes génère une chaleur dans les produits contenant une teneur élevée en eau. En d'autres termes, les micro-ondes chauffent l'eau libre, ce qui entraîne son élimination du produit sous forme de vapeur. La figue contient de l'eau libre interne ce qui permet l'application de cette méthode (Sharifian et *al.*, 2012).

Chapitre IV

Etudes antérieures traitant l'impact du séchage sur les propriétés physico-chimiques, la qualité nutritionnelle et l'activité antioxydante des figues (*Ficus carica L.*)

Chapitre IV : Etudes antérieures traitant l'impact du séchage sur les propriétés physico-chimiques, la qualité nutritionnelle et l'activité antioxydante des figes (*Ficus carica L.*)

Compte tenu d'une part, des circonstances exceptionnelles que traversent le monde entier et en particulier notre pays en raison de la pandémie du Coronavirus (COVID-19) et de la quarantaine partielle qui a touché notre wilaya nous ne pouvons que nous en passer de la partie expérimentale qui devait se dérouler dans notre mémoire de fin de cycle. D'autre part, étant donné qu'aucune étude n'a été réalisée sur la fige de notre région (Jijel), les travaux de recherche déjà effectués en Algérie et à l'étranger sur la même thématique ont été passés dans cette partie sous forme d'un document de synthèse.

Il est connu que les fruits sont vraiment parmi les grands cadeaux de la nature car ils fournissent de nombreux nutriments essentiels à la santé et au maintien de notre corps. La fige (*Ficus carica L.*) est un fruit délicieux et nutritif, elle a été utilisée depuis l'antiquité ainsi que d'autres parties de ses arbres à des fins médicinales. Les figes peuvent être destinées à la consommation fraîche, mais sont également très populaire comme fruit secs ou valorisées en confite (Abul-Fadl et al., 2015).

De nombreuses variétés de fruits doivent être transformées pour maintenir leur qualité car elles sont uniquement proposées en saison, parmi ces fruits on distingue les figes (Manoj et al., 2018). Ces dernières sont également très sensibles à la détérioration microbienne due à leur forte teneur en eau, ce qui présente un obstacle à leur conservation même dans des conditions de stockage à froid. Ainsi, la réduction de la teneur en humidité à un niveau qui permet un stockage sûr sur une période prolongée par un processus de séchage peut résoudre le problème de sensibilité des figes (Doymaz et al., 2004 ; Faleh et al., 2015).

Le séchage des produits est une pratique ancienne pour la conservation des aliments qui est encore largement utilisée (Kamiloglu et Capanoglu, 2015). Parmi les différentes techniques de séchage, le séchage au soleil, le séchage à l'air, et le séchage aux micro-ondes sont les méthodes les plus étudiées.

IV.1. Séchage au soleil

Malgré de nombreux inconvénients, le séchage au soleil (séchage traditionnel) est toujours pratiqué dans de nombreux endroits à travers le monde tels que les pays tropicaux et subtropicaux. L'énergie solaire est une source d'énergie alternative importante et préférée aux

autres sources d'énergie car elle est abondante, non combustible et non polluante. En outre, elle est renouvelable, bon marché et respectueuse de l'environnement (Doymaz et *al.*, 2004).

La qualité des figues la plus importante connue pour être affectée par le séchage à haute température (séchage au soleil) pendant longtemps comprend : les propriétés physico-chimiques, la valeur nutritionnelle, et la composition phytochimique.

IV.1.1. Influence du traitement de séchage par soleil sur les caractéristiques physicochimiques

Dans une étude récente menée par Chauhan et *al.*, (2015) les propriétés physiques d'une variété de figue indienne dont la longueur, la largeur et la densité ont été estimées avant et après séchage au soleil. Les deux premiers paramètres ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse, tandis que la densité a été mesurée par la méthode de déplacement au toluène, cette dernière se base sur l'immersion des échantillons de figues dans un cylindre gradué contenant le toluène. La densité est estimée comme le rapport de la masse de l'échantillon au volume de toluène déplacé.

D'après les résultats obtenus, la longueur des figues fraîches et sèches était comprise entre 15,46 mm, et 14,26 mm, respectivement. La largeur des échantillons frais était égale à 18,14 mm et à 17,46 mm pour les échantillons séchés.

Concernant la densité, les valeurs obtenues étaient de 0,93 g/ cm³ et 0,94 g/ cm³ pour les figues fraîches et sèches, respectivement. Des résultats similaires ont été rapportés par Manoj et *al.*, (2018) où ils ont montré que le processus de séchage au soleil avait une influence directe sur les différents paramètres physiques des échantillons de figues indiennes en raison de la diminution de la teneur en eau au fur et à mesure de l'opération, ainsi qu'aux variations de la masse du volume et de la structure de la paroi cellulaire.

L'humidité est un paramètre complémentaire important pour connaître la teneur en eau et estimer le rendement après séchage des fruits (Ribéreau-Gayon, 1968). En plus, sa détermination est primordiale, car elle influence sur la structure, l'apparence et le goût des fruits (Cendre, 2011).

Nakilcioglu et Hisil, (2013) ont évalué la teneur en humidité d'une dizaine d'échantillons de figues fraîches et sèches de la variété « *Sarilope* » présente en Turquie. Le taux d'humidité a été déterminé par dessiccation des échantillons dans un four à 103 ± 2 C° jusqu'à l'obtention

d'un poids stable (AOAC, 1997). A l'état frais, le taux d'humidité variait entre 76,44 % et 82,69 %. Après séchage, l'humidité des échantillons a diminué jusqu'à atteindre des valeurs comprises entre 16,73% et 27,89 %.

Manoj et *al.*, (2018) ont rapporté dans leur étude effectuée sur des figes de l'Inde que la teneur en humidité de la fige fraîche était 80,2 % et celle de la fige sèche 25,86 %. Les résultats de cette présente étude sont légèrement supérieurs à ceux trouvés par Ait Haddou et *al.*, (2014) qui ont évalué la teneur en humidité de sept cultivars locaux de figes au Maroc avant et après séchage. Ils ont signalé que les valeurs d'humidité pour les figes fraîches allaient de 54,57 % à 73,40 %, tandis que pour les figes sèches elles variaient entre 20,25% et 24,30 %.

Parmi les études réalisées sur la fige sèche, Al Askari et *al.*, (2012) ont examiné la teneur en humidité de 72 échantillons prélevés des marchés de rabat et Casablanca au Maroc, où ils ont indiqué dans leur résultat une valeur moyenne d'humidité de 21,7 %.

Dans l'ensemble il a été conclu que la totalité de l'eau contenue dans les figes fraîches ne peut être éliminée par le processus de séchage, cela est due au fait que les fruits sont composés de l'eau libre et de l'eau liée, cette dernière reste fixée aux groupements hydroxyles, carbonyles et aminés des molécules de sucres simples, polysaccharides..etc (Al Askari et *al.*,2012).

La cendre est la quantité de minéraux présente dans un échantillon ou une substance. La teneur en cendres est l'une des stratégies utilisées pour déterminer la quantité de minéraux offerts dans un échantillon particulier (Manoj et *al.*, 2018).

Selon la méthode de l'AOAC, (2000) la détermination de cendres consiste à incinérer dans un four à moufle à haute température des échantillons jusqu'à l'obtention d'une couleur noir et l'apparition de la fumée blanche.

Manoj et *al.*, (2018) ont évalué la teneur en cendres dans les figes fraîches et sèches, ils ont signalé des valeurs plus élevées dans les échantillons séchés au soleil (4,42%) par rapport aux échantillons frais (4 %). Ces résultats étaient conformes à ceux trouvés par Chauhan et *al.*, (2015) qui ont indiqué une valeur de 4,4 %.

De même dans une autre étude menée par Soni et *al.*, (2014) sur une variété de figue communément appelée « *Anjir* » en Inde, la teneur en cendres détectée après séchage était pratiquement similaire aux résultats des travaux cités avec une valeur de 4,65%.

L'acidité titrable et le pH sont des éléments importants pour la détermination de la date de la récolte, voire le degré de la maturité des fruits (Ouaouich et Chemi , 2005 ;Chahidi et *al.*, 2008).

Le principe de détermination de l'acidité totale titrable selon l'AOAC, (1990) consiste à réaliser une titration par une solution standardisée de NaOH à 0,1N en présence d'un indicateur coloré, et les résultats sont exprimés par convention en grammes d'acide citrique pour la figue. Tandis que le pH est mesuré par un pH mètre (Al Askari et *al.*, 2012)

Concernant l'acidité titrable, Al Askari et *al.*, (2012) ont rapporté des valeurs comprises entre 0,26 et 0,36 g d'acide citrique / 100 g matière sèche (MS). Ces résultats sont inférieurs à ceux indiqués par Bachir Bey et *al.*, (2016) qui ont signalé des teneurs allant de 0,77g à 1, 92 g d'acide citrique /100g MS.

Dans l'étude menée par Hoxha et Kongoli, (2016) sur deux variétés de figues albanaises sèches nommées « *Roshnik* » et « *Malakuq* » la valeur de pH variait entre 4,21 et 4,35. Ces données sont inférieures à ceux obtenues par Al Askari et *al.*, (2012) où ils ont rapporté des valeurs allant de 4,9 à 5,4.

IV.1.2. Influence du traitement de séchage par soleil sur la valeur nutritionnelle

Les glucides constituent la majeure partie de notre alimentation et sont apportés surtout par les fruits (Lee et *al.*, 1970). La concentration en glucides des fruits est d'un grand intérêt, à cause de leur influence sur les propriétés organoleptiques et constitue un critère d'évaluation de la maturation, elle conditionne également la stabilité et la conservation des fruits (Golubev et *al.*, 1987 ; Jiang et *al.*, 2013).

Parmi les méthodes de dosages des glucides on trouve la méthode des anthrones. Cette dernière a été adoptée dans plusieurs travaux dont ceux de Manoj et *al.*, (2018) et Chauhan et *al.*, (2015). Son principe consiste en premier lieu à une hydrolyse des glucides en sucres simples à l'aide d'acide chlorhydrique dilué. Puis dans un milieu acide chaud, le glucose est déshydraté en hydroxyméthyl furfural, ce composé forme avec l'anthrone un produit de couleur verte avec un maximum d'absorption à 630 nm.

Les résultats de l'étude menée par Chauhan *et al.*, (2015) ont rapporté des teneurs en glucide de 16,3 g /100g pour les figes fraîches et de 65,15 g /100g pour les figes sèches. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Manoj *et al.*, (2018).

En outre de la méthode des anthrones, d'autres auteurs ont utilisé la technique d'HPLC pour le dosage des glucides, dont Faleh *et al.*, (2015) qui ont étudié l'effet de séchage par soleil sur la teneur en sucres de dix cultivars tunisiens de couleurs différentes. L'extraction des glucides a été réalisée par chauffage des échantillons avec de l'éthanol aqueux (80% v/v), le mélange est évaporé à sec et le solvant est éliminé par évaporation sous vide. Le résidu obtenu est dissous et filtré puis analysé par HPLC (Miguez Bemardez *et al.*, 2004). Les résultats ont révélé que les extraits de figes sèches possédaient une teneur en sucres d'environ 34,064 g /100 g. Le fructose et le glucose ont été identifiés comme les principaux monosaccharides de la fige sèche, avec des teneurs comprises entre 9 et 31 g/100 g et entre 12 et 19 g /100g respectivement.

Faleh *et al.*, (2015) ont rapporté que les différences observées dans les niveaux de glucose et de fructose pourraient être associées au niveau d'activité des enzymes impliquées dans le métabolisme du sucre, telles que l'invertase et le saccharose phosphate synthase.

