

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى- جيجل



Faculté : 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

Etude de l'effet du séchage sur les caractéristiques physico-chimiques, nutritionnelles et l'activité antioxydante de quelques variétés de figes (*Ficus carica* L).

Membres de Jury :

Président : Dr. BOUBZARI M T.
Examinatrice : M^{lle}. AYAD R.
Promotrice : Dr. BOUSSOUF L.

Présenté par :

BAHA Mohammed Karim
BOUAMOUCHE Hayet
BOUAMOUCHE Miyada

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Dédicace

À l'aide de Dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

À ma mère « Razika », je ne remercierais jamais assez ma très chère Maman, symbole de courage et de patience. Je t'aime beaucoup. Si je suis arrivée là, c'est bien grâce à toi, que ALLAH te garde de tout malheur et te donne longue vie pour te voir fière de ta fille.

À mon père « Messaoud », pour sa patience, son sacrifice et son soutien tout au long de mes études. Qu'ALLAH te garde de tout malheur pour te rendre un peu de ce que tu as fait pour moi.

À ma chère petite sœur « Hala ». À celui que j'aime beaucoup ; mon cher frère « Mohammed », que Dieu les protège et rende ses jours heureux.

À tous mes enseignants

À tous mes Amies : Zohra, Feriel...

À tous mes Amis de promotion : Loubna, Amina, lamya, Bouchra, Widad....

Mon remerciement s'adresse aussi à mon binôme :

**Hayet* ; ma chère amie depuis l'école primaire et *Mohammed Karim* ; mon collègue à l'université, je suis très heureuse de travailler avec vous, je vous souhaite à tous les deux de réussir dans votre vie.*

Miyada

Dédicace

En premier lieu je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie ce travail accompagné d'un profond amour :

À la mémoire de ma mère Yasmína,

Je dédie cet événement marquant de ma vie à la mémoire de ma mère disparu trop tôt. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, elle apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme précieuse. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde qu'Allah le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis

Maman, aujourd'hui je veux te dire combien je suis impressionnée par la confiance que tu m'as toujours témoignée et l'éducation que j'ai reçue de toi.

À mon chère papa Salím,

Ta présence, ton amour, ton affection, ta patience, et tes prières ont été pour moi la source de la force et de la réussite

Quoi que je fasse ou quoi que je dise je ne saurais point te remercier comme il se doit. J'implore le tout-puissant pour qu'il te porte la guérison et te procure une longue vie. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jours et nuits pour mon éducation et mon bien être. Qu'Allah t'accorde bonne santé et longue vie

À mes chers frères,

Ferhat et Elías, pour leur appui et leur encouragement,

Aussi À mes chères sœurs,

Messaouda et Dina pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral. À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

À mon binôme Miyada et Hayet . Sans oublier tous mes amis et les étudiants de la promotion « de Contrôle de Qualité 2021 ». À tous ceux qui me sont chers, et tous ceux qui m'aiment et que j'aime

*Mohammed
Karim*

Dédicace

*En préambule à ce mémoire, Nous tenons à remercier **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour mener à terme ce travail.*

*Avant tout, à la lumière de ma vie, la source de mon bonheur et le guide de mon chemin, **mes parents**, tendre et merveilleux, qui n'ont vraiment soutenu tout au long de mon existence , 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 ne remercierais jamais assez **mon très cher frère** pour tout ce qui a fait pour me voir heureuse. Cela m'est cher. Mon souhait est de te voir fier de moi et je te souhaite un meilleur avenir « **Amine**» et aussi je dédie **mes sœurs**.*

*Je remercie également tous **mes amis** : **Miyada, Zohra, Feriel** à qui je souhaite une vie pleine de joie, bonheur et santé.*

*À mon binôme et chère amies **Miyada** et **Mohammed Karim**: j'ai eu l'honneur de travailler avec vous, je vous remercie pour les moments agréables que nous avons passé ensemble ainsi pour votre gentillesse dont ils m'ont toujours entouré, Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite.*

Hayet

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier « ALLAH » le tout puissant, de nous avoir donné la santé, le courage, la volonté et la force pour l'accomplissement de ce travail et l'emmener à terme.

Tout d'abord, ce travail ne se serait pas pu avoir le jour sans l'encadrement de **Docteur BOUSSOUF L**, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes très honorés à remercier également **Dr. BOUBEZARI M T**, pour le grand privilège qu'il nous a fait d'avoir accepté la présidence de notre jury de soutenance. Qu'il soit assuré de notre respectueuse considération.

Nous remercions aussi **M^{lle} AYAD R**, d'avoir accepté de consacrer du temps à examiner et juger ce travail.

Un grand merci à nos enseignants : **Dr. BOUBZARI M T**, **Dr. DAIRI S** et **Dr. HBILA S** pour tout ce qu'ils nous ont prodigué comme orientation et aide.

Un grand merci à l'ensemble des ingénieurs de laboratoire de contrôle de qualité « **Asma, Badra, Samira et Moukhtar** » pour leur entière disponibilité, coopération ainsi que pour l'ambiance et les bonnes conditions qu'ils nous ont assuré et tous les autres collègues.

En fin, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail.

« *Merci* »

Mi.

Ha.

Mo.



**Liste des
abréviations**

Liste des abréviations

AC:	Acidité Citrique.
AOAC:	Association Of Analytical Communities.
BSA:	BovinSérum Albumine.
CE:	Communauté Européenne.
DPPH:	1,1-Diphenyl-2-Picryl-Hydrazyl.
DSA :	Direction des Services Agricoles.
EAA :	Equivalent Acide Acétique.
EAG :	Equivalent Acide Gallique.
EAT :	Equivalent Acide Tannique.
EβC :	Equivalent Beta Carotène.
EBSA:	Equivalent Bovin Serum Albumine.
EC:	Equivalent Cyanidine.
E C-3-G:	Equivalent Cyanidine-3-Glucoside.
EGLU:	Equivalent Glucose.
EGLY:	Equivalent Glycine.
EQ:	Equivalent Quercétine.
EQ3G:	Equivalent Quercétine 3-Glucoside.
ET:	Equivalent de Trolox.
FAO:	Food and Agriculture Organization.
Ha:	Hectare.
H₂O₂:	Peroxyded'hydrogène.
HPLC:	High Performance Liquid Chromatography.
INRAA :	Institut National de la Recherche Agronomique Algérienne.

IPGRI : Institut International des Ressources Génétiques des Plantes.

ISO : International Standard Organization.

MF : Matière Fraiche.

MHz : Mégahertz.

MS : Matière Sèche.

PF: Poids Frais.

PPO : Polyphénol-Oxydase.

PS: Poids Sec.

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

Tpm : Tour par minute.

UNECE: United Nations Economic Committee for Europe.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 01 : Cycle biologique simplifié du figuier et de son pollinisateur	07
Figure 02 : Caractéristiques morphologiques de la figue	10
Figure 03 : Structure de base d'un flavonoïde	20
Figure 04 : Structure des anthocyanidines	23
Figure 05 : Diagramme de fabrication des figues sèches	28
Figure 06 : Séchage des figues au soleil	30
Figure 07 : Exemple de séchoir solaire direct (a) et indirect (b).....	31
Figure 08 : Photographie des sources d'énergie d'un séchoir hybride	32
Figure 09 : Localisation géographique des sites de prélèvements des cinq variétés de figues étudiées.....	34
Figure 10 : Poids (g) des figues fraîches et sèches	47
Figure 11 : Taux d'humidité en % des figues fraîches et sèches	48
Figure 12 : Valeur de pH des figues fraîches et sèches.....	50
Figure 13 : Teneur en cendres en (%) des figues fraîches et sèches	51
Figure 14 : Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) des figues fraîches et sèches.....	52
Figure 15 : Acidité titrable (g AC/100g) unité des cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	53
Figure 16 : Teneur en pectine (%) des figues fraîches et sèches	56
Figure 17 : Teneur en composés phénoliques totaux (mg EAG/100g) des figues fraîches et sèches.....	63
Figure 18 : Teneur en flavonoïdes (mg EQ/100g) des figues fraîches et sèches.....	65
Figure 19 : Teneur en flavonols (mg EQ/100g) des figues fraîches et sèches.....	66
Figure 20 : Teneur en tanins condensés (mg EC/100g) des figues fraîches et sèches.....	67
Figure 21 : Teneur en anthocyanines (mg EQ3G/100g) des figues fraîches et sèches.....	69
Figure 22 : Teneur en caroténoïdes (μg E β C/100g) des figues fraîches et sèches.....	70
Figure 23 : Teneur en vitamine C (mg/100g) des figues fraîches et sèches.....	72
Figure 24 : Activité anti-radicalaire (%) des cinq variétés de figues fraîches et sèches, vis-à-vis du radical DPPH.....	74
Figure 25 : Pouvoir réducteur du Fer (mg EAA/ 100g) pour les cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	76
Figure 26 : Pourcentage d'inhibition du radical H ₂ O ₂ pour les cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	77