Dans une autre étude effectuée par Slatnar *et al.*, (2011) sur des variétés locales des figes séchées par soleil dite « *Belapetrovka* » en Slovénie, la méthode d'HPLC a été également utilisée pour déterminer la teneur en sucres. Les résultats étaient inférieurs à ceux trouvés par Faleh *et al.*, (2015) avec une teneur moyenne de 22,9 g / 100 g. Slatnar *et al.*, (2011) ont aussi rapporté que le fructose et le glucose étaient les sucres les plus dominants dans tous les échantillons analysés avec des teneurs de 12,1 et de 10,3 g /100 g, respectivement.

Les protéines alimentaires d'origine végétale occupent une grande part dans l'alimentation humaine même si elles ont une valeur biologique moins importante que celle des protéines d'origine animale (Lacroix, 2008).

Pour le dosage des protéines de figes sèches, Chauhan *et al.*, (2015) et Soni *et al.*, (2014) ont examiné la teneur en protéines par l'utilisation de la méthode Kjeldhel. Lors du dosage, l'échantillon est minéralisé en milieu acide (en utilisant l'acide sulfurique à haute température) où l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal en présence d'un sel (sulfate de potassium) et d'un catalyseur (sélénium, l'oxyde de mercure II, sulfate de cuivre II). L'ammoniac est ensuite libéré sous forme de sel (sulfate d'ammonium) par addition d'une

solution concentrée de NaOH en excès avant d'être distillée par la vapeur d'eau et piégée dans une solution d'acide borique. Le borate d'ammonium est titré par une solution standardisée d'acide (chlorure d'hydrogène ou d'acide sulfurique) et d'un indicateur.

Chauhan et *al.*, (2015) ont rapporté que la figue sèche ne contient que 3,01 % de protéine, tandis qu'un apport de 4,67 % a été déterminé par Soni et *al.*, (2014). Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Ait Haddou et *al.*, (2014) qui ont trouvé des valeurs allant de 4,17 à 7,23 % pour les différentes variétés de figes analysées.

Les fibres sont des parties d'origine végétale que notre corps ne digère pas, elles jouent cependant un rôle physiologique important dans le transit intestinal.

Très peu d'études ont été réalisées pour déterminer la teneur en fibres dans les figes sèches. Selon la méthode décrite par l'AOAC 985.29 et adoptée par Soni et *al.*, (2014), le principe de dosage des fibres consiste dans une première étape en une digestion des échantillons à l'aide d'un cocktail enzymatique (α amylase, protéase et amyloglucosidase), puis un traitement avec de l'éthanol afin de précipiter les fibres solubles et d'extraire les protéines et le glucose. Le précipité obtenu est lavé, séché et pesé.

Les résultats de Soni et *al.*, (2014) ont montré que le contenu en fibres alimentaires des figes sèches est de 3,68%. En outre les données de l'étude effectuée par Lim, (2012) sur des figes malaysiennes ont rapporté une teneur de 2,9 g de fibre totale pour 100 g de figes fraîches et de 9,8 g pour 100 g de figes sèches.

La figue est connue pour être un excellent fruit pour la santé grâce à sa teneur négligeable en lipides et en cholestérol. Ces faits ont été confirmés par les travaux de Chauhan et *al.*, (2015). Pour le dosage de la matière grasse ils ont adopté la méthode de Soxhlet décrite par l'AOAC, (2000). C'est une méthode de référence lors de laquelle la matière grasse totale (MGT) est extraite en utilisant l'éther éthylique, après évaporation du solvant le résidu obtenu est pesé et la matière grasse est déterminée. Des apports de 0,53 % pour la figue fraîche et de 0,56 % pour la figue sèche ont été obtenus à la fin de cette étude. Ces résultats ont été appuyés par ceux obtenus par Soni et *al.*, (2014) pour les figes sèches (0,56%).

Dans l'ensemble il a été conclu que le séchage par soleil augmente la teneur en nutriments en raison de l'élimination de la teneur en eau.

IV.1.3. Influence du traitement de séchage par soleil sur les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont présents dans tous les fruits en tant que groupe diversifié de métabolites secondaires (Kamiloglu et Capanoglu ,2015 ; Oliveira et *al.*, 2009).

Les figues ont des bons niveaux de nutriments et représentent une source importante de polyphénols qui contribuent à sa qualité. Outre les effets antioxydants, les composés phénoliques possèdent un large éventail de propriétés biochimiques et peuvent également avoir un effet bénéfique sur la prévention du développement de différentes maladies (Bachir Bey et Louaileche, 2015 ; Abul-Fadl et *al.*, 2015).

Dans la littérature, au cours de la dernière décennie, l'intérêt scientifique s'est concentré sur l'analyse qualitative et quantitative des composés phénoliques dont les acides phénoliques, les flavonoïdes et les anthocyanes dans différentes variétés de figues fraîches et sèches.

L'extraction est l'une des étapes les plus importantes pour la purification et la pré-concentration de composés spécifiques et elle joue un rôle crucial dans l'isolement et l'analyse qualitative des composés phytochimiques (Arvaniti et *al.*, 2019).

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'extraction des composés phénoliques dont leur structure chimique, le temps et les conditions de stockage ainsi que la présence d'interférents, la taille des particules formant l'échantillon et le solvant d'extraction (Naczk et Shahidi, 2004).

Différents solvants organiques tels que l'acétone (Bachir Bey et Louaileche, 2015), l'éthanol, le méthanol (Manoj et *al.*, 2018 ; Chauhan et *al.*,2015 ; Bachir Bey et *al.*,2016 ; Faleh et *al.*,2012 ; Hoxha et Kongoli, 2016 ; Nakilcioglu et Hisil, 2013 ; Pourghayoumi et *al.*, 2017) et leurs combinaisons avec l'eau (Hoxha et *al.*, 2015 ; Faleh et *al.*,2015 ; Kamiloglu et Capanoglu, 2015) ont été largement utilisés pour récupérer les différents composés phénoliques de la figue fraîche et sèche. Par ailleurs, les solvants aqueux donnent les meilleurs rendements d'extraction que les solvants absolus (Spignon et *al.*, 2007). Il a été aussi montré que parmi les quatre solvants, le méthanol 80%, l'éthanol 80%, l'eau et l'acétone 80%, la combinaison acétone/eau est le mélange qui a donné des niveaux de composés phénoliques les plus élevés (Bachir Bey et *al.*, 2013).

Les méthodes les plus couramment utilisées pour la détermination des polyphénols totaux dans les extraits de figues sont au moyen d'essais colorimétriques dont la méthode de Folin-Ciocalteu qui a été appliquée par de nombreux chercheurs (Hoxha et *al.*, 2015 ; Faleh et *al.*,2015 ; Kamiloglu et Capanoglu, 2015 ; Manoj et *al.*, 2018 ; Chauhan et *al.*,2015 ; Bachir Bey et *al.*,

2016 ; Nakilcioglu et Hisil , 2013 ; Pourghayoumi *et al.*, 2017 ; Bachir Bey et Louaileche, 2015). Cette méthode est basée sur une réaction d'oxydo-réduction, où le réactif de Folin-Ciocalteu est réduit, lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum à 750 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006). L'acide gallique (AG) ou l'acide tannique (AT) sont utilisés comme standards et la teneur phénolique est exprimée en mg d'équivalents d'acide gallique (EAG) ou d'acide tannique (EAT) pour 100 g d'échantillon frais ou sec (Arvaniti *et al.*, 2019).

Au cours des dernières années, plusieurs études ont également utilisé des méthodes analytiques plus spécifiques et sélectives pour la détermination des composés phytochimiques dans les extraits de figes (Faleh *et al.*, 2012). L'instrumentation la plus couramment utilisée pour la détermination qualitative et quantitative des composés phytochimiques dans les échantillons de figes est la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) couplée à une détection spectrophotométrique telle que l'ultraviolet-visible (UV-Vis) ou détection de barrettes de diodes (DAD) et détection de masse (MS). Dans la plupart des cas, ces méthodes analytiques sont utiles pour l'identification de ces composés à partir de différentes parties de figes / fruits entiers. De plus, ces techniques analytiques peuvent atteindre des limites de détection très basses pour certains composés phytochimiques. La séparation par chromatographie liquide de ces composés phénoliques a été principalement réalisée à l'aide de colonnes C18 et C8 (Arvaniti *et al.*, 2019).

La teneur totale en polyphénols de la fige fraîche et sèche de quelques variétés cultivées en Inde a été mesurée par Manoj *et al.*, (2018). Les résultats de ces analyses ont montré que la teneur en polyphénols dans les extraits de figes fraîches était de 4.58 mg EAT/ 100 g et de 4,92 mg EAT/100 g après séchage. Dans la recherche menée par Slatnar *et al.*, (2011) sur une variété de fige cultivée en Slovénie, une teneur en phénols totaux de 7,49 mg EAG /100 g a été signalée dans les fruits de figes fraîches avec une augmentation significative après séchage (49,5 mg EAG/ 100 g). Selon les rapports de ces études, il avait été découvert que le contenu phénolique augmentait après séchage. Cela est due à la perte d'humidité et également au fait que le séchage est chargé de libérer la liaison des composés phénoliques de la matrice tout au long de la dégradation des constituants cellulaires.

Des résultats contradictoires ont été signalés dans l'étude menée par Bachir Bey *et al.*, (2016) sur trois variétés de figes locales de l'Algérie, où ils ont indiqué une régression dans la

teneur en phénols totaux qui était comprise entre 107,08 – 181,06 mg /100 g MS à l'état frais jusqu'à atteindre des concentrations allant de 30,81 à 40,91 mg/100 MS après séchage.

Dans l'ensemble, la variabilité de la teneur en polyphénols entre les cultivars étudiés peut être due à de nombreux paramètres tels que l'origine géographique, les conditions météorologiques et celles de stockage après récolte, les variétés, les conditions d'extraction, etc...(Bachir Bey et Louaileche, 2015).

En ce qui concerne l'influence de la couleur sur la teneur en composés phénoliques de la figue (*Ficus carica L.*), Kamiloglu et Capanoglu, (2015) ont rapporté dans leur étude sur deux variétés de figes turques séchées de couleur jaune et violette une teneur de 193 mg EAG/ 100 g et de 417 mg EAG/100 g pour la figue jaune et violette, respectivement. De même dans une autre étude menée par Bachir Bey et Louaileche, (2015) sur neuf variétés de figes sèches algériennes dont trois de couleur sombre et six de couleur clair, les résultats ont indiqué que la teneur en composés phénoliques des variétés foncés était supérieure à celle des variétés claires avec des valeurs moyennes de 618,85 mg EAG/100 g et de 514,72 mg EAG/ 100 g, respectivement.

De plus d'autres recherches se sont concentrées sur l'étude de l'influence des autres paramètres tels que les méthodes de dosage sur le contenu phénolique. En effet, cela a été montré dans l'étude effectuée par Faleh et *al.*, (2015) qui ont évalué la teneur en polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu dans cinq cultivars de figes tunisiennes. Après séchage ils ont noté des teneurs allant de 121,3 à 277,2 mg/100 g. En revanche dans une autre étude Faleh et *al.*, (2012) ont déterminé par HPLC-DAD le profil phénolique des mêmes variétés de figes sèches, où ils ont mentionné des concentrations inférieures de composés phénoliques totaux par rapport à celles déterminées par le réactif de Folin-Ciocalteu avec des teneurs comprises entre 14,22 et 78,14 mg / 100 g.

La différence des résultats entre les deux méthodes est due au fait que la méthode de Folin-Ciocalteu détecte non seulement les composés polyphénoliques mais aussi d'autres composés biologiques qui ont un pouvoir réducteur, en particulier les sucres, les amines aromatiques, le dioxyde de soufre, l'acide ascorbique, les acides organiques et le Fe (II) etc... (Faleh et *al.*, 2015).

Parmi les composés phénoliques les plus analysés dans la figue fraîche et sèche on cite les anthocyanes. Ces derniers sont des pigments spécialement associés aux fruits (Peterson et

Dwyer, 1998) et ils jouent un rôle très important dans la pollinisation (Hiem et *al.*, 2002). Ce sont également des composés très sensibles et peuvent être déstabilisés par plusieurs facteurs dont la température élevée et la lumière (Laleh et *al.*, 2006).

Plusieurs travaux ont été effectués pour évaluer la teneur en anthocyanes dans les figes fraîches et sèches en utilisant la méthode de pH différentiel (Kamiloglu et Capanoglu, 2015 ; Chauhan et *al.*, 2015 ; Hoxha et *al.*, 2015 ; Pourghayoumi et *al.*, 2017). C'est une méthode spectrophotométrique qui permet une mesure rapide et précise des anthocyanes totaux même en présence de pigments polymérisés dégradés et d'autres composés interférents. Elle est basée sur la détermination de l'absorbance des solutions extractives diluées avec des solutions tampon de pH = 1 et de pH = 4,5. Les anthocyanes se transforment réversiblement sous l'influence du pH. Le changement structurel associé avec la modification des chromophores détermine la couleur différente des solutions des anthocyanes en fonction du pH. La forme colorée (oxonium) prédomine à pH 1 et la forme incolore (hémiacétal) à pH 4,5. L'absorbance est mesurée à 520 et 700 nm et les résultats sont exprimés en mg de cyanidine-3-glucoside (C3G) pour 100 g d'échantillon frais ou sec (Ali Rachedi et *al.*, 2018) .

L'estimation quantitative a montré une baisse dans la teneur en anthocyanes après séchage selon les résultats obtenus par Kamiloglu et Capanoglu, (2015), où ils ont indiqué une teneur de 4,6 mg EC3G/100g et de 0,1 mg EC3G/100g pour la fige fraîche et sèche, respectivement. Ces résultats sont appuyés par ceux trouvés par Chauhan et *al.*, (2015) avec une teneur de 4,78 mg EC3G/ 100g pour le fruit frais et 4,67 mg EC3G/100 g après séchage.

De plus, Pourghayoumi et *al.*, (2017) au cour de leur étude sur certaines variétés de figes iraniennes ont montré une grande diversité dans les teneurs en anthocyanes qui variaient entre 0,8 et 4,44 mg EC3G/ 100g. Ces données sont presque similaires à ceux trouvées par Hoxha et *al.*, (2015) qui ont révélé des teneurs en anthocyanes pour des figes sèches albanaises allant de 0 à 5,32 mg EC3G / 100g.

Parmi des composés phénoliques de la fige (*Ficus carica*) y a également les flavonoïdes, qui sont des pigments ayant un rôle important dans la croissance et la défense de la plante (Pietta et *al.*, 2003). Il a été reconnu que les flavonoïdes présentaient une activité antioxydante importante et leurs effets sur la nutrition et la santé humaine sont cruciaux (Bachir Bey et Louaileche, 2015).

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux est réalisée par une méthode spectrophotométrique qui est la méthode du Trichlorure d'Aluminium. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement OH libre susceptible de donner en présence de chlorure d'aluminium un complexe jaunâtre par chélation de l'ion Al^{+3} ; l'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présents dans l'extrait. L'absorbance est mesurée à 430 nm et la teneur en flavonoïdes est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine ou la catéchine (standards). Les résultats sont par la suite exprimés en mg équivalent quercétine (EQ) ou catéchine (EC) /100g MS (Djeridane et *al.*, 2006).

Diverses études ont estimé la teneur en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des figes sèches. Bachir Bey et Louaileche, (2015) ont indiqué une teneur en flavonoïdes de 126,55 mg EQ / 100g. Ces résultats sont supérieurs à ceux trouvés par Ouchemoukh et *al.*, (2012) qui ont estimé la teneur en flavonoïdes de quelques fruits secs commercialisés dans les marchés de Bejaïa, et qui ont prouvé que la fige sèche est le fruit le plus riche en flavonoïdes (105,6 mg EQ /100g MS) par rapport aux autres fruits séchés tels que les raisins et les prunes.

Il est connu que pendant le séchage, le fruit est exposé au soleil et la peau, qui accumule des teneurs élevées en antioxydants, sera la partie la plus exposée au soleil. Par conséquent, la diminution des flavonoïdes après séchage n'est pas surprenante, car ces composés agissent comme des filtres UV, protégeant certaines structures cellulaires, comme les chloroplastes, contre les effets nocifs des radiations UV (Treutter, 2006). Ces faits ont été confirmés par les travaux menés par Manoj et *al.*, (2018) et Kamiloglu et Capanoglu, (2015) où ils ont détecté une teneur de 0,21 mg EQ /100g pour les figes fraîches et 0,19 mg EQ /100 g après séchage, et une concentration de 66 mg EC / 100g à l'état frais et 52 mg EC /100 g à l'état sec pour la première et la deuxième étude, respectivement.

La dégradation des flavonoïdes ne se produit pas uniquement en raison de la température et du chauffage, elle va en outre s'appuyer sur des paramètres alternatifs comme le pH, la présence d'oxygène, et donc la présence de différents composés phytochimiques dans le milieu (Ioannou et *al.*, 2012).

IV.1.4. Influence du traitement de séchage par soleil sur l'activité antioxydante

De nombreuses maladies telles que le cancer, l'inflammation, l'athérosclérose, la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson sont liées à des dommages médiés par les espèces réactives à l'oxygène des macromolécules biologiques, qui résultent d'un déséquilibre entre les

systèmes générateurs de radicaux et piègeurs de radicaux (Taubert et *al.*, 2003). Pour cela, plusieurs recherches réalisent également l'évaluation du potentiel antioxydant des extraits polyphénoliques (Aljane, 2018).

L'évaluation de l'activité antioxydante peut être effectuée par plusieurs méthodes différentes, entre autres : le test DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazil), le test du pouvoir réducteur du fer (FRAP) et le test du piégeage du radical ABTS (le 2, 2-azinobis (3-éthylbenzothiazoline) -Acide 6-sulfonique).

Le test DPPH est largement utilisé pour déterminer la capacité antiradicalaire de divers échantillons. En effet, lorsqu'une solution de DPPH est mélangée avec une substance qui peut donner un atome d'hydrogène, cela donne lieu à la forme réduite avec une perte de la couleur violette. La décoloration sera directement proportionnelle au nombre de protons captés et peut être suivie par la lecture de l'absorbance du milieu réactionnel à 517 nm. Elle permet d'évaluer le taux de réduction du DPPH et fournit donc un moyen pratique pour mesurer le pouvoir antioxydant des extraits étudiés (Brand-Williams et *al.*, 1995). L'activité antiradicalaire peut être estimée selon l'équation suivante :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(Ac - At) / Ac] \times 100$$

- **Ac** : Absorbance à 517 nm du contrôle.
- **At** : Absorbance à 517 nm de l'extrait testé.

L'étude réalisée par Chauhan et *al.*, (2015) a montré que l'activité antioxydante des figes sèches était équivalente à 75,36%, ce résultat était supérieur à ceux obtenus par Pourghayoumi et *al.*, (2017) et par Bachir Bey et Louaileche, (2015) qui ont signalé des valeurs égales à 51,37 % et à 41.63 %, respectivement.

Comme le test au DPPH, la détermination du pouvoir réducteur du fer est une analyse simple dans son application est en tout point complémentaire au test DPPH. Cette méthode est basée sur l'aptitude des extraits à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}).

Le mécanisme est connu comme étant un indicateur de l'activité donatrice d'électrons, caractéristique de l'activité antioxydante des polyphénols (Yildirim et *al.*, 2001). En effet, le complexe ferrique-tripyridyltriazine est réduit en la forme ferreux-tripyridyltriazine en présence d'antioxydants ; le complexe perd sa couleur jaune pour un bleu foncé. Cette coloration

mesurée à 700 nm est proportionnelle à la concentration en antioxydants présents dans les échantillons.

Afin d'évaluer l'efficacité antioxydante de certaines variétés de figes sèches turques, la méthode du pouvoir réducteur du fer (FRAP) a été adoptée dans différents travaux dont celui effectué par Nakilcioglu et Hisil, (2013) où ils ont signalé une activité réductrice moyenne de 222,71 mg FeSO₄/100 g MS. Cette valeur est largement inférieure à celle rapportée dans l'étude menée par Reddy et *al.*, (2010) sur des variétés de figes indiennes, où ils ont révélé une teneur de 3578,69 mg FeSO₄/100 g MS. Dans une autre étude réalisée par Capanoglu, (2014) sur des variétés de fruits sec turques dont la figue, le taux de réduction de FRAP était égal à 117 mg ET/100g. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par Kamiloglu et Capanoglu, (2015) qui ont estimé une teneur de 140 mg ET/100 g.

L'activité antioxydante des extraits phénoliques de figes peut être également évaluée en utilisant la méthode de piégeage du radical cation ABTS^{•+}. Cette dernière est basée sur la capacité des composés à piéger le radical-cationique ABTS^{•+}, (sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline) -6-sulfonique), qui présente un spectre d'absorption dans le visible avec trois maxima à 645, 734, et 815 nm (Thaipong et *al.*, 2006). En réagissant avec le persulfate de potassium (K₂S₂O₈), l'ABTS forme le radical ABTS^{•+}, de couleur bleue à verte. L'ajout d'un antioxydant va réduire ce radical et provoquer la décoloration du mélange. La décoloration du radical, mesurée par spectrophotométrie à 734 nm est proportionnelle à la concentration en antioxydants.

Hoxha et *al.*, (2015) et Hoxha et Kongoli, (2016) ont évalué l'activité antioxydante de deux variétés de figes sèches albanaises, où ils ont enregistré une différence significative entre leurs résultats obtenus. Les variétés cultivées en 2015 présentaient une valeur moyenne de 459,5 mol équivalent acide ascorbique /100g MS. Une teneur moindre pour celles cultivées en 2016 a été rapportée (24,5 mol équivalent acide ascorbique /100g MS).

Tandis que dans une autre recherche réalisée par Konac et *al.*, (2017) sur des variétés de figes turques une valeur de 4,62 mmol ET /kg a été estimée. Des résultats légèrement supérieurs ont été signalés dans l'étude effectuée par Pellegrini et *al.*, (2006) sur des figes italiennes avec une valeur de 5,02 mmol ET/ kg.

Selon les résultats cités précédemment dans les différentes études, la capacité antioxydante des figes a été fortement corrélée avec la quantité de composés phytochimiques. Il faut noter

aussi qu'en raison des différentes conditions expérimentales utilisées dans les tests cités précédemment, aucun test unique ne peut caractériser pleinement le profil de chaque échantillon. Par conséquent, leur combinaison est recommandée afin d'obtenir un aperçu de la capacité antioxydante des figes fraîches et séchées (Arvaniti et *al.*, 2019).

IV.2. Séchage au four

La déshydratation des fruits des arbres à feuilles est normalement obtenue par séchage au soleil, mais la sécurité du produit final est préoccupante, principalement en raison du risque de développement des aflatoxines. Ces préoccupations peuvent être surmontées par un séchage artificiel (déshydratation au four) (Piga et *al.*, 2004).