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I : Taxonomie du figuier.....	04
Tableau II : Teneur en nutriments des figues fraîches et sèches.....	12
Tableau III : Composition en acides aminés des figues fraîches et sèches.....	13
Tableau IV : Composition en vitamines des figues fraîches et sèches	15
Tableau V : Composition en minéraux des figues fraîches et sèches.....	16
Tableau VI : Production mondiale de la figue; 10 principaux producteurs.....	19
Tableau VII: Caractéristiques des variétés de figues étudiées.....	35
Tableau VIII : Teneur en éléments minéraux pour les cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	55
Tableau IX: Teneur en glucides totaux et en sucres solubles pour les cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	58
Tableau X : Teneur en protéines solubles et en acide aminés libres dans les cinq variétés de figues fraîches et sèches.....	60



Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
---------------------------	---

Partie 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre I :Généralités sur le figuier <i>Ficus carica L.</i>	3
--	---

I.1. Généralités sur le figuier	3
---------------------------------------	---

I.2. Taxonomie du figuier	3
---------------------------------	---

I.3. Différents types de figuier	4
--	---

I.3.1. Fiquier mâle	4
---------------------------	---

I.3.2. Fiquier femelle	4
------------------------------	---

I.3.3. Fiquier Smyrna.....	5
----------------------------	---

I.3.4. Fiquier San Pedro.....	5
-------------------------------	---

I.4. Caractères morphologiques du figuier.....	5
--	---

I.5. Reproduction du figuier.....	6
-----------------------------------	---

I.5.1. Pollinisation ou la caprification	6
--	---

I.5.2. Blastophage.....	7
-------------------------	---

I.6. Ecologie du figuier	7
--------------------------------	---

I.7. Répartition géographique du figuier	8
--	---

I.7.1. Surface cultivée dans le monde.....	8
--	---

I.7.2. Verger figuicole en Algérie.....	8
---	---

Chapitre II: La figue	10
------------------------------------	----

II.1. Description et morphologie	10
--	----

II.2. Classification	11
----------------------------	----

II.3. Maturation et récolte	11
-----------------------------------	----

II.4. Composition nutritionnelle de la figue	11
II.4.1. Glucides	12
II.4.2 . Protéines et acides aminés	13
II.4.3 . Lipides	14
II.4.4. Fibres alimentaires	14
II.4.5. Vitamines	14
II.4.6. Minéraux	15
II.4.7. Acides organiques.....	16
II.5. Utilisation de la figue	16
I.5.1. Usage alimentaire.....	16
II.5.2. Usage thérapeutique.....	16
II.5.3. Utilisation industrielle.....	17
II.6. Production de la figue	18
II.6.1. Production mondiale	18
II.6.2. Production en Algérie	19
Chapitre III: Profil phénolique de la figue et son pouvoir antioxydant	20
III.1. Composés phénoliques.....	20
III.2. Flavonoïdes	20
III.3. Acides phénoliques	21
III.4. Flavonols.....	21
III.5. Flavanols	22
III.6. Caroténoïdes.....	22
III.7. Anthocyanines.....	23
III.8. Tanins.....	23
III.8.1. Tanins condensés	24
III.8.2. Tanins hydrolysables.....	24
Chapitre IV: Séchage de la figue	26
IV.1. Définition de séchage	26

IV.2. Objectif du séchage	26
IV.3. Figue sèche	26
IV.4. Méthodes de séchage	29
IV.4.1. Méthodes traditionnelles au soleil.....	29
IV.4.2. Méthodes modernes ou artificielles.....	31
IV.4.3. Autres méthodes de séchage	32

Partie 2 : Etude expérimentale

Chapitre I: Matériel et méthodes

I.1. Echantillonnage et traitement des échantillons	34
I.2. Evaluation des paramètres physico- chimiques	36
I.2.1. Poids des figues.....	36
I.2.2. Taux d'humidité	36
I.2.3. pH	36
I.2.4. Détermination de la teneur en cendres	37
I.2.5. Détermination de la conductivité électrique.....	37
I.2.6. Acidité titrable.....	37
I.2.7. Dosage des éléments minéraux par spectrophotométrie d'absorption atomique	38
I.2.8. Détermination de la teneur en pectine.....	38
I.3. Etude de la qualité nutritionnelle	39
I.3.1. Détermination de la teneur en sucres totaux	39
I. 3.2. Détermination de la teneur en sucres solubles	39
I.3.3. Détermination de la teneur en protéines solubles.....	40
I.3.4. Détermination de la teneur en acides aminés libres	40
I.4. Dosage des composés phénoliques.....	41
I.4.1. Extraction des composés phénoliques.....	41
I.4.2. Dosages des polyphénols totaux	41
I.4.3. Dosages des flavonoïdes	42

I.4.4. Dosages des flavonols	42
I.4.5. Dosages des tanins condensés (proanthocyanidines)	42
I.4.6. Dosages des anthocyanines	43
I.4.7. Dosages des caroténoïdes	43
I.4.8. Dosage de la vitamine C	44
I.5. Etude de l'activité antioxydante	44
I.5.1. Test du radical libre DPPH.....	44
I.5.2. Test du pouvoir réducteur de fer	45
I.5.3. Test de piégeage de peroxyde d'hydrogène	45
I.6. Analyse statistique	46
Chapitre II : Résultats et discussion	
II.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques.....	47
II.1.1. Poids des figes	47
II.1.2. Taux d'humidité.....	48
II.1.3. pH.....	49
II.1.4. Cendres	51
II.1.5. Conductivité électrique	52
II.1.6. Acidité titrable	53
II.1.7. Eléments minéraux	54
II.1.8. Teneur en pectine.....	56
II.2. Etude de la qualité nutritionnelle.....	57
II.2.1. Sucres totaux et sucres solubles	57
II.2.2. Protéines solubles et acides aminés libres	60
II.3. Dosage des composés phénoliques.....	62
II.3.1. Extraction des composés phénoliques	62
II.3.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	62
II.3.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes	64
II.3.4. Détermination de la teneur en flavonols	66

II.3.5. Détermination de la teneur en tanins condensés"proanthocyanidines"	67
II.3.6. Détermination de la teneur en anthocyanines	68
II.3.7. Détermination de la teneur en caroténoïdes.....	70
II.3.8. Détermination de la teneur en vitamine C	71
II.4. Etude de l'activité anti-oxydante.....	73
II.4.1. Test du radical libre DPPH	73
II.4.2. Pouvoir réducteur de Fer.....	75
II.4.3. Test de piégeage de peroxyde d'hydrogène.....	77
Conclusion.....	79
Références bibliographiques	82
Annexes	
Résumé	

Introduction

Introduction

L'arboriculture fruitière fait partie intégrante de la vie économique et sociale de l'Algérie (Benettayeb, 1993). La diversité de la production des fruits dans ce pays ; ce 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 aujourd'hui 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, elle est considérée comme des « aliments fonctionnels », grâce à sa richesse en vitamines, minéraux essentiels, fibres alimentaires, composés phénoliques, en protéines et en calories avec des grandes quantités (Grigoras, 2012). Cependant, elles 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). Compte tenu du fait qu'elles sont fortement périssables ce qui limite le stockage pendant de longues périodes, et afin d'augmenter les marchés potentiels, la majeure partie de la production est destinée au séchage (Bouzo et *al.*, 2012). Une fois séchées, les figues peuvent être stockées de 6 à 8 mois (Slatnar et *al.*, 2011).

Le séchage des fruits et légumes est l'une des plus anciennes formes de conservation des aliments. L'objectif majeur du séchage des produits agricoles est la réduction de l'humidité à un niveau qui permet un stockage sans risque pour une longue période.

En Algérie, les figues, sont traditionnellement séchés en les exposants directement au soleil. Ce mode de séchage présente des avantages sur la qualité de ces fruits. Le séchage entraîne une réduction du poids et du volume, minimisant ainsi les coûts d'emballage, de stockage et de transport. Malgré quelques inconvénients, le séchage au soleil est toujours utilisé dans plusieurs régions à travers le monde. L'énergie solaire est une importante source alternative d'énergie et est préférée aux autres sources car elle est inépuisable, économique, non-polluante et renouvelable (Doymaz, 2005).

Les études qui traitent la figue fraîche ou sèche en Algérie sont peu nombreuses, d'autant plus qu'aucune étude traitant les figues de la région de Jijel n'a été entreprise.

Par conséquent, 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, 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).