La déshydratation à l'air chaud a gagné une importance car elle présente de nombreux avantages par rapport au séchage au soleil, notamment, des meilleures conditions sanitaires apportées en raison d'une réduction de la contamination par poussière et autres matières étrangères, les paramètres de séchage peuvent être définis, contrôlés et modifiés avec précision tout au long du temps de traitement, ce qui permet d'obtenir un produit plus uniformément uniforme avec moins de dégradation de la qualité; également la déshydratation n'est pas conditionnée par la pluie ou les changements météorologiques (Hoxha et Kongoli, 2016).

IV.2.1. Influence du traitement de séchage au four sur les caractéristiques physicochimiques

L'effet de séchage à l'air chaud sur plusieurs paramètres de qualité des figes (*Ficus carica*) a été entamé dans certains travaux récents notamment dans celui réalisé par Khairuddin et *al.*, (2017) sur certains types de fruits malaysiens dont les figes. Une teneur de 30,86% d'humidité a été déterminée après séchage lors de cette étude.

Dans une étude comparative effectuée par Eshak, (2018), l'impact de deux méthodes de séchage (au soleil et au four) sur les attributs de qualité de certains légumes et fruits en Egypte (dont les figes) a été étudié. Une différence significative a pu être tracée dans la teneur en humidité entre les échantillons frais et séchés. Les échantillons séchés au four avaient une teneur en humidité (3,10%) inférieure à celle séchés au soleil (6,96%). Cette différence est probablement due à la température élevée du séchoir à four et aux temps modérément courts par rapport au séchage au soleil (Fana et *al.*, 2015).

En ce qui concerne la teneur totale en matières sèches des figes, Piga et *al.*, (2004) ont

évalué ce paramètre dans leur étude menée sur des figues italiennes, où ils ont signalé après séchage au four une teneur moyenne de 86,43 %. Ces données concordent avec la teneur en MS recommandée pour la figue séchée au four (Hoxha et Kongoli, 2016).

Les deux processus de séchage (au soleil et au four) ont un effet croissant sur la teneur en matières sèches, ce fait a été confirmé dans les travaux effectués par Hoxha et Kongoli, (2016) où la matière sèche initiale variait de 30,19 à 32,08%, après séchage au soleil elle est passée de 74,4 à 81,64%, tandis qu'après le processus de déshydratation à l'air chaud, elle est passée de 81,22 à 83,31%.

L'estimation de l'acidité titrable et du pH des figues séchées au four a été citée dans peu d'études dont celle de Piga et *al.*, (2004). En effet, à l'état frais les valeurs rapportées étaient 5,67 et 0,87% pour le pH et l'acidité, respectivement. Les résultats obtenus après séchage ont diminué pour atteindre une valeur de pH égale à 4,94 et un taux d'acidité titrable équivalent à 0,48%.

D'après Hoxha et Kongoli, (2016) la déshydratation à l'air chaud a entraîné une augmentation de l'acidité titrable (0,83-1,024 %) par rapport aux fruits frais (0,38-0,62 %), ceci est due au fait que les échantillons de fruits séchés contiennent moins d'eau, et les acides organiques sont les plus prédominants. En revanche une diminution de pH a été observée entre les échantillons à l'état frais (4,76 -4,67) et les échantillons secs (4,35-4,19).

Dans l'ensemble une relation inverse a été déterminée entre les valeurs de pH et de l'acidité titrable pour les figues fraîches et les figues sèches.

La teneur en cendres d'un produit alimentaire est un indice de la valeur nutritive (teneur en minéraux, sécurité et qualité). Selon les résultats obtenus par Eshak, (2018) la teneur en cendres des échantillons frais (1,84%) était significativement inférieure à celle des échantillons séchés au soleil (5,69%) et au four (7,30%). En outre dans l'étude effectuée par Khairuddin et *al.*, (2017) une teneur inférieure en cendres (3,79%) a été déterminée après séchage au four par rapport à celle susmentionnée. Dans l'ensemble, les échantillons ont montré une augmentation significative de la teneur en cendres après séchage en raison de l'élimination de l'eau, augmentant ainsi la concentration en nutriments. L'augmentation de la teneur en cendres après séchage peut également s'expliquer par la faible volatilité des minéraux, qui ne sont pas détruits par chauffage (Eshak, 2018).

IV.2.2. Influence du traitement de séchage au four sur la valeur nutritionnelle

Parmi les composés nutritifs les plus étudiés dans la figue on distingue ; les glucides, les protéines et la matière grasse. Concernant les glucides, une teneur de 57,36 % dans les figues séchées au four a été signalée par Khairuddin et *al.*, (2017). Cette valeur est inférieure à celle rapportée par Eshak, (2018) qui a signalé que les échantillons de figues séchées au four ont enregistré une valeur moindre (73,7%) comparant à celle séchées au soleil (76,9%).

A propos de l'évaluation de la teneur en protéines dans les figues fraîches et sèches Eshak, (2018) a noté dans ces résultats que les échantillons séchés au four ont enregistré la teneur la plus élevée en protéines (8,42%) comparant à ceux séchés au soleil (7,45 %) et aux échantillons frais (4,60 %). Par ailleurs une teneur moindre en protéines (3,93%) a été rapportée par Khairuddin et *al.*, (2017) dans les figues séchées au four.

La différence de résultats pour les figues séchées par les deux processus est due aux faites que le séchage au soleil réduisait la teneur brute en protéines par rapport au séchage au four en raison de la dénaturation de ces molécules thermolabiles et du séchage prolongé dans un environnement non contrôlé (Olapade et Ogunade, 2014).

Bien que les figues ne soient pas une bonne source de protéines, elles peuvent contribuer à l'alimentation humaine avec une haute qualité de certains acides aminés essentiels (Eshak, 2018).

La matière grasse (MG) contribue au contenu énergétique total d'un produit alimentaire. Par conséquent, sa valeur est importante pour estimer la valeur calorique d'un produit alimentaire (Kumur et Neeraj, 2018). Eshak, (2018) a déterminé dans son étude une valeur de 0,36 % de MG pour la figue fraîche. Cette valeur était inférieure par rapport à celle de l'échantillon séché au four (1,28%) qui était-elle même supérieure à la valeur obtenue pour l'échantillon séché au soleil (0,98%). D'après les résultats obtenus par Eshak, (2018) la faible teneur en matières grasses des échantillons de figues par rapport aux autres fruits et légumes étudiés indique leur stabilité vis-à-vis des réactions lypolitiques de rancissement, d'où une meilleure stabilité en étagère (Nishant et Neeraj, 2018).

IV.2.3. Influence du traitement de séchage au four sur le contenu phénolique total et l'activité antioxydante

Les fruits diététiques dont la figue fournissent une quantité raisonnable de composés phénoliques qui agissent comme des antioxydants physiologiques (Nakilcioglu et Hisil, 2013). Khairuddin et *al.*, (2017) ont rapporté dans leur étude que les extraits méthanoliques des figes malaisiennes séchées au four contenait environ 151,04 mg EAG/100 g de polyphénols totaux. Ce résultat est inférieur à celui indiqué par Hoxha et Kongoli, (2016) qui ont mené leur étude sur deux variétés de figes albanaises séchées au four, où ils ont indiqué des valeurs allant de 168,42 à 214,59 mg EAG/100 g. Cette dernière étude a également montré que les méthodes de séchages appliquées (séchage au soleil et au four) ont une influence sur la teneur en polyphénols totaux. Par ailleurs des résultats inférieurs (59 mg EAG / 100g) ont été obtenus à partir des figes slovènes étudiées par Slatnar et *al.*, (2011).

Le profil antioxydant des extraits de figes séchées à l'air chaud (au four) a été entamé dans peu de travaux récents. Dans les études que nous allons mentionner par la suite, l'évaluation de l'activité antioxydante a été limitée par l'utilisation de la méthode DPPH et celle de l'ABTS.

Hoxha et Kongoli, (2016) ; Slatnar et *al.*, (2011) ont adopté la méthode de DPPH pour l'estimation de l'activité antioxydante dans les différents échantillons de figes séchées au soleil et à l'air chaud (au four). Dans le rapport de l'étude menée par Hoxha et Kongoli, (2016) il a été noté que l'activité antioxydante des échantillons séchés à l'air chaud (5-6,5 mol ET/100g) était plus élevée que celle des échantillons séchés au soleil (3,9-5 mol ET/100g).

Des résultats contradictoires ont été indiqués par Slatnar et *al.*, (2011) où ils ont trouvé que le séchage par soleil avait une meilleure influence sur le potentiel antioxydant des figes par rapport au séchage au four avec des teneurs de 25 mg équivalent acide ascorbique /100g et de 23 mg équivalent acide ascorbique /100g, respectivement.

Concernant l'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode ABTS Konac et *al.*, (2017) ont décelé une teneur allant de 387,26 à 674,55 $\mu\text{mol ET} / 100 \text{ g MS}$. Alors que Hoxha et Kongoli, (2016) ont déterminé une teneur comprise entre 29 et 35 mol équivalent acide ascorbique / 100 g.

IV.3. Séchage par micro-ondes

La qualité du produit séché dépend des conditions et des méthodes de séchage à utiliser. Pour cela, un processus de séchage plus rapide et plus efficace, tel que la méthode de séchage par micro-ondes (MO) doit être envisagée pour la déshydratation des fruits. Récemment, la méthode de séchage par micro-ondes a été proposée comme une alternative de séchage efficace au séchage conventionnel. Les MO conduisent à un chauffage volumétrique qui signifie que tous les matériaux comme les fruits et légumes peuvent être chauffés à la température souhaitée en même temps (Parit et Prabhu,2017).

La recherche sur le séchage par micro-onde est jusqu'à présent concentrée principalement sur les aspects fondamentaux de l'application industrielle. Pour cette raison très peu d'études ont été réalisées afin d'évaluer l'effet de séchage par micro-ondes sur la qualité finale de la figue (*Ficus carica*). Par conséquent dans cette partie on abordera uniquement un travail récent effectué par Chauhan et al., (2015) sur la figue. Les résultats de l'analyse de ce dernier seront renforcés par ceux cités dans des travaux effectués sur d'autres fruits et légumes séchés par MO.

Afin de sensibiliser les consommateurs aux effets des méthodes de transformations sur la valeur nutritionnelle des fruits et à leur habitude de consommer des fruits frais de saison, Chauhan et al., (2015) ont examiné l'effet de trois traitements de séchage, y compris le séchage par soleil et la technologie des micro-ondes, sur la composition physico-chimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante de la figue (*Ficus carica*).

Dans cette présente étude deux paramètres physico-chimiques ont été évalués à savoir l'humidité et les cendres. Il a été observé que la teneur en humidité atteinte après séchage aux micro-ondes (25,43%) était presque similaire à celle du séchage au soleil (25,86%) et évidemment inférieure au résultat obtenu à l'état frais (80,2%). En effet, Mcloughlin et al., (2003) ont indiqué que l'énergie des micro-ondes est rapidement absorbée par les molécules d'eau et qu'il en résulte une évaporation rapide de l'eau qui entraîne des taux de séchage plus élevés.

Pour les cendres des résultats approximatifs ont été obtenus après séchage aux micro-ondes et au soleil avec des valeurs de 4,30 % et 4,42 %, respectivement. Cependant ces teneurs étaient légèrement supérieures à celle obtenue avec les échantillons frais (4 %).

La composition nutritionnelle en glucides, protéines et matières grasses a été également déterminée par Chauhan et *al.*, (2015).

Concernant la teneur en glucides, il a été noté que les échantillons séchés aux micro-ondes et au soleil présentaient des résultats similaires (65,18 g/100g et 65,15g/100g, respectivement) et évidemment supérieurs à la valeur obtenue à l'état frais (16,3g /100g).

A propos de la teneur en protéines des figues séchées aux MO, les résultats présentaient une valeur moyenne (3,18%) légèrement supérieure à celle obtenue lors du séchage au soleil (3,01%) mais plus élevée comparant aux échantillons frais (0,53%).

Dans la même étude, il a été constaté que la teneur en matières grasses était presque équivalente entre les échantillons séchés aux micro-ondes, au soleil et les échantillons frais avec des valeurs allant de 0,53 à 0,59 %.

La teneur en composés phénoliques a été également estimée par Chauhan et *al.*, (2015), où ils ont détecté des valeurs similaires moyennes d'environ 5 mg EAT/100 g lors du séchage par micro-ondes et par soleil. Par ailleurs, dans une étude effectuée par Arslan et Özcan, (2010) sur une variété d'oignon (*A. cepa*) turques, le contenu phénolique a été évalué après séchage au soleil et aux micro-ondes. Il a été observé que la teneur en polyphénols totaux était plus élevée dans les échantillons séchés par MO (1624 mg/100 g) comparant à celle estimée lors du séchage au soleil (472 mg/100 g).

D'autre part, Chauhan et *al.*, (2015) ont étudié aussi l'impact des procédés de séchage sur l'activité antioxydante par le biais de deux tests, le test DPPH et le test du piégeage du radical ABTS. Selon les résultats obtenus, les moyennes du pourcentage d'inhibition du DPPH variaient entre 73,42%, 75,36%, et 75,84% pour les échantillons frais, séchés au soleil, et les échantillons séchés aux micro-ondes, respectivement. Lors de l'analyse par la méthode ABTS, la valeur enregistrée pour les figues séchées aux micro-ondes était plus élevée (78,54%) que celle obtenue avec les échantillons séchés au soleil (76,55%) et les échantillons frais (76,22%). Ces résultats sont appuyés par ceux obtenus par Valadez-Carmona et *al.*, (2016) qui ont étudié l'effet du séchage par micro-ondes et au four sur la composition polyphénolique et l'activité antioxydante de la cosse de noix de coco (*Cocos nucifera L.*).

Dans l'ensemble, il a été conclu que le séchage par micro-ondes était une meilleure approche du séchage de la cosse de noix de coco en terme, du contenu phénolique et de l'activité

antioxydante par rapport à la méthode du four à air chaud, où ils ont enregistré une teneur en phénols totaux de 45,5 mg/100g MS et une activité réductrice évaluée par ABTS équivalente à 1226,6 $\mu\text{mol ET/g}$ après séchage aux micro-ondes, et des valeurs moindres égales à 35,8 mg/100 g MS pour le contenu polyphénolique et 743,8 $\mu\text{mol ET/g}$ pour l'activité réductrice de l'ABTS après séchage à air chaud .

Dans ce même contexte Ozcan-Sinir et *al.*, (2019) ont également évalué le contenu phénolique et l'activité antioxydante d'un sorte d'agrumes nommé "*kumquat*" de la Turquie séché au MO et à l'air chaud. Des valeurs plus élevées en phénols totaux (2800 mg EAG/100g MS) et en activité antioxydante (9 $\mu\text{mol ET/g MS}$) ont été signalés après séchage au MO, comparant à celle obtenus lors du séchage à l'air chaud avec des valeurs égales à 2300 mg EAG/100g MS et à 5 $\mu\text{mol ET/g MS}$, respectivement.

Conclusion

Conclusion

La figue (*Ficus carica*) est parmi les fruits climactériques, saisonniers dont leur disponibilité pour une consommation prolongée a été rendue possible grâce au séchage. Ce dernier s'est avéré être une méthode de conservation fiable pour les figues, en termes de faisabilité technique et de qualité nutritionnelle.

Outre leur rôle énergétique, les figues sèches ont de bons niveaux de nutriments et représentent une source importante de fibres, de vitamines, de minéraux . etc. Elles renferment également de nombreux composés bioactifs tel que les polyphénols, les flavonoïdes, les anthocyanes qui caractérisent ce fruit par des propriétés antioxydantes et thérapeutiques remarquables.

Plusieurs études ont évalué l'impact de différents procédés de séchage à savoir le séchage au soleil, au four et assisté aux micro-ondes sur la qualité physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment l'activité antioxydante de la figue (*Ficus carica*).

Les travaux qui ont traité l'influence du séchage au soleil sur les attributs de qualité de la figue dont les caractéristiques physicochimiques ont montré que ce dernier cause l'élimination de l'eau des fruits menant à une diminution significative de l'humidité, influençant ainsi l'apparence de la figue (la longueur et la largeur).

D'après les résultats obtenus des études antérieures, nous avons constaté que la composition en nutriments est influencée positivement par le séchage au soleil. Les glucides totaux forment la plus grande part du fruit, cela permet de confirmer que la figue sèche est un fruit très énergétique. En revanche elle n'est pas considérée comme une source de matières grasses.

Concernant la composition phytochimique et particulièrement la teneur en polyphénols totaux des résultats contradictoires ont été rapportés par différents auteurs, ce qui indique que le séchage au soleil peut avoir un effet positif ou négatif sur la teneur de ces composés. Des résultats également opposés ont été signalés dans les différentes études traitant l'impact de ce procédé de séchage sur l'activité antioxydante.

Par ailleurs, le séchage au four a été aussi l'objet de plusieurs travaux récents. D'après les données obtenues par plusieurs auteurs, le séchage au four a présenté une meilleure efficacité

par rapport au séchage au soleil en ce qui concerne les caractéristiques physicochimiques, à savoir la teneur en humidité, en matières sèches et en cendres.

Pour ce qui est de la valeur nutritionnelle, le séchage au four a également présenté un effet plus positif que le séchage au soleil à propos de la teneur en protéines et en matières grasses. De même une teneur moindre en glucides dans les figes séchées au four comparant à celle séchées au soleil a été évoquée dans la littérature.

Plusieurs études ont montré que la fige séchée au four représente une bonne source de polyphénols avec des valeurs pouvant atteindre les 214 mg EAG/100g, ce qui a conduit à confirmer son pouvoir antioxydant très important.

Récemment une méthode alternative de séchage assistée aux micro-ondes a été l'objet de quelques études. Selon les résultats obtenus, le séchage aux micro-ondes améliore la qualité physicochimique et nutritionnelle en particulier la teneur en glucides et en protéines. De même il a été prouvé qu'il possède un effet croissant sur la composition phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante.

En général, l'ensemble des travaux réalisés nous ont permis d'une part, de déduire que le type de variété des figes et la nature du procédé de séchage appliqué peuvent avoir une influence sur la qualité finale de la fige sèche, et d'autre part, de confirmer l'avantage de la consommation de ce fruit sec vue son intérêt nutritionnel et sa richesse en antioxydants.

Enfin, en guise de perspective, nous souhaitons réaliser une étude expérimentale sur les différentes variétés de figes (*Ficus carica*) existantes dans notre région "Jijel" en :

- Évaluant l'impact de plusieurs procédés de séchage (au soleil, au four et aux micro-ondes) sur les attributs de la qualité des figes à savoir la qualité physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment l'activité antioxydante.
- Réalisant aussi des analyses sensorielles et microbiologiques afin de nous permettre de déterminer la méthode de séchage la plus efficace.
- Contribuant à façonner une banque de données nationale concernant les différentes variétés de fige sèches existantes en Algérie.

Références bibliographiques

-A-

- Abou-Farrag, H.T., Abdel-Nabey, A.A., Abou-Gharbia, H.A., & Osman, H.O.A. (2013). Physicochemical and Technological Studies on Some Local Egyptian Varieties of Fig (*Ficus carica* L.). *Food Science and Technology* ,34(2) ,190-203.
- Abul-Fadl, M. M ., Ghanem, T.H., EL-Badry ,N.,& Nasr, A. (2015).Effect of some Different Drying Methods on Quality Criteria of Dried Fig Fruits ,4(4),1-19 .
- Aguilera, J. M., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 432–437.
- Ait-Haddou, L., Blenzar, A., Messaoud, Z., Van Damme, P., Boutkhil, S., & Boukdame, A.(2014) .L'effet du cultivar, du prétraitement et de la technique de séchage sur quelques paramètres physico-chimiques des figues séchées de sept cultivars locaux du figuier (*Ficus Carica* L.) au Maroc . *European Journal of Scientific Research*,121 (4),336-346.
- Aksoy, U. (1994). Present status and future prospects of underutilized fruit production in Turkey. First Meeting CIHEAM Cooperative Research Network on Underutilized Fruit Trees. Zaragoza, Spain, 84-94.
- Al-Askari, G., Kahouadji, A., Khedid , K ., Charof, R., & Mennane, Z. (2012). Caractérisations physico-chimique et microbiologique de la figue sèche prélevée des marchés de Rabat-Salé, Temara et Casablanca, 7 (26) ,12-19.
- Albitar, N. (2010). Étude comparative des procédés de séchage couplés à la texturation par Détente Instantanée Contrôlée DIC, en termes de cinétique et de qualité nutritionnelle. Applications à la valorisation des déchets agro-industriels. Thèse de doctorat : Génie des Procédés Industriels .France : L'université de la rochelle.143p.
- Ali-Rachedi, F., Meraghni, S., & Touaibia, N. (2018). Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea sub.Maritima* L. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 87(1) ,13-21.
- Aljan, F. (2018). Evaluation des composés phénoliques et des activités antioxydantes des figues (*Ficus carica* L.). Cieham-Bari. 2nd Mediterranean Forum for PhD students and young reseacher. Tunisie.1-15.

- Al-Maliki, A. D.M. (2012). Isolation and Identification of Tannins from *Ficus carica* L. Leaves and Study of Their Medicinal Activity Against Pathogenic Bacteria. *Thi-Qar Journal of Science*, 3 (3),2-11.
- Al-Snafi, A. E. (2017). Nutritional and pharmacological importance of *Ficus carica* : A review. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 7 (3), 33-48.
- Arslan, D., & Özcan, M.M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *Journal of food science and technology*, 43(7), 1121-1127.
- Arvaniti, O.S., Samarasa, Y., Gatidoub, G., Thomaidisc, N.S., & Stasinakisb, A.S. (2019). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, 119(1), 244-267.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15th edition The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (1997). Official Methods of Analysis. 18th edition. The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17thedition, The Association of Official Analytical Chemists.

-B-

- Babalıs, S. J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., & Belessiotis, V. G. (2006). Evaluation of thinlayer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75 (2), 205-214.
- Bachir Bey, M ., Louaileche, H., & Zemouri, S. (2013). Optimization of Phenolic Compound Recovery and Antioxidant: Activity of Light and Dark Dried Fig (*Ficus carica* L.) Varieties .*The Food Science and Biotechnology*, 22(6), 1613-1619.
- Bachir Bey, M., & Louaileche, H. (2015). A comparative study of phytochemical profile and in vitro antioxidant activities of dark and light dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *The Journal of Phytopharmacology*,4 (1),41-48.