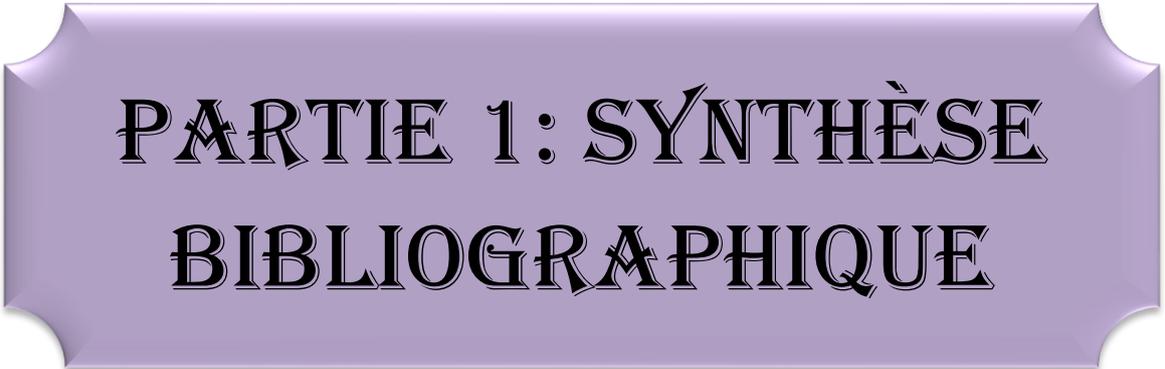
En effet, certaines investigations se sont intéressées à étudier l'effet des différents procédés de séchage dont le séchage au soleil, sur la qualité de ce fruit que ça soit nutritionnelle, physicochimique ou pharmacologique.

Dans cette optique nous nous sommes intéressés à étudier l'effet du séchage sur la qualité physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante de cinq variétés de figues (*Ficus carica* L.) de la région de Jijel.

Notre travail sera réparti en deux parties :

Une partie relative à l'étude bibliographique du figuier, la figue, les différents procédés de séchage, la composition nutritionnelle, le profil polyphénolique et l'activité antioxydante de la figue.

Une autre partie réservée à l'étude expérimentale subdivisée en deux chapitres : l'un présente les différentes méthodes suivies pour évaluer l'effet du séchage au soleil sur les différents paramètres physicochimiques, nutritionnelle, le dosage des composés phénoliques et l'évaluation de l'activité antioxydante, et l'autre consacré à présenter et interpréter les résultats obtenus.



**PARTIE 1: SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

Chapitre I

Généralités sur le figuier

Ficus carica L.

Chapitre I : Généralités sur le figuier *Ficus carica* L

I.1. Généralités sur le figuier

Le figuier est un arbre nommé au passé mythique *Ficus carica*, à un qualificatif générique qui signifie verrue pour *ficus* (par rapport au latex du figuier qui soigne la verrue) et *carica* fait allusion à une région en Turquie (Oukabli, 2003).

Il est reconnu depuis l'antiquité pour ses propriétés thérapeutiques et nutritives. La figue servait déjà d'aliment (sous forme fraîche ou séchée), de médicament ainsi que d'agent sucrant (Haesslein et Oreiller, 2008). Dans le Saint Coran, le figuier est aussi mentionné dans le Sourate Attine : « Par le figuier et l'olivier » (Coran 95 :1), ce qui a contribué à le sacrifier dans la société musulmane. L'origine du figuier reste un peu confuse, Condit (1947) et Storey (1976) rapportent son origine au sud-ouest de l'Arabie ; Syngé (1956) suppose la région de la Syrie à l'Afghanistan ; Harlan (1975) suppose la Turquie, l'Iran et l'Iraq. Alors que, Zohary (1982) rapporte que les figuiers se trouvant dans le nord-ouest de la Turquie et au voisinage de cette région sont les ancêtres du figuier domestiqué par l'homme. Il est très difficile d'identifier l'origine native de cette espèce vue sa longue histoire de domestication. Zohary et Hopf (2000) émettent l'hypothèse que le figuier commun fut domestiqué en premier lieu dans la méditerranée orientale puis il s'est propagé durant plusieurs siècles jusqu'à la méditerranée occidentale.

Aujourd'hui le figuier est cultivé dans plusieurs régions du monde, principalement dans les climats tempérés et doux mais aussi les régions tropicales et subtropicales. En Algérie, il s'étend sur des altitudes allant de 300 m jusqu'au massifs montagneux du Djurdjura à une altitude de 800 m (Aouane, 2015). Il est parfois rencontré à des altitudes plus haute, à 1000 m voir 1200 m d'altitude, des valeurs que ne peut atteindre l'olivier (Aouane, 2015). La facilité de culture revient à son système racinaire très développé (Pontappidan, 1997).

I.2. Taxonomie du figuier

Le figuier (*Ficus carica* L.) est un arbre fruitier avec un nombre de chromosomes $2n= 26$ (Berg, 2003), appartient à la famille des Moracées, renfermant plus de 1400 espèces réparties en environ 40 genres (Watson et Dallwitz, 2004).

Sa taxonomie donnée par Joseph et Justin Raj (2011) (Tableau I) :

Tableau I : Taxonomie du figuier (Joseph et Justin Raj, 2011).

Règne	Végétale
Embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnolipsida
Ordre	Moraceae
Genre	Ficus
Espèce	F. carica

Selon Meziant (2014) et le Codex alimentarius (2008), la seule espèce qui produit des fruits comestibles est le figuier commun appartenant à l'espèce *Ficus carica*. Au niveau variétal, le figuier algérien se caractérise par un panache de variétés locales plus ou moins identifiées avec différentes appellations suivant les zones et les localités (Hadj Sahraoui, 2014).

I.3. Différents types de figuier

Selon le type de fleur et de la pollinisation, il existe quatre types de figuier :

I.3.1. Fiquier mâle

Dit aussi figuier de bouc (caprifiguier) donnant des figes immangeables, ne produit que des figes-fleurs qui ne parviennent jamais à maturité, donc fruits impropres à la consommation mais qui abritent en hiver un insecte, le blastophage qui assurera la pollinisation des figes en mai et juillet. En effet certaines variétés ont besoin de pollinisation pour faire fructifier leurs figes d'automne (Kjellberg et Valdeyron, 1984).

I.3.2. Fiquier femelle

Le figuier femelle produit des figes comestibles et est subdivisé en deux types:

I.3.2.1. Fiquiers unifères ou d'automne

Ses figes se forment au printemps et mûrissent en août-septembre. Ses figes se développent à l'aisselle des feuilles des pousses de l'année, les premières formées arrivent à temps pour être caprifiées tandis que celles dont la formation a débuté tardivement viennent après l'époque de maturité des dokkars et qui n'étant pas caprifiées ne parviennent généralement pas à maturité (Kjellberg et al., 1983).

I.3.2.2. Figueurs bifères

Les variétés bifères donnent deux récoltes par an. Une première récolte de figue fleurs au-dessous des feuilles sur le bois de l'année antérieure au Juin-Juillet qui représente environ un quart de la production méditerranéenne et une deuxième récolte de figues d'automne sur le bois de l'année en cours à partir du mois d'Août, avec des figues plus petites mais plus sucrées et plus savoureuses (Mauri, 1952).

I.3.3. Figueur Smyrna

Présente des fleurs pistillées et nécessite la pollinisation pour produire des fruits comestibles, ce type de pollinisation est appelée 'la caprifigation' qui est réalisée par le blastophage 'Blastophagapsenes', ce dernier transfère le pollen du figuier mâle aux fleurs femelles réceptives. Ce type de pollinisation est le responsable majeur de la variabilité génétique du figuier (Vidaud, 1997).

I.3.4. Figueur San Pedro

Ce type de figuier produit une première récolte par parthénocarpié appelée « figue fleur ou breba ». Les fruits poussent sur les rameaux de l'année passée. Une seconde récolte qui requiert la caprifigation pousse sur les rameaux de l'année en cours et donne des « figues d'automne » (Vidaud, 1997).

I.4. Caractères morphologique du figuier

Le figuier, en culture, est un arbre buissonnant de 1.5 à 5 mètres de haut, mais qui peut dépasser 10 m en croissance libre, qui se reconnaît aisément à son port évasé et grossier avec plusieurs branches de propagation à la base d'un tronc court (Leroy, 1968). L'écorce des rameaux est gris plus ou moins rugueux, portant des bourgeons peu ou pas velus constitués de deux stipules couvrant une dizaine d'ébauches de feuilles (Vidaud, 1997).

Le système racinaire présente généralement une propagation considérable mais il est peu profond. Les feuilles sont caduques d'un vert sombre, en position alternée sur les branches, portées par des pétioles longs de 5 à 12 cm. Le limbe se présente sous des formes et tailles variables, généralement ovale. Le limbe peut être non divisé (une seule pièce) ou palmatilobé plus ou moins profondément (3 à 5 lobes), avec un contour ondulé ou irrégulièrement denté. La face supérieure est modérément velu alors que les poils de la face inférieure se localisent sur les nervures latérales (Starr et al., 2003). Dans toutes les parties du figuier, circule une sève blanche laiteuse, le latex, à caractère

irritant pour la peau à cause de son contenu enzymatique essentiellement constitué d'une protéase appelée « ficine » (Chawla et *al.*, 2012).

Le fruit du figuier, la « figue » pousse à l'aisselle des feuilles, solitaire ou par paire, sessile ou accroché à un pédoncule (jusqu'à 3 cm de long) et se présente sous différentes formes et tailles (Lim, 2012).

I.5. Reproduction du figuier

I.5.1. Pollinisation ou la caprification

La pollinisation est assurée par un insecte appelé blastophage (*blastophagapsenes*). Son développement s'effectue à l'intérieur de l'ovaire d'une fleur femelle. La femelle blastophage qui sort en été (mi-juillet) d'une caprifiugier est chargée de pollen au niveau de ses replis abdominaux (Garrone, 1998).

L'insecte est attiré par une figue réceptive présente sur le même arbre ou bien sur un autre arbre différent. Les femelles les plus précoces sont attirées par les figues des figuiers domestiques. Dans ce dernier cas, la femelle pénètre dans la figue et essaie de pondre, mais la longueur du style de ses fleurs est supérieure à la longueur de l'ovipositeur de l'insecte interdisant toute ponte. Par contre au cours de ces tentatives de ponte, l'insecte dépose passivement de pollen sur les stigmates permettant la fécondation de l'ovule et son développement en graine. Ces figues sont les futurs fruits comestibles d'automne (Figure 01) (Garrone, 1998).

Pour assurer au fruit son développement optimum, avec fructification importante, les producteurs prélèvent des figues-fleurs sur les caprifiugiers et ils leur fait suspendre dans les figuiers en production, attachées en chapelets, afin de libérer les blastophages porteurs de pollen répétée 3 à 4 fois espacées de 10 à 12 jours d'intervalle (Caraglio, 2009).

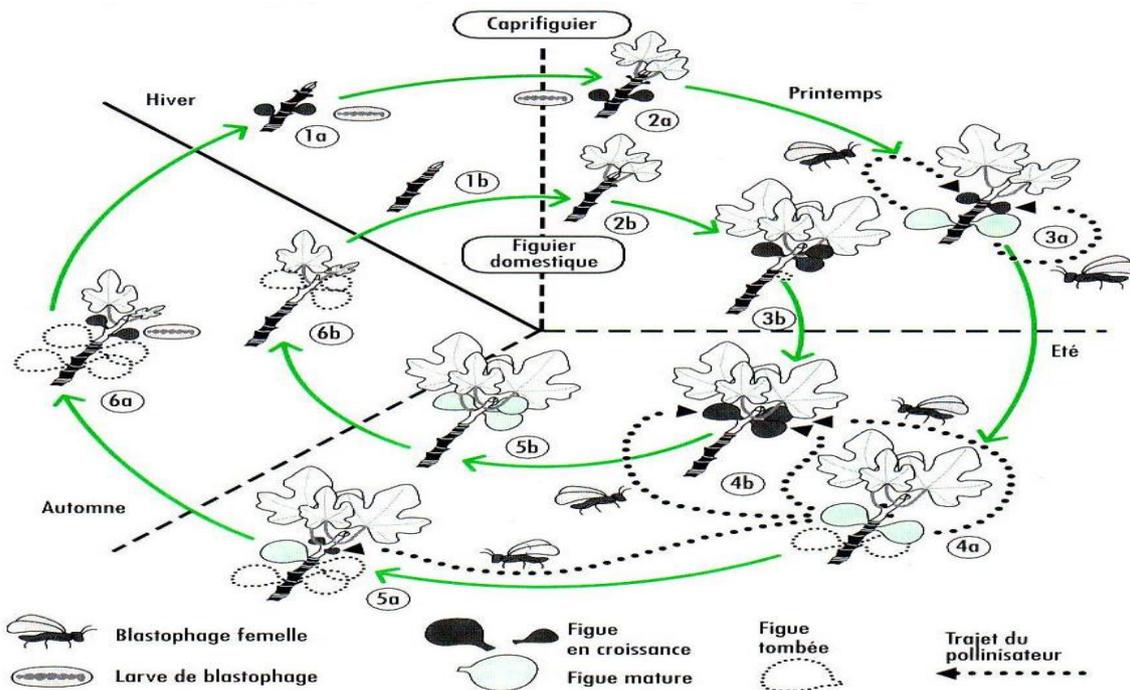


Figure 01: Cycle biologique simplifié du figuier et de son pollinisateur (Vidaud, 1997).

I.5.2. Blastophagie

Le pollinisateur de *Ficus carica* est un insecte minuscule, un *hyménoptère* de l'ordre des *Chalcoideae* et la famille des *Agaonidaeae*: le blastophage ou *Blastophagapsenes* L. Le figuier ne peut pas être pollinisé naturellement que par le blastophage et celui-ci ne peut pas se reproduire en dehors des fructifications du figuier : ils se sont associés en une véritable unité symbiotique. Chaque espèce de *Ficus* possède un pollinisateur spécifique, appartenant à la même famille des *Agaonidaeae*. Il existe autant d'espèces de pollinisateurs que d'espèces de *Ficus*. Chez le blastophage, le dimorphisme sexuel est très prononcé ; le mâle et la femelle sont morphologiquement différents. L'insecte qui remplit le rôle de pollinisation est l'insecte femelle (Garrone, 1998).

I.6. Ecologie du figuier

La figue est particulièrement bien adaptée aux milieux méditerranéens, avec des hivers froids et des étés chauds et secs, mais peut être cultivée dans les régions humides, y compris les régions tropicales et subtropicales (Davis *et al.*, 2007).

Selon Belaid (2017), le figuier est peu exigeant et s'accommode de tout type de sol mais sa croissance est optimale dans les sols légers, plutôt sableux, profonds et fertiles. Il s'adapte très bien en sols acides. Son système racinaire très développé l'aide à supporter des conditions très sèches.

Ses besoins annuels en eau sont de l'ordre de 600 à 700 mm, surtout au printemps et au début de l'été. Les arrosages doivent être espacés et copieux.

Le figuier adore les expositions très ensoleillées. Dans les zones froides, on recherchera l'abri d'un talus ou d'un mur exposé plein sud. Peu de risques quand les murs sont modernes. Dans des bâtisses anciennes, souvent construites avec des mortiers maigres, les racines du figuier profiteront du moindre espace qui leur sera offert. Au-dessous de $-16^{\circ}\text{C}/-17^{\circ}\text{C}$, l'ensemble de la partie aérienne peut être détruite mais le système racinaire n'est généralement pas atteint et l'arbre donne de nouveaux rejets l'année suivante. Au-dessous de -12°C , le bois de l'année risque de geler. Les bifères se transforment alors en unifères. Les figues fleurs peuvent aussi chuter plus tard au printemps à la suite de gelées de printemps tardives jusqu'à début mai, ou à la suite de mauvaises conditions météorologiques (gros écarts de température entre jour et nuit, longue période de vent fort, ...) (Belaid, 2017).

La distance entre les plantations varie selon la richesse du sol, la hauteur pluviométrique annuelle et les possibilités d'irrigation. Elle est de 3 à 6 m sur le rang et de 5 à 7 m entre les lignes (soit de 250 à 400 plants par hectare). 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).

I.7. Répartition géographique du figuier

I.7.1. Surface cultivée dans le monde

Environ 380 000 ha de surface agricole totale, dans le monde, est destinée à la culture de figuier (FAO STAT, 2013). Le Portugal est le premier pays qui consacre plus de 80 000 ha à la culture du figuier, ce qui représente environ 22% de la surface mondiale cultivée. L'Algérie, placée en quatrième position, derrière la Turquie et le Maroc, présente 12% de la surface mondiale cultivée, équivalente à 46000 ha environ. Les six premiers pays contribuent à hauteur de 70% de la surface mondiale cultivée de figuiers.

I.7.2. Verger figuicole en Algérie

Le figuier compte parmi les trois productions fruitières principales de l'Algérie : olivier, figuier et agrumes (Chouaki et *al.*, 2006). En Algérie, la culture du figuier est ancestrale ; cette espèce fruitière s'accommode presque à tous les étages bioclimatique algériens. Elle occupe ainsi une superficie de 46331 ha. La majorité de la production est fournie par les régions de montagne de la Kabylie (Bejaia, Tizi-Ouzou et Sétif) qui détiennent respectivement : 34%, 23%, 13% de

l'effectif total des arbres. Bien que notre patrimoine figuicole recèle une grande diversité variétale, cette espèce fruitière se trouve marginalisée à cause de la non valorisation des productions de la figueraie. Cette situation a engendré une régression des superficies figuicole. La préférence des agriculteurs est pour des cultures qui assurent des rendements élevés donc beaucoup plus rémunératrices (Ziani, 2017).

Chapitre II



La figue

Chapitre II: La figue

II.1. Description et morphologie

Le figuier ne donne pas un vrai fruit (Déborah et Stéphanie, 2008). La partie comestible est communément appelée un fruit bien qu'il soit un synconium, c'est à dire une charnue, un réceptacle creux avec une petite ouverture au sommet partiellement fermé par des petites écailles (Duena et *al.*, 2008).

La figue est alors composée d'une pellicule (peau ou épiderme), une pulpe composée d'un réceptacle contenant les graines (akènes), un ostiole (œil ou opercule) et un pédoncule (Figure 02) (Haesslein et Oreiller, 2008).