- Bachir Bey, M., Louaileche, H., Meziant, L., Richard, G., & Fauconnier, M.L. (2016). Effects of sun-drying on physicochemical characteristics, phenolic composition and in vitro antioxidant activity of dark fig varieties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-8.
- Bauwens, P. (2008). Figs de tous pays. Ed. Edisud, 96 p.
- Belaid, D. (2015). Guide Du Sécheur De figues. In : Algérie - Manuel De Séchage Des fruits. Algérie ,65p.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Fruits and Fruit Products. *Food Chemistry*. Ed. Springer, 807-861.
- Benettayeb, Z.E. (2018). *Caractérisation moléculaire et morphologique du figuier (Ficus carica L.) d'Algérie*. Thèse doctorat : Science de la nature et de la vie. Algérie : Université d'Oran, 98 p.
- Benettayeb, Z. (1993). Biologie et écologie des arbres fruitiers. Ed. OPU. Alger. 140p.
- Berg, C.C., & Wiebes, J.T. (1992). African fig trees and fig wasps. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. Papers of the Department of Physics, Royal Netherlands, 89 (2), 289 p.
- Berthod, A., Billardello, B., & Geoffroy, S. (1999). Polyphenols in countercurrent chromatography. An example of large scale separation. *Analisis*, 27 (9), 750-757.
- Boizot, N., & Charpentier, J.P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'INRA ,79-81.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Brien, J., & Hardy, T.S. (2002). Fig growing in NSW. Agfact H3.1.19, 1st edition Agdex 219. Ed. Ann Munroe, 1-8.
- Bruneton, J. (1987). Eléments de phytochimie et de pharmacologie. Ed. Lavoisier, 585 p.

-C-

- Caliskan, O. (2015). Mediterranean figs (*Ficus carica L.*) Functional Food Properties. In: The mediterranean Diet: An Evidence-Based Approach. Ed.Elsevier, 629-627.
- Çalışkan, O., & Polat, A. A. (2011). Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica L.*) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 128(4), 473-478.
- Cano-Chauca, M., Ramos, A. M., Stringheta, P. C., & Pereira, J. A. M. (2004). Drying curves and water activity evaluation of dried banana. Proceedings of the 14th International Drying Symposium. Brazil: São Paulo.
- Cantin, C.M., Palou, L., Bremer, V., Michailides, T.J., & Crisosto, C.H., (2011). Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs. *Postharvest Biology and Technology*, 59 (2), 150–158.
- Capanoglu, E. (2014). Investigating the Antioxidant Potential of Turkish Dried Fruits. *International Journal of Food Properties*, 17 (3), 690-702.
- Carranza-Concha, J., Benlloch ,M., Camacho, M.M.,& Martínez-Navarrete ,N. (2012). Effects of drying and pretreatment on the nutritional and functional quality of raisins. *Food and Bioproducts Processing*, 90 (2), 243-248.
- Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M.D.L., Paez-Hernandez, M.E., Rodriguez, J.A., & Galan-Vidal, C.A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113,859-871.
- Cendre, A. (2011). *Procédé novateur d'extraction de jus de fruits par micro-onde : viabilité de fabrication et qualité nutritionnelle des jus*. Thèse doctorat : Alimentation et Nutrition. France : l'Université d'Avignon ,289 p.
- Chahidi, B., El-Otmani, M., Jacquemond, C., Tijane, M., El-Mousadik, A., Srairi, I., & Luro F. (2008). Utilisation de caractères morphologiques, physiologiques et de marqueurs moléculaires pour l'évaluation de la diversité génétique de trois cultivars de clémentinier. *Biologie et génétique moléculaire*, 331(1) ,1-12.
- Chaker, S. (1997). Figue/Figuier. *Encyclopédie berbère*. Peeters Publishers, 18,2825-2833.

- Charles, J. (2002). Fabulous figs featured in California collection. *Agricultural Research*, 5, 14-15.
- Chauhan, A., Tanwar, B., & Intelli, A. (2015) . Influence of Processing on Physicochemical, Nutritional and Phytochemical Composition of *Ficus carica* (Fig) Fruit. *Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 8(6), 254-259.
- Chawla, A., Kaur, R., & Sharma, A.K. (2012). *Ficus carica* L.: A review on its pharmacognostic, phytochemical and pharmacological aspects. *International Journal of Pharmaceutical and Phyto-pharmacological Research*, 1(4), 215-232.
- Cheikh-Traoré, M. (2006). *Etude de la phytochimie et des activités biologiques de quelques plantes utilisées dans le traitement traditionnel de la dysmenorrhée au Mali*. Thèse de doctorat : Médecine de Pharmacie et d'Odonto–Stomatologie. Mali : Université de Bamako ,175p.
- Chessa, I., & Nieddu, G. (2005). Analysis of diversity in the fruit tree genetic resources from a Mediterranean island. *Genetic Ressources and Crop Evolution*, 52(3), 267-27.
- Cheynier, V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 223S-229S.
- Clement, J. (1979). La santé par les plantes. Ed. Baudouin, Paris, 78-79.
- Condit, I.J. (1955). Fig varieties: A Monograph Hilgardia. *A Journal of Agricultural Science*, 23(11), 323–539.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*,12(4), 564-582.
- Crisosto, C. H., Bremer, V., Ferguson, L., & Crisosto G. M. (2010). Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *Journal of Horticultural Science*, 4 (45), 707–710.
- Curtay, J. P., & Robin, J.M. (2000). Intérêt des complexes antioxydants. *Nutrithérapie Info*, 1-4.

-D-

- Debib, A., Tir-Touil, A., Mothana, R.A., Meddah, B., & Sonnet, P. (2013). Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of two fruit samples of Algerian *Ficus carica* L. *Journal of Food Biochemistry*, 38(2), 1-9.
- Del Caro, A., & Piga, A. (2008). Polyphenol composition of peel and pulp of two Italian fresh fig fruit cultivars (*Ficus carica* L.). *European Food Research Technology*, 226(4), 715-719.
- Delluc, L. (2004). *Identification et caractérisation fonctionnelle de deux gènes régulateurs du métabolisme des composés phénoliques de la baie de raisin*. Thèse de doctorat : Sciences du Vivant, Géosciences, Sciences de l'Environnement. France : l'université Bordeaux, 310 p.
- Dionne, J.Y. (2002). Les caroténoïdes. *Québec Pharmacies*, 48 (9), 800-804.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activities of some Algerian medicinal plants extract containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97(4), 654-660.
- Doymaz, I. (2005). Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*, 71 (4), 403-407.
- Doymaz, I., Gorel, O., & Akgun, N.A. (2004). Drying Characteristics of the Solid By-product of Olive Oil Extraction. *Biosystems Engineering*, 88(2), 213-219.
- Duenas, M., Pérez-Alonso, J.J., Santos-Buelga, C., & Escribano-Bailon, T. (2008). Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21 (2), 107-115.

-E-

- El Bouzidi, S. (2002). Le figuier : histoire, rituel et symbolisme en Afrique du Nord. *Dialogues d'Histoire Ancienne*, 28 (2), 103-120.
- El Khaloui, M. (2010). Valorisation de la figue au Maroc. Bulletin mensuel d'information et de liaison du programme National de Transfert de Technologie en Agriculture, n° 186, 1-4.

Eshak, N.S. (2018). Quality Attributes of Some Vegetables and Fruits Preserved by Sun and Oven Drying Methods. *Alexandria Science Exchange Journal*, 39 (4), 708-721.

European Pharmacopoeia Commission.(2007). 6^{ème} édition. Strasbourg: Council of Europe.

-F-

Faleh, E., Ghaffari, A., & Ferchichi, A.(2015).Polyphenol and soluble Sugars contents of Tunisian Dried Fig .*Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 24(6), 1126-1129.

Faleh, E., Oliveira, A. P., Valentão, P., Ferchichi, A., Silva, B.M., & Andrade, P. B. (2012). Influence of Tunisian Ficus carica fruit variability in phenolic profiles and in vitro radical scavenging potential .*Brazilian Journal of Pharmacognosy*,22(6),1282-1289. .

Fana, H., Shimelis, A., & Abrehet, F. (2015). Effects of Pre-treatments and Drying Methods on Chemical Composition, Microbial and Sensory Quality of Orange-Fleshed Sweet Potato Flour and Porridge. *American Journal of Food Science and Technology*, 3 (3), 82-88.

FAO stat. (2018). Statistiques récentes de la FAO dans le domaine relatif au secteur de la figue. Site web:www.faostat.org. Consulter en Avril 2020.

Favier, J.C., Ireland-Ripert, J., Laussucq, C., & Feinberg, M. (1993). Répertoire général des aliments. Tome 3 : table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique. Ed. ORSTOM et Tech & Doc, INRA, 31-34.

Feliachi, K. (2006). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Institut National de La Recherche Agronomique d'Algérie (INRA), Alger, 67 p.

Ferradji, A., Malek, A., Bedoud, M., Baziz, R., & Aoua, S.A. (2001). Séchoir solaire à convection forcée pour le séchage des Fruits en Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, 4(1) ,49-59.

Ferrão, T. S., Tischer, B., Menezes, M. F. S. C., Hecktheuer, L. H. R., Menezes, C. R., Barin, J. S., Michels, L., & Wagner, R. (2017). Effect of Microwave and Hot Air Drying on the Physicochemical Characteristics and Quality of Jelly Palm Pulp. *Food Science and Technology Research*, 23 (6), 835-843.

Flaishman, M.A., Rover, V., & Stover, E. (2008). The fig: botany, horticulture, and breeding. *Horticultural Reviews*, 34, 113-197.

Frutos, P., Hervás, G., Giráldez García, F., & Mantecón, A. (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish journal of agricultural research*, 2 (2), 191-202.

-G-

Gamero, J.L. (2002). Production de figuiers : perspectives pour la commercialisation des figues sèches. In : Narjisse, H. Production de Figues : perspective pour la commercialisation des figues sèches. Maroc ,52-56.

Garrone, B. (1998). Le figuier. Les écologistes de l'Euzière. 2^{ème} édition. Presses du Midi, Montpellier, 111 p.

Giusti, M.M., & Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1-13.

Goby, J. (2006). Culture du Fiquier en Climat Continental. *Association Saint Fiacre Loire Baratte, France*, 1-7.

Golubev, V.N., Pilipenko, L.N., & Kakhniashvili, T.A. (1987). Fractionation and composition of the carbohydrates of *Ficus carica*. *Plenum Publishing Corporation*, 22, 631-634.

Gozlekci, S. (2011). Pomological traits of fig (*Ficus carica* L.) genotypes collected in the west mediterranean region in Turkey. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21 (4), 646-652.

Gramza, A., & Kolczak, J. (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis* L.) as antioxydants in lipid systems. *Trends in Food Science and Technology*, 16(8), 351-358.

Guingard, J. (1996). Biochimie végétale. Ed. Lavoisier, Paris, 175-192 p.

Guvenc, M. E. (2009). Analysis of fatty acid and some lipophilic vitamins found in the fruits of the (*Ficus carica*) variety picked from the Adiyaman district, 4 (3), 320-323.

-H-

- Haesslein, D., & Oreiller, S. (2008). Fraîche ou séchée, la figue est dévoilée. Filière Nutrition et diététique. Haute école de santé Genève, 1-4.
- Hiem, K. E., Tagliaferro, R. A., & Bobilya, J. D. (2002). Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13, 572-584.
- Hoxha, L., & Kongoli, R. (2016). Influence of drying process on phenolic content and antioxidant activity of two different autochthonous Albanian fig varieties. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 510-514.
- Hoxha, L., Kongoli, R., & Hoxha, M. (2015). Antioxidant activity of some dried autochthonous Albanian fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *International Journal of Crop Science and Technology*, 1(2), 20–26.

-I-

- Infanger, E. (2004). Table de composition nutritionnelle suisse à l'usage des consommateurs. Société suisse de nutrition. Ecole polytechnique fédérale. Office fédéral de la santé publique. Berne, 2^{ème} édition, 138 p.
- Institut National De La Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). (2006). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. Algérie, 92 p.
- Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne (ITAF). La culture du figuier.
- Ioannou, I., Hafsa, I., Hamdi, S., Charbonnel, C., & Ghoul, M. (2012). Review of the effects of food processing and formulation on flavonols and anthocyanin behavior. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 208-217.
- IPGRI & CIHEAM. (2003). Descriptors for Fig. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Paris, France.