A la maturité la figue a une peau ferme (vert, vert baigné de brun, marron ou violet), et pour quelques variétés la peau peut être fissurée, exposant ainsi la pulpe. L'intérieur est une croûte blanche contenant une masse de graines lié avec de la gelée pour former la chair (Figure 02). Les graines peuvent être grandes, moyennes, petites ou minuscules et d'un nombre de 30 à 1600 par fruit, ces graines fournissent le goût de noisette caractéristique des figues sèches (Joseph et Justin Raj, 2011).

La couleur des figues varie du violet foncé au vert, à maturité, le fruit a une couleur violette-violet foncé étrangère, atteignant environ 7.5 cm de long et pesant entre 60 et 90 g. La pulpe des figues est de couleur rose-rouge et présente une cavité centrale (Silva et *al.*, 2009).

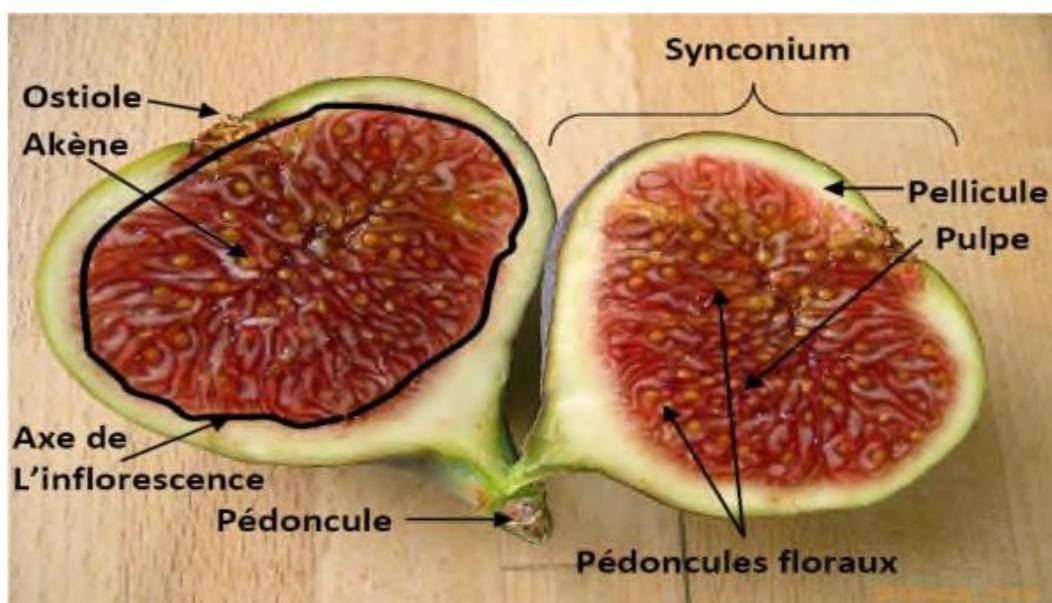


Figure 02: Caractéristiques morphologiques de la figue (Haesslein et Oreiller, 2008).

II.2. Classification

Plus de 700 variétés de figes comestibles sont identifiées à travers le monde (Haesslein et Oreiller, 2008). Les critères de classification (descripteurs) ont été bien définis par l'Institut International des Ressources Génétiques des Plantes (IPGRI) en 2003. Selon l'IPGRI, 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.).

II.3. Maturation et récolte

Le développement des figes peut être décrit par une courbe sigmoïde décroissance comprenant trois phases, tel que défini par Marei et Crane, (1971). La phase I est caractérisée par une croissance rapide suite à la division cellulaire. Pendant la phase II, le fruit reste à peu près de la même taille. La croissance rapide des fruits en phase III est le résultat de l'expansion des cellules, ce qui est également la phase de maturation.

En général dans une culture, on peut trouver, sur la même branche, des fruits dans les trois phases de développement : les fruits les plus bas (sur la partie la plus ancienne de la branche) peuvent atteindre leur maturité alors que les fruits de la partie distale (près de l'apex) sont encore en phase I. Ce caractère contraint l'agriculteur pour effectuer la récolte sélective, en général tous les deux jours pendant toute la période de culture, afin d'éviter la perte de fruits en raison de sur-maturation (Freiman et *al.*, 2012).

La température optimale moyenne pour la croissance du figuier est de 18-20°C, mais elle requière une température plus élevée (environ 30°C) durant la maturation du fruit qui apparaît en août et en septembre. Pour obtenir une récolte de haute qualité, l'humidité relative doit être autour de 40-50 pour cent (Aksoy et *al.*, 2001).

II.4. Composition nutritionnelle de la figue

La figue (fraîche ou sèche) constitue un élément important dans l'alimentation humaine vue sa teneur élevée en glucides assimilables (fructose et glucose), son faible apport en lipides dépourvue de cholestérol, et ses fibres très efficaces pour stimuler les intestins. Elle constitue une bonne source de minéraux et d'oligo-éléments (calcium, phosphore et en potassium et de fer) (Tableau II) (Infanger, 2004).

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

Composant diététique	Valeur/100g de figue fraîche	Valeur/100g de figue 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

II.4.1. 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.4.2. Protéines et acides aminés

Les protéines représentent moins de 1% du poids des fruits frais. Lim (2012) a rapporté que la figue fraîche contient 0.75 g/100 g de protéines, alors que les figues sèches sont plus concentrées en protéines (environ 3 g/100 g). Aucune précision n'est mentionnée quant à la nature des protéines présentes dans la figue. 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 III).

Tableau III: Composition en acides aminés des figues 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

II.4.3. Lipides

La figue contient une faible quantité en lipides environ 1.9%. Malgré leur faible teneur, les lipides ont une influence fondamentale sur la durée de stockage, les propriétés organoleptiques et la valeur nutritionnelle et biologique de la figue (Kolesnik et *al.*, 1987). Lim (2012) a rapporté une teneur de 0.3 g de matière grasse totale pour 100 g de poids frais, et une teneur de 0.93 g/100 g de figues sèches.

Les lipides de la figue 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. Les lipides neutres représentent la plus grande fraction des lipides totaux. Leur composé le prédominant est le triacylglycérol 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).

II.4.4. Fibres alimentaires

La figue est une plante fibreuse (Guvenc, 2009), les fibres alimentaires regroupent la lignine et quelques glucides tels que la cellulose, les hémicelluloses, les pectines, les amidons résistants et les oligosaccharides non-digestibles. Elles sont divisées en deux groupes selon leur solubilité dans l'eau : fibres solubles, visqueuses et fermentescibles et les fibres insolubles, non visqueuses et lentement fermentescibles (Ramulu et Rao, 2003). Lim (2012) a rapporté une teneur de 2.9 g de fibres totales pour 100 g de figues fraîches, et 9.8 g pour 100 g de figues sèches. L'étude effectuée par Ramulu et Rao (2003), a montré que la figue fraîche contient 5 g de fibres alimentaires pour 100 g de matière fraîche, dont 2.6 g de fibres insolubles et 2.4 g de fibres solubles (48% des fibres totales). Grâce à sa richesse en fibres, la figue constitue un excellent remède contre la constipation (Bidri, 2018).

II.4.5. Vitamines

Les figues sont riches en vitamines hydrosolubles B1, B2 et C (Farahnaky et *al.*, 2009) . Les vitamines liposolubles sont aussi présentes dans la figue avec une dominance des vitamines E et K (Tableau IV) (Lim, 2012).

D'après Pande et Akoh (2010), la teneur des figues en vitamine E est de 0.3mg/100g pour sa forme γ , 0.2mg/100g de MS pour sa forme α et des traces pour la forme β . Selon Guvenc et *al.* (2009) le

fruit entier contient les vitamines K1 (4.05 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), D2 (0.2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) et D3 (3.57 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), l' α -tocophérol (0.35 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), le γ -tocophérol (0.9 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) et le δ -tocophérol (0.20 $\mu\text{g}/100\text{ g}$).

Tableau IV : Composition en vitamines des figes fraîches et sèches (Lim, 2012).

Vitamines	Figue fraîche (pour 100 g)	Figue sèche (pour 100 g)
Vitamine C	2 mg	1.2 mg
Thiamine (B1)	0.06 mg	0.085 mg
Riboflavine (B2)	0.05 mg	0.082 mg
Niacine (PP)	0.4 mg	0.619 mg
Acide pantothénique (B5)	0.3 mg	0.434 mg
Pyridoxine (B6)	0.113 mg	0.106 mg
Choline totale	4.7 mg	15.8 mg
Vitamine A	142 UI	10 UI
Vitamine E (α-tocophérol)	0.11 mg	0.35 mg
β-tocophérol	-	0.01 mg
γ-tocophérol	-	0.37 mg
δ-tocophérol	-	0.01 mg
Vitamine K (phyllo-quinone)	4.7 μg	15.6 μg
β-carotène	85 μg	6 μg
Lutéine et zéaxanthine	9 μg	32 μg

II.4.6. Minéraux

La figue contient un taux de cendres de 0.66 g/100 g de figes fraîches et 1.86 g/100 g de figes sèches (Lim, 2012). Ce fruit est considéré comme une bonne source de minéraux surtout le potassium et le calcium (Tableau V).