-J-

- Janzen, D.H. (1979). How to be a fig ?. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 13-51.

Ife Fitz, J., & Bas, K. (2003). La conservation des fruits et des légumes .*Série Agrodok N°3*. Bas Kuipers, 94 p.

Jeddi, L. (2009). Valorisation des figues de Taounate -Potentiel, mode et stratégies proposées. Rapport direction provinciale d'agriculture de Taounate, Maroc, 29 p.

Jiang , L., Shen, Z., Zheng, H., He, W., Deng ,G., & Lu, H. (2013). Non invasive evaluation of fructose, glucose, and sucrose contents in fig fruits during development using chlorophyll fluorescence and chemometrics. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15 (2), 333-342.

Joseph, B., & Justin Raj, S. (2011). Pharmacognostic and phytochemical properties of *Ficus carica* Linn: An overview. *International Journal of Pharmacy and Technology Research*, 3(1), 08-12.

-K-

Kahrizi, D., Molsaghi, M., Faramarzi, A., Yari, k., Kazemi, E., Farhadzadeh, A.M., Hemati, S., Hozhabri, F., Asgari, H., Chaghmirza, k., Zebarjadi, A., & Yousofv, N. (2012). Medicinal Plant in Holy Quran. *American Journal of Scientific Research*, N°42, 62-71.

Kakhniashvili, T.A., Kolesnik, A.A., Zherebin, Y.L.,& Golubev, V.N. (1987). Liposoluble Pigments of the Fruit of *Ficus carica*. *Plenum Publishing Corporation*, 477-479.

Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2015). Polyphenol Content in Figs (*Ficus carica* L.): Effect of Sun-Drying . *International Journal of Food Properties*, 18(3), 521-535.

Kelm, A., Hammerstone, J. F., & Schmitz, H.H. (2005). Identification and quantitation of flavanols and proanthocyanidins in foods: How good are data?. *Clinical and Developmental Immunology*, 12 (1), 35-41.

Khairuddin ,M.F., Haron, H., Yahya, H ., & CheMalek, N.H. (2017). Nutrient Compositions and Total Polyphenol Contents of Selected Dried Fruits Available in Selangor, Malaysia .*Journal of Agricultural Science*, 9 (13),41-49.

Kjellberg, B, F., Doumesche, B., & Bronstein, J, L. (1987). Longevity of a fig wasp (*Blastophaga psenes*). *Ecology*, 91(2), 117-122.

Kolesnik, A. A., Kakhniashvili, T.A., Zherebin Yu, L., Golubev, V. N. & Pilipenko, L.N. (1987). Lipids of the fruit of *Ficus carica*. *Chemistry of Natural Compounds*, 22(4), 394–397.

Konak, R., Kosoglu, I., & Yemenicioğlu, A. (2017). Effects of different drying methods on phenolic content antioxidant capacity and general characteristics of selected Turkish fig cultivars. *Acta Horticulturae*, 1173(58), 335–340.

-L-

Lacroix, M.(2008). Variations qualitatives et quantitatives de l'apport en protéines laitières chez l'animal et l'homme : implications métaboliques. Thèse doctorat : Nutrition humaine .France : Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement ,Agro Paris Tech.

Laleh, G. H., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R., & Zare, S. (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four berberis species. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(1), 90-92.

Lansky, E.P., & Paavilainen, H.M. (2011). Figs: the genus *Ficus*.1st edition.415p.

Lee, C.Y., Shallenberger, R. S., & Vittum, M. T. (1970). Free sugars in fruits and vegetables. *Food Science and Technology*, n° 1, 1-12.

Lien, E. J., Ren, S., Bui, H. H., & Wang, R. (1999).Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 26 (3-4), 285-294.

Lim, T.K. (2012). Edible medicinal and non-medicinal plants: *Ficus carica*. Moraceae Fruits. Ed. Springer Sciences Media B, 3,898 p.

-M-

Mamouni, A.(2002). Caprification : Potentialités et contraintes pour la production de figues sèches. In : Narjisse, H. Production de Figues : perspective pour la commercialisation des figues sèches. Maroc, 42-51p.

- Manoj, K., Bornare, D., & Kalyan, B. (2018). Effect of Drying on Physicochemical and Nutritional Quality of *Ficus carica* (Fig). *International Journal of Engineering Research*, 7(6), 117-121.
- Marei, N., & Crane, J. C. (1971). Growth and respiratory response of fig (*Ficus carica* L. cv. Mission) Fruits to Ethylene. *Plant Physiology*, 48(3), 249–254.
- Marfak, A. (2003). *Radiolyse gamma des flavonoïdes, étude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides*. Thèse de doctorat : Faculté de médecine et Pharmacie. France : Université de Limoges, 220p.
- Martin, S., & Andriantsitohaina, L. (2002). Mécanisme de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de cardiologie et d'angiologie*, 51(6), 304-315.
- Martínez-García, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ramírez-Baca, P., Candelas-Cadillo, M. G., & González-Laredo, R. F. (2013). Drying Parameters of Half- Cut and Ground Figs (*Ficus carica* L.) var. Mission and the Effect on Their Functional properties. *Journal of Engineering*, 1-8.
- Mat Desa, W.N., Masita, M., & Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science & Technology*, 88(1), 93-103.
- Mauri, N. (1952). Les figuiers cultivés en Algérie. Documents et renseignements agricoles, bulletin n°105, Alger.57 p.
- McLoughlin, C.M., McMinn, W.A.M., & Magee, T.R.A (2003). Microwave drying of multi-component powder systems. *Drying Technology*, 21(2), 293-309.
- Miguez Bemardez, M., De La Montana, J .M ., & Queijeiro ,G. J .(2004) .HPLC determination of sugars in varieties of chestnut fruits from Galicia (Spain). *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 63-67.
- Morris, A., Barnett, A., & Burrows, O. (2004). Effect of processing on nutrient content of foods, 37(3), 160-164.
- Mueller-Harvey, I., & Mc Allan, A.B., (1992). Tannins: their biochemistry and Nutritional properties . *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*,1, 151-217p.

-N-

- Nakilcioglu, E., & Hisil, Y. (2013) Research on the phenolic compounds in sarilop (*Ficus carica L.*) fig variety, 38 (5), 267-274.
- Naikwadi, P. M., Chavan, U. D., Pawar, V.D., & Amarowicz, R. (2010). Studies on dehydration of figs using different sugar syrup Treatments. *Journal of Food Science and Technology*. 47(4), 442-445.
- Naczka, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolic in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111. .
- Nishant, K., & Neeraj. (2018). Study on physico-chemical and antioxidant properties of pomegranate peel. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 2141-2147.

-O-

- Okos, M. R. G., Narasimhan, R., Singh, K., Witnauer, A.C., & Campanella, O. (1992). Food dehydration. In: Heldman, D.R., Lund, D.B. (Eds.), *Handbook of Food Engineering*. Ed. Taylor and Francis Group, 2007, 1009p.
- Olapade, A., & Ogunade, O. (2014). Production and evaluation of flours and crunchy snacks from sweet potato (*Ipomeabatatas*) and maize flours. *International Food Research Journal*, 21(1), 203-208.
- Oliveira, A. P., Valentao, P., Pereira, J. A., Silva, B. M., Tavares, F., & Andrade, P. B. (2009). *Ficus carica L.*: Metabolic and biological screening. *Food and Chemical Toxicology*, 47 (11), 2841-2846.
- Ouaouich, A., & Chimi, H. (2005). Guide du sécheur de figes. Projet de développement du petit entreprenariat agroindustriel dans les zones péri-urbaines et rurales des régions prioritaires avec un accent sur les femmes au Maroc, 1-27.
- Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., & Louaileche, H. (2012). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *Food Science and Technology*, 49 (2), 329-332.
- Oukabli, A. (2003). Le figuier : un patrimoine génétique diversifié à exploiter. Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture, Maroc, n°106 ,1-4.

Ozcan-Sinir, G., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C.E., & Utku Copur, O. (2019). The effect of hot air, vacuum and microwave drying on drying characteristics, rehydration capacity, color, total phenolic content and antioxidant capacity of Kumquat (*Citrus japonica*). *Journal of Food Science and Technology*, 39 (2), 475-484.

-P-

Pande, G., & Akoh, C.C. (2010). Organic acids, antioxidant capacity, phenolic content and lipid characterization of Georgia-grown underutilized fruit crops. *Food Chemistry*, 120(4), 1067-1075.

Parit, R.K., & Prabhu, C.S. (2017). Microwave Fruit and Vegetables Drying. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 82-84.

Patil, V.V., & Patil V.R. (2011). *Ficus carica* Linn: An Overview. *Research Journal of Medicinal Plant*, 5 (3), 246-253.

Pellegrini, N., Serafini, M., Salvatore, S., Del Rio, D., Bianchi, M., & Brighenti, F. (2006). Total antioxidant capacity of spices, dried fruits, nuts, pulses, cereals and sweets consumed in Italy assessed by three different *in vitro* assays. *Molecular Nutrition & Food Research*, 50(11), 1030–1038.

Perez, C., Canal, J. R., & Torres, M. D. (2003). Experimental diabetes treated with *Ficus carica* extract: effect on oxidative stress parameters. *Acta Diabetol*, 40(1), 3-8.

Peterson, J., & Dwyer, J. (1998). Flavonoids: Dietary occurrence and biochemical activity. *Nutrition Research*, 18 (12), 1995-2018.

Pietta, P., Gardana, C., & Pietta, A. (2003). Flavonoids in Herbs. In: Rice-Evans, C.A., & Packer, L. Flavonoids in Health and Disease. 2nd edition .New York: Marcel Dekker, 43-69.

Piga, A., Pinna, I., Ozer , K.B., Mario Agabbio, M., & Aksoy, U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science and Technology*, 39 (7), 793–799.

Pourghayoumi, M. R., Bakhshi, D., Rahemi, M., Noroozisharaf, A., Jafari, M ., Salehi ,M., Chamane, R ., & Hernandez, F .(2017) . Phytochemical Attributes of Some Dried Fig

(*Ficus carica* L.) Fruit Cultivars Grown in Iran, *Agriculturae Conspectus Scientific*, 81(3), 161-166.

-R-

Rebour, H. (1968). Fruits méditerranéens autres que les agrumes. Ed. La maison rustique, Paris, 330 p.

Riberau-Gayon, P. (1968). Propriétés chimiques des phénols : Application aux produits naturels. In: Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod. 28-157.

Robards, K., & Antolovich, M. (1997). Analytical chemistry of fruit bioflavonoids. *Analyst*, 122, 11-34.

Reddy, C. V. K., Sreeramulu, D., & Raghunath, M. (2010). Antioxidant activity of fresh and dry fruits commonly consumed in India. *Food Research International*, 43(1), 285–288.

-S-

Sen, F., Meyvaci, K. B., Turanlı, F., & Aksoy, U. (2010). Effects of short-term controlled atmosphere treatment at elevated temperature on dried fig fruit. *Journal of Stored Products Research*, 46 (1), 28-33.

Sharifian, F., Modarres Motlagh, A., & Nikbakht, A.M. (2012). Pulsed microwave drying kinetics of fig fruit (*Ficus carica* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 6 (10), 1441-1447.