En plus des minéraux déjà cités, Favier et *al.* (1993) ont rapporté la présence de l'iode dans la figue a raison de 1.5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de figue fraîche et de 4 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de figue sèche. Ils ont noté aussi la présence du fluor dans la figue fraîche (20 $\mu\text{g}/100\text{ g}$).

Tableau V : Composition en minéraux des figes fraîches et sèches (Lim, 2012).

Constituant	Figue fraîche (mg/100 g)	Figue sèche (mg/100 g)
Potassium (K)	232	680
Calcium (Ca)	35	162
Phosphore (P)	14	67
Magnésium (Mg)	17	68
Sodium (Na)	1	10
Fer (Fe)	0.37	2.03
Zinc (Zn)	0.15	0.55
Cuivre (Cu)	0.07	0.287
Manganèse (Mn)	0.128	0.510
Sélénium (Se)	0.2 µg/100 g	0.6 µg/100 g

II.4.7. Acides organiques

Les figes 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). L'étude menée par Pande et Akoh (2010) a révélé que la figue fraîche contient en plus des acides organiques cités 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).

II.5. Utilisation de la figue

II.5.1. Usage alimentaire

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. Comme un aliment saisonnier la figue constitue un élément important de la diète méditerranéenne (Lansky et *al.*, 2008). Les feuilles du figuier peuvent être orientées vers l'alimentation de bétail.

II.5.2. Usage thérapeutique

Sa haute teneur en fibres offre des effets laxatifs, de ce fait la figue est conseillée dans le cas des maladies du tube digestif puisqu'elle favorise le transit intestinal (El Khaloui, 2010).

La figue est une bonne source de flavonoïdes, polyphénols et certains composés bioactifs. Les antioxydants de la figue peuvent protéger l'oxydation des lipoprotéines dans le plasma en produisant une augmentation significative de la capacité antioxydante de ce dernier après 4 h de consommation (Vinson et *al.*, 2005).

La figue fraîche traite l'anémie et les troubles hépatiques, soigne la toux irritante et les bronchites (Kahrizi et *al.*, 2012). La pulpe soulage la douleur, traite les aphtes et les abcès gingivaux. La figue sèche associée à l'acide acétique est utilisée pour soigner les gonflements et les tumeurs (Lansky et Paavilainen, 2011).

Les figues sèches en pâte traitent les brûlures et l'eczéma, soulagent les hémorroïdes et les crampes abdominales (Lansky et Paavilainen, 2011). Les fruits séchés en décoction soignent la rougeole et la variole (Lansky et Paavilainen, 2011). Le jus du fruit mélangé avec le miel contrôle l'hémorragie (Patil et Patil, 2011).

Les graines de figues séchées donnent une huile très riche en acides gras qui peuvent être utilisés comme lubrifiant et dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique (Soltana et *al.*, 2016).

Le latex est appliqué traditionnellement sur les verrues et les ulcères de la peau. Il renferme des enzymes protéolytiques et des polyphénols abondants qui permettent de détruire les cellules cancéreuses de l'organisme et de lutter contre les maladies cardiovasculaires (Takahashi et *al.*, 2014). Des études récentes ont montré que le latex et les extraits de figuier possèdent une activité antivirale, antibactérienne et antifongique semblable à celle de certains antibiotiques (Begum et *al.* 2013).

En plus du fruit, différentes parties de la plante comme l'écorce, la feuille, le bourgeon sont médicalement important. Les racines et les feuilles sont utilisées en médecine dans différents troubles tels que les troubles gastro-intestinaux (coliques, indigestion, perte d'appétit et la diarrhée), respiratoires (maux de gorge, la toux et les problèmes bronchiques), inflammatoires, cardiovasculaires et dans le traitement de leucoderme et teignes (Ponelope, 1997).

II.5.3. Utilisation industrielle

En fonction de la variété, les figues séchées peuvent être commercialisées pour différents usages comme : la consommation de table ou la transformation en pâte ou en conserve (Crisosto et *al.*, 2011) ; pour la préparation de sirop (10-20 mL) qui est utilisé comme remède contre la constipation légère (Badgujaret *al.*, 2014). Elles peuvent être aussi utilisées comme ingrédients dans

les produits de boulangerie et les pâtisseries; comme collation et dans les plats cuisinés. Les figues séchées peuvent également être vendus dans le commerce sous forme de confiture.

Le latex (un lait blanc) séché et poudré, est utilisé pour la coagulation du lait, et sert aussi pour l'isolation d'une protéase nommée la ficine utilisée par l'industrie agroalimentaire dans l'attendrissement des viandes (Bruneton, 1999). Le latex sert également à la fabrication du caoutchouc (Oukabli. 2003).

En industrie agroalimentaire, on peut citer quelques produits à base de figue comme : la figue sèche fourrée ou enrobée de chocolat noir ; les gâteaux à base de figues ; le café de figue ; le miel de figue ; la confiture de figue ; la pâte de figue et le vinaigre de figue.

II.6. Production de la figue

II.6.1 Production mondiale

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 (Tableau VI). 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.

Tableau VI : Production mondiale de la figue; 10 principaux producteurs (FAO stat, 2018).

Les pays	Production en tonnes
Turquie	306.439
Egypte	189.339
Maroc	128.38
Algérie	109.214
Iran	59.339
Espagne	47.75
République arabe syrienne	35.3
Etats-Unis d'Amérique	28.874
Tunisie	25.696
Albanie	24.448

II.6.2. Production en Algérie

La majorité des figueraies est concentrée dans les régions kabyle dans les wilayas de: Tiziouazou, Bejaia, et Sétif avec des taux de 13%, 27% et 7% respectivement de l'effectif total (Bachi, 2012). Il a occupé 39830 ha, environ 6.9 % des plantations fruitières.

Le figuier est classé en quatrième place, après l'olivier (33%), le palmier (20%) et l'agrume (9,1%). Dans la production totale des figues plus de 80 % est consommée à l'état frais, le reste de la production est dirigé vers le séchage (Ferradji et *al.*, 2011).

Selon les chiffres fournis par la Direction des Services Agricoles (DSA) de Jijel ; la campagne : 2017/2018 a enregistré une production de 27700 Kg sur une superficie de 442 ha.

Chapitre III

Profil phénolique de la figue et son pouvoir antioxydant

Chapitre III : Profil phénolique de la figue et son pouvoir antioxydant

III.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 (Sirisha 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 (Vebric 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.

III.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent une classe de polyphénols complexes dont la structure comprend deux noyaux aromatiques (cycles A et B) intercalés par un hétérocycle oxygéné (cycle C) (Figure 03) (Remesy et al., 1996).

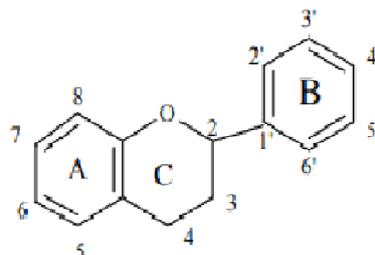


Figure 03: Structure de base d'un flavonoïde (Coa et al., 1997).

La concentration des flavonoïdes augmente avec l'exposition au soleil, constituant de ce fait un écran protecteur contre les rayons UV et la thermo-dégradation (Richter, 1993). Les "signaux" qui sont libérés par une plante sous stress peuvent influencer la biosynthèse des flavonoïdes (Simmonds, 2003).

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 alcoyle et peroxy (Trifunski et *al.*, 2015), par inhibition de la lipo-oxygénase et/ou de la cyclo-oxygénase (Cheikh-Traoré, 2006).

Selon Vebric et *al.* (2008), les flavonoïdes présents dans la figue sont la rutine, la catéchine, l'épicatéchine, 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.

III.3. Acides phénoliques

Les acides phénoliques appartiennent à deux classes : Acides hydroxy-benzoïques et acides hydroxy-cinnamiques (Vebric et *al.*, 2008). Ils 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 Vebric et *al.* (2008) ont détecté en plus de ces composés des traces d'acide syringique. L'activité antioxydante des acides phénoliques dépend du nombre et de la position des groupements hydroxyles; elle augmente avec le degré d'hydroxylation, comme dans le cas d'acide gallique trihydroxylé. Cependant, la substitution des groupement hydroxyles en positions 3 et 5 par les groupements méthoxyles réduit l'activité (Tomas Barberan et Clifford, 2000; Manach et *al.*, 2005; Balasundram et *al.*, 2006).

III.4. Flavonols

Ce sont les flavonoïdes dominants dans les aliments; les plus représentatifs sont la quercitrine et le kaempferol. Ces composés sont présents sous forme glycosylée surtout avec le glucose et le rhamnose mais aussi le galactose, l'arabinose, le xylose et l'acide glucuronique (Manach et *al.*, 2004). Selon Del caro et Piga (2008), les variétés de figues noires sont plus riches en flavonols que les variétés de figues blanches.

Dans l'étude menée par Slatnar et *al.* (2011), quatre composés du groupe des 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.

III.5. Flavanols

Les flavanols se trouvent sous deux formes: monomérique (catéchine) et polymérique (proanthocyanidines) (Manach et *al.*, 2004). Les catéchines jouent un rôle important d'activités biologiques incluant le piégeage des radicaux libres. Les principaux composés présents dans les figes sont les catéchines et épicatechines.

III.6. 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). En effet, ils peuvent piéger les radicaux libres selon trois réactions: transfert d'électron; abstraction d'hydrogène et addition (El-Agamey et *al.*, 2004).

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 fige 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.

III.7. Anthocyanines

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, 2001a). Elles se différencient par le nombre, la nature et la position des glucides liés aux sucres dans la molécule, par le nombre de groupement hydroxyle ainsi que par la nature et le nombre d'acide aliphatique liés aux sucres (Figure 04).

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). Les propriétés antioxydants des anthocyanines résultent de leurs structures chimiques, particulièrement de la présence des groupements hydroxyles en position 3' du cycle C et en 3' et 4' du cycle B.

La présence de groupements hydroxyles dans le cycle C permet la chélation des ions métalliques tels que le fer et le cuivre (Kowalczyk *et al.*, 2003). Leur pouvoir antioxydant dépend de la structure chimique de la molécule (nature et position des groupements fonctionnels) (Galvano *et al.*, 2007). Les anthocyanines majoritaires de la figue sont la cyanidine 3-O rutinoside et la cyanidine 3-glucoside (Del Caro et Piga, 2008 ; Dueñas *et al.*, 2008).

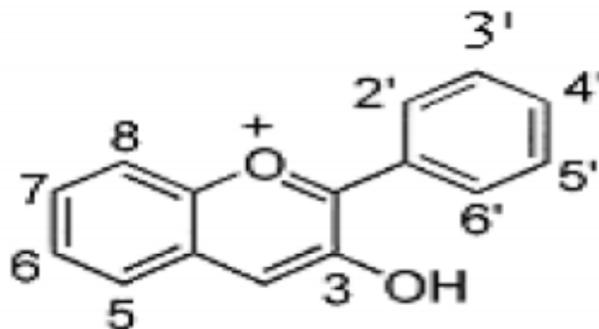


Figure 04: Structure des anthocyanidines (Robards, 2003).

Ouchemoukh *et al.* (2012) ont montré dans leur recherche que la figue 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.

III.8. 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).

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).

Des études antérieures ont été effectuées sur des extraits polyphénoliques de *Ficus carica* et ont signalé de nombreux composés bioactifs, à savoir une bonne richesse en tanins (Al-Snafi, 2017 ; Sharma et *al.*, 2017). D'après Mahmoudi et *al.* (2018) les teneurs des tanins condensés de neuf variétés de figues algériennes étudiées étaient de 0.388 µg d' équivalent catéchol / g PF pour la peau et 18.468 µg EC/g PF pour la pulpe.

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 (Cheynier, 2005 ; Gramza et Kolczak, 2005).

Sur le plan structural, les tanins sont divisés en deux groupes ; les tanins condensés et les tanins hydrolysables :

III.8.1. 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 épi-catéchine) 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).

III.8.2. Tanins hydrolysables

Ce sont des esters d'acide gallique et des esters d'acide hexahydroxydiphénique. Par hydrolyse (acide, alcaline ou enzymatique), les acides phénoliques libérés sont l'acide gallique ou

l'acide éllagique, à partir des tanins galliques (gallo-tanins) et les tanins éllagiques (éllagitanins), respectivement (Zimmer et Cordesse, 1996).

Chapitre IV

Séchage de la Figue

Chapitre IV: Séchage de la figue

IV.1. Définition de séchage

Le séchage est une opération unitaire la plus ancienne. C'est une méthode de conservation des aliments qui consiste à éliminer une partie de l'eau de fruits avec plusieurs méthodes. Dans les pays où les conditions climatiques sont favorables, le séchage reste une pratique courante, surtout pour les produits locaux. Les fruits secs sont des produits durables grâce à leur faible activité d'eau. La qualité finale des fruits secs dépend du traitement qu'ils ont subi, de leur conditionnement et de la durée et conditions de stockage (Sen et *al.*, 2010).

Les figues peuvent être séchées soit par des moyens traditionnels (plein soleil) ou industriels dans des séchoirs on utilisant l'air chaud. (Karathanos et Belessiotis, 1997; Mathioulakis et *al.*, 1998; Xia et Sun, 2002).

IV.2. Objectif du séchage

Le séchage des fruits est une technique très répandue à travers le monde de nombreuses variétés de fruits sont saisonnières et leur disponibilité pour une consommation prolongée a été rendue possible grâce à ce procédé (Mat Desa et *al.*, 2019).

En effet, 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, ainsi que 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).

IV.3. Figue sèche

Fruit thérapeutique et savoureux, la figue, une fois séchée, devient un aliment concentré, digeste et énergétique, très utile pendant la saison froide. La maturité des figues est un paramètre déterminant sur la qualité du fruit sec, la couleur et la fermeté du fruit étant les critères généralement employés pour déterminer la date optimale de récolte (Ouaouich et Chimi, 2005).

Les figues destinées à être séchées doivent être cueillies très mûres. Elles doivent être récoltées par temps sec et chaque variété doit être mise à sécher 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 turgescents et blanc laiteux, devient sec et translucide. La figue se détache facilement avec son pédoncule, contrairement à une figue insuffisamment mûre. Cet état de maturité avancé, est impératif pour l'obtention des figues sèches de bonne qualité (Ouaouich et Chimi, 2005).

Selon la Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE) (2004), les figues sèches doivent être caractérisées par un minimum de conditions pour être commercialisées. Dans tous les cas, les figues sèches doivent être propres, intactes, non endommagées, sans moisissures ni insectes, exemptes de goût ou d'odeur anormale (fermentation). 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 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 05).

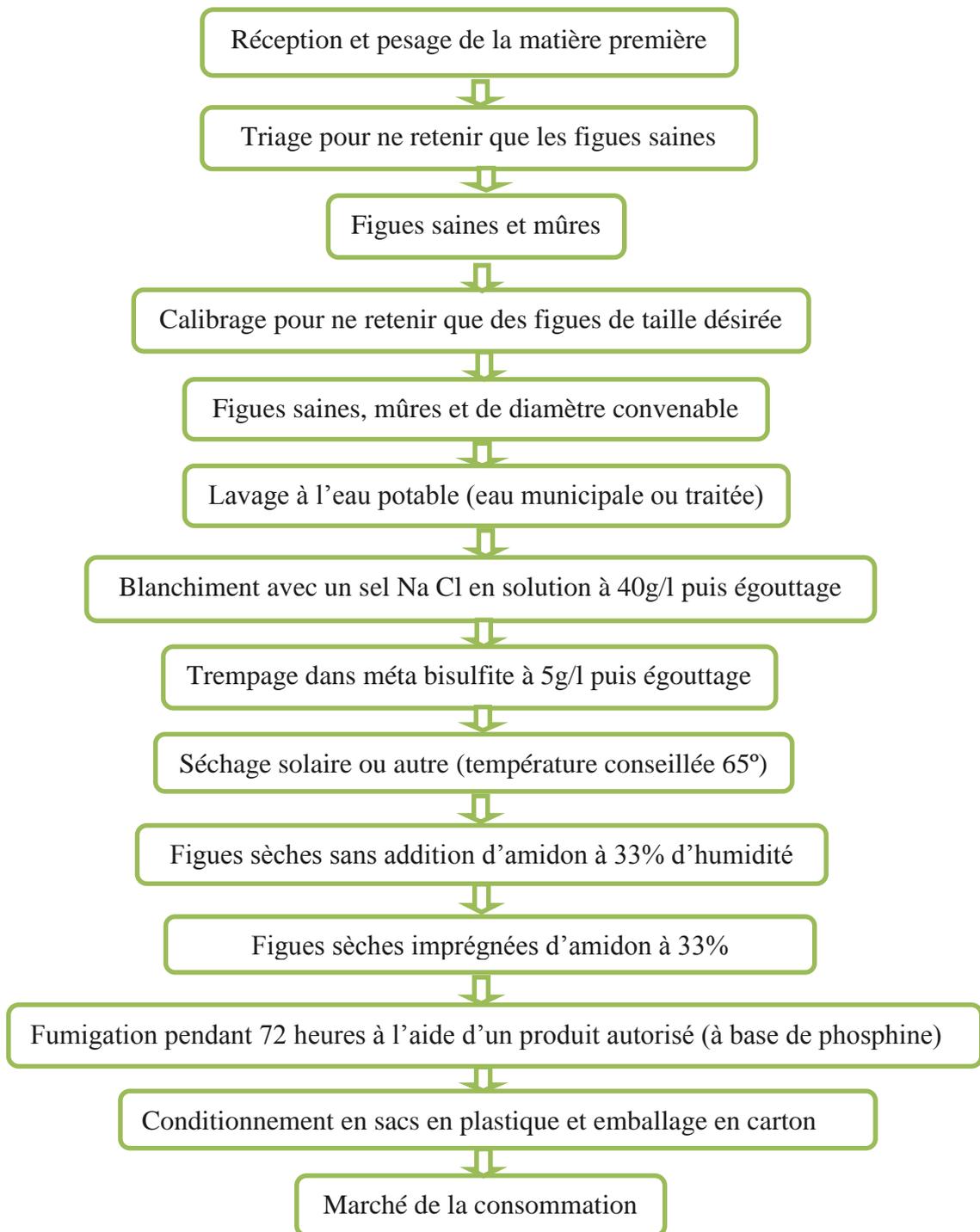


Figure 05: Diagramme de fabrication des figes sèches (Belaid, 2015).