Sharma, M., Abid, R., & Sajgotra, M. (2017). Phytochemical Screening and Thin Layer Chromatography of *Ficus carica* Leaves Extract. *UK Journal of Pharmaceutical and Biosciences*, 5(1), 18-23.

Sirisha, S., Sreenivasulu, M., Sangeeta, K., & Chetty, C. M. (2010). Antioxidant properties of *Ficus* species: a review. *International Journal of Pharmacy and Technical Research*, 2 (4), 2174-2182.

Skiredj, A., Walali, L.D., & Ellatir, H. (2003). L'amandier, l'olivier, le figuier, le grenadier. *Transfert de technologie en agriculture*, Maroc, n°105, 1-4.

- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F., & Veberic, R. (2011). Effect of Drying of Figs (*Ficus carica* L.) on the Contents of Sugars, 2 Organic Acids, and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6-21.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H.E., Altman, A., Kerem, Z., & Flaishman, M.A. (2006). Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig (*Ficus carica* L.), *Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717-7723.
- Soni, N., Mehta, S., Satpathy, G., & Gupta, R. K. (2014). Estimation of nutritional, phytochemical, antioxidant and antibacterial activity of dried fig (*Ficus carica*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3 (2), 158-165.
- Spigno, G., Tramelli, L., & Faveri, D.M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*, 81, 200-208.
- Starr, F., Starr, K., & Loope, L. (2003). *Ficus carica*: Edible fig Moraceae. *Biological Resources Division*, 1-6.
- Stover, E., Aradhya, M., Ferguson, L., & Crisosto, C.H. (2007). The Fig: Overview of an Ancient Fruit. *Hort Science*, 42(5), 1083-1087.
- T-
- Tapiero, H., Townsend, D, M., & Tew, K, D. (2004). The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 58(2), 100-110.
- Taubert, D., Breitenbach, T., Lazar, A., Censarek, P., Harlfinger, S., & Berkels, R. (2003). Reaction rate constants of superoxide scavenging by plant antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 35, 1599–1607.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkink Byrne, D., (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675.
- Tous, J., & Ferguson, L. (1996). Mediterranean Fruits. In: Janick, J. Ed. *Progress in New Crops*, ASHS Press, Arlington, 416-430.

Trad, M., Bourvellec, C.L., & Gaaliche, B. (2013). Nutritional Compounds in Figs from the Southern Mediterranean Region. *International Journal of Food Properties*, 17(3), 491–499.

Treutter, D. (2006). Significance of flavonoids in plant resistance: A review. *Environmental Chemistry Letter*, 4(3), 147–157.

Trifunsi, S.I., Munteanu, M.F.F., Ardelean, D.G., Orodani, M., OSSER, G.M., & Gligor, R.I. (2015). Flavonoids and polyphenols content and antioxidant activity of *Ficus carica L.* extracts from Romania. *Journal for Natural Science*, n° 128, 57-65.

-V-

Valadez-Carmona, L., Cortez-Garcia, R. M., Plazola-Jacinto, C.P., Necoechea-Mondragon, H., & Ortiz-Moreno, A. (2016). Effect of microwave drying and oven drying on the water activity, color, phenolic compounds content and antioxidant activity of coconut husk (*Cocosnucifera L.*). *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3495–3501.

Vidaud, J. (1997). Le figuier. Paris: centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. Edi. SUDOC. 263 p.

Veberic, R., Colaric, M., & Stampar, F. (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig (*Ficus caria L.*) in the northern Mediterranean region. *Food Chemistry*, 106(1), 153-157.

Vinson, J.A. (1999). The functional food properties of figs. *American Association of Cereal Chemists*, 44 (2), 82-87.

Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., & Proch, J. (2005). Dried Fruits: Excellent *in vitro* and *in vivo* Antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1), 44-50.

-W-

Wang, H., Cao, G., & Prior, R.L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45(2), 304-309.

Weibes, J.T. (1979). Co-evolution of figs and their insect pollinators. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10(1), 1-12.

Wrolstad, R.E., Durst, R.W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Food Science and Technology*, 16(9), 423-428.

-Y-

Yancheva, S.V., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Perl, A., & Flaishman, M.A. (2005). Efficient *Agrobacterium*-mediated transformation and recovery of transgenic fig (*Ficus carica* L.) plants. *Plant Science*, 168(6), 1433-1441.

Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 4083-4089.

-Z-

Zimmer, N., & Cordesse, R. (1996). Influence des tannins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *Institut national de la recherche agronomique Productions Animales*, 9(3), 167-179.

Zoughlache, S. (2009). *Étude de l'activité biologique des extraits du fruit de (Zizyphus lotus*. L). Thèse de Magister. Batna : Université-El hadj Lakhdar –Batna, 91p.

Résumé

La figue est une composante fruitée typique du régime méditerranéen favorable à la santé depuis très longtemps. Vu que c'est un fruit saisonnier à aspect périssable, il doit être conservé sous sa forme sèche qui peut être obtenue par plusieurs procédés de séchage à savoir le séchage au soleil, au four et aux micro-ondes. Récemment plusieurs investigations se sont intéressées à l'étude de l'influence de ces procédés de séchage sur les attributs de la qualité de ce fruit que ce soit physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante. La figue sèche s'est avérée être un fruit riche en éléments nutritifs ainsi qu'en substances bioactives tels que les polyphénols totaux, les flavonoïdes et les anthocyanes qui contribuent à son pouvoir antioxydant très important. Les résultats des différents travaux ont montré que les techniques de séchages cités précédemment ont amélioré la qualité physicochimique de la figue, d'une part ils ont diminué significativement la teneur en humidité (80,2 à 25,86% après séchage au soleil), et d'autre part ils ont augmenté la teneur en certains paramètres dont les cendres (1,84% à 7,30% après séchage au four). De même il a été indiqué que ces procédés de séchage présentent un effet positif sur la teneur en différents composés nutritionnels et phytochimiques, à savoir les glucides (16,3 à 65,15 g/100g après séchage au soleil), les protéines (0,53 à 3,18 % après séchage aux micro-ondes), les fibres alimentaires (2,9 à 9,8 g/100g après séchage au soleil), et également les polyphénols totaux qui ont atteint une valeur de 151,04 mg EAG/100g après séchage au four. En ce qui concerne l'activité antioxydante, le dosage par ABTS a montré une activité réductrice plus importante dans les figues séchées par micro-ondes (78,54%) que celle des figues fraîches (76,22%). Par ailleurs des résultats contradictoires ont été rapportés au sujet de l'influence du séchage au soleil et au four sur le profil phytochimique et sur l'activité antioxydante, respectivement. Ces travaux, ouvrent de nouvelles perspectives pour l'évaluation de l'impact de ces différents procédés de séchage sur les figues algériennes et en particulier celles de notre région "Jijel".

Mot clé : Figue sèche, séchage au soleil, séchage au four, séchage aux micro-ondes, qualité physicochimique, qualité nutritionnelle, qualité phytochimique, activité antioxydante.

Abstract

Fig has been a typical fruit component of the health-promoting Mediterranean diet for a very long time. Due to its perishable and seasonal aspect, it must be kept in its dry form, which can be obtained by several drying processes, namely sun, oven and microwave drying. Recently several investigations were interested on studying the influence of these drying processes on the quality attributes of this fruit, whether physicochemical, nutritional, and phytochemical and especially on the antioxidant activity. The dried fig proved to be a fruit rich in nutrients as well as bioactive substances such as total polyphenols, flavonoids and anthocyanins, which contribute to its very important antioxidant activity. The results of the different works showed that the previously drying techniques improved the physicochemical quality of the fig, on the one hand they reduced the moisture content (80.2 to 25.86% after sun drying), and on the other hand, increased the content of certain parameters including ashes (1.84% to 7.30% after oven drying) It has also been indicated that these drying processes have a positive effect on the content of different nutritional and phytochemical compounds, namely carbohydrates (16.3 to 65.15 g/100g after sun drying), proteins (0.53 to 3.18 % after microwave drying), dietary fiber (2.9 to 9.8 g/100g after sun drying), and also total polyphenols which have reached a value of 151.04 mg AGE/100g after oven drying. Regarding antioxidant activity, the ABTS assay showed a greater reducing activity in microwave-dried figs (78.54%) than in fresh figs (76.22%). In addition, conflicting results were reported regarding the influence of sun and oven drying on the phytochemical profile and on the antioxidant activity, respectively. This work offers new opportunities for the evaluation of the impact of these different drying processes on Algerian figs and in particular those from our region "Jijel".

Key words: Dried fig, sun drying, oven drying, microwave drying, physicochemical quality, nutritional quality, phytochemical quality, antioxidant activity.

ملخص

التين هو عنصر فاكهي نموذجي من النظام الغذائي المفيد للصحة والمميز لمنطقة البحر الأبيض المتوسط منذ القدم. ونظرا لكونه فاكهة موسمية وسريعة التلف، يجب الاحتفاظ بها في شكلها الجاف الذي يمكن الحصول عليه من خلال العديد من عمليات التجفيف، وهي التجفيف بالشمس، في الفرن، والميكروويف. في الآونة الأخيرة، ركزت العديد من الدراسات اهتمامها على دراسة تأثير عمليات التجفيف على جودة هذه الفاكهة سواء كانت فيزيائية كيميائية، غذائية، كيميائية نباتية أو على النشاط المضاد للأكسدة. وقد تبين أن التين المجفف هو ثمرة غنية بالعناصر الغذائية وكذلك المواد البيولوجية الفعالة مثل مجموعة البوليفينول، الفلافونويدات والأنتوسيانين التي تساهم بشكل هام في قوتها المضادة للأكسدة. أظهرت نتائج الدراسات المختلفة أن تقنيات التجفيف المذكورة أعلاه ساهمت في تحسين جودة المقاييس الفيزيوكيميائية للتين، فمن ناحية أخفضت بشكل كبير نسبة الرطوبة (من 80,2 إلى 25,86% بعد التجفيف بالشمس)، ومن ناحية أخرى ساهمت في ارتفاع نسبة الرماد (من 1,84 إلى 7,30% بعد التجفيف في الفرن). كذلك، قد تبين أن عمليات التجفيف هذه لها تأثير إيجابي على محتوى مختلف المركبات الغذائية والكيميائية النباتية، من بينها الكربوهيدرات (من 16,3 إلى 65,15 غ/100 غ بعد التجفيف بالشمس)، والبروتينات (من 0,53 إلى 3,18% بعد التجفيف بالميكروويف)، والألياف الغذائية (من 2,9 إلى 9,8 غ/100 غ بعد التجفيف بالشمس) وأيضاً مجموعة البوليفينول التي وصلت إلى قيمة 151,04 ملغ EAG/100 غ بعد التجفيف في الفرن. وفي ما يخص النشاط المضاد للأكسدة، أظهر التحليل باستخدام طريقة ABTS تواجد نشاط معتبر في التين المجفف بالميكروويف (78,54%) مقارنة بالتين الطازج (76,22%). من ناحية أخرى، نتائج متضاربة تم التوصل إليها فيما يتعلق بتأثير عملية التجفيف بالشمس وفي الفرن على الخصائص النباتية الكيميائية والنشاط المضاد للأكسدة، على التوالي. هذا العمل يفتح آفاقاً جديدة لتقييم تأثير مختلف عمليات التجفيف هذه على مختلف أنواع التين الجزائري، ولا سيما تلك المتواجدة في منطقتنا بجبل.

الكلمات المفتاحية: التين المجفف، التجفيف بالشمس، التجفيف في الفرن، التجفيف في الميكروويف، الجودة الفيزيوكيميائية، الجودة الغذائية، الجودة الكيميائية النباتية، النشاط المضاد للأكسدة.