IV.4. Méthodes de séchage

On peut classer les méthodes de séchage en deux catégories ; le séchage naturel ou traditionnel lorsqu'on parle d'un séchage en plein air, et le séchage artificiel ou industriel lorsqu'on commence par chauffer l'air pour faire baisser l'humidité relative au taux souhaité. Ces deux méthodes sont décrites ci-dessous.

IV.4.1. Méthodes traditionnelles au soleil

Le séchage naturel, généralement au soleil, a été le premier système de conservation utilisé. Celui-ci est basé sur l'utilisation de l'action du rayonnement solaire et de l'air atmosphérique. Le séchage au soleil est développé dans les zones arides ou semi-arides qui présentent des conditions climatiques optimales.

C'est une pratique ancestrale qui est encore largement répandue notamment dans les pays du bassin méditerranéen (Dudez et *al.*, 1996). Ce séchage consiste à étendre simplement le produit au soleil sur des nattes, des toits, des rochers plats ou sur un sol sec (Dudez et *al.*, 1996). Une autre procédure est appliquée lors du séchage naturel pour éviter toute altération est celle de l'immersion des figues dans un bain d'eau bouillante à 5% de sel avant le séchage (Gamero, 2002).

Les figues sont étalées en monocouche sous le soleil dans un endroit bien aéré, les espacer sur les claies, de façon à ce qu'elles ne se touchent pas (Figure 06) facilitant ainsi la circulation de l'air autour des fruits. 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. 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).

Cette façon de procéder est la méthode la plus simple et la moins coûteuse. Cependant, suivant la région, elle n'est pas toujours possible, elle dépend fortement des conditions climatiques. Quoique toutes les variétés de figues sont aptes au séchage, celles qui sont blanches, plus riches en sucres et ayant une peau fine sont les plus demandées au marché (El Khaloui, 2010).

L'énergie solaire est une importante source d'énergie alternative et préférée par rapport à d'autres sources d'énergie, car elle est abondante, inépuisable et non-polluante (Basunia et Abe, 2001). Le séchage au soleil aboutit à un produit fini de bonne qualité sensorielle, car le fruit conserve la saveur et les éléments nutritifs quand le séchage est lent et à bonne température (30 à 35°C).

Cependant, il expose les produits à la poussière, aux mouches et aux souillures et à des contaminations nombreuses et variées.



Figure 06 : Séchage des figes au soleil (El Khaloui, 2010).

IV.4.1.1. Séchoirs

Les séchoirs solaires permettent d'améliorer les méthodes traditionnelles en protégeant les produits et en augmentant les performances (Dudez et *al.*,1996). Il existe une grande variété de séchoirs et différentes façons de les classer. On peut les classer suivant la façon, dont ils utilisent le rayonnement solaire en : séchoirs directs et indirects.

A. Séchoir direct

Dans ce type de séchoir, le rayonnement solaire atteint directement le produit. Le capteur solaire et la chambre de séchage forment une seule pièce (Boulemtafes, 2011). Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de la chaleur. Le capteur solaire est en générale en plastique polyéthylène transparent simple ou double épaisseur (Figure 07(a)) (Benkhelfellah et *al.*,2005).

B. Séchoir indirect

Pour ce type de séchoir, il n'y a aucun rayonnement direct du soleil sur le produit. (James et Kuipers, 2003). Le séchoir se compose de deux parties: un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur pour chauffer l'air qui pénètre et augmente la température, et une chambre de séchage qui contient le produit. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage (Figure 07(b)) (Dudez et *al.*, 1996).

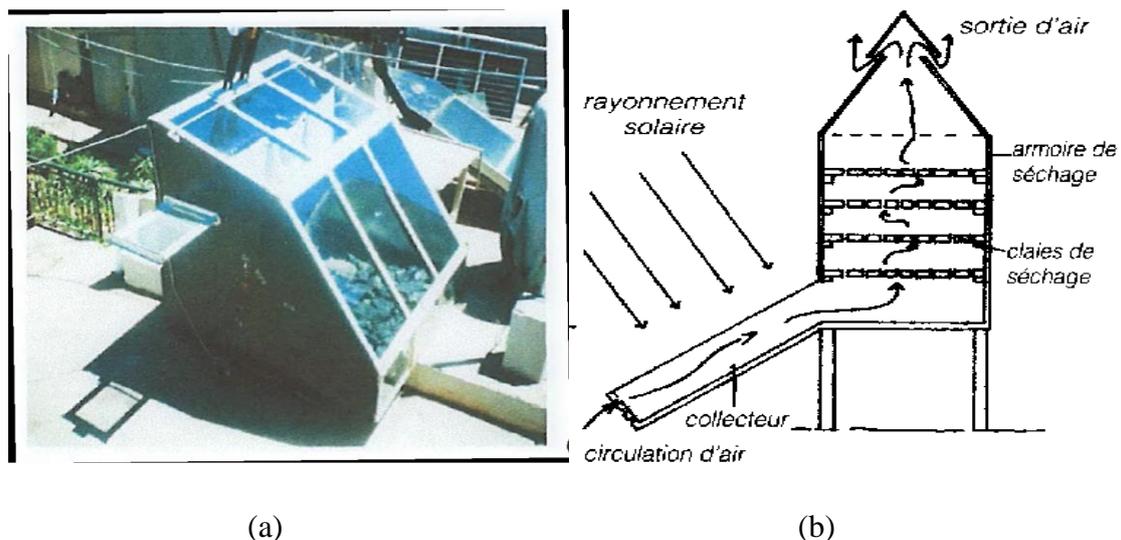


Figure 07: Exemple de séchoir solaire direct (a) et indirect (b).

IV.4.2. Méthodes modernes ou artificielles

Le séchage moderne (industriel) est basé sur l'utilisation de séchoirs conventionnels (fours) ou des séchoirs hybrides (four et solaire) pour la déshydratation. Ce type de séchage est intéressant vu ses avantages par rapport au traitement traditionnel (Barbosa-Canovas et Vega-Mercado, 1996) car le processus est plus hygiénique, les paramètres de séchage peuvent être contrôlés en donnant des produits uniformes avec des pertes minimales, la déshydratation ne dépend pas des conditions climatiques, le commandement de la durée de séchage est possible en modifiant le flux de l'air et en fin, le coût de la main d'œuvre est moins cher.

IV.4.2.1. Séchoirs hybrides

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 (Figure 08).

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. La source d'énergie d'appoint est constituée par un moteur muni d'un brûleur marchant au gaz ou au diesel et qui se déclenche automatiquement dès que la température descend au-delà du minimum requis pour éviter la réhydratation des produits (Ouaouich et Chimi, 2005).



Figure 08 : Photographie des sources d'énergie d'un séchoir hybride ; (a) : Cellules photovoltaïques ; (b) : Source d'énergie d'appoint (gasoil) (Ouaouich et Chimi, 2005).

Le séchoir solaire type hybride possède plusieurs avantages dont les plus importants sont: 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 la nuit ; facilité de construction ; coût d'investissement abordable. (Ouaouich et Chimi, 2005).

IV.4.3. Autres méthodes de séchage

IV.4.3.1. Déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion des fruits, entiers ou en morceaux, dans des solutions hypertoniques de sucres. Dans ces conditions, une partie d'eau s'échappe du fruit et une fraction des matières sèches solubles du sirop pénètre dans le fruit, mais aussi une partie des matières sèches du fruit (acides organiques et sels minéraux en particulier) se déplace vers la solution de sucre (Bachir Bey, 2015).

IV.4.3.2. Séchage par micro-ondes

Le séchage par micro-ondes est une méthode rapide, plus régulière et consomme moins d'énergie que le séchage conventionnel par l'air. Les micro-ondes font partie du spectre électromagnétique, leurs fréquences entre 300 et 300000 MHz avec des longueurs d'ondes correspondantes entre 1000 et 1 nm. Les micro-ondes chauffent l'eau libre, ce qui entraîne son élimination du produit sous forme de vapeur. C'est l'uniformité et la sélectivité du chauffage par micro-ondes qui ont fait que cette méthode soit préférée dans l'industrie alimentaire. La figue contient de l'eau libre interne ce qui permet l'application de cette méthode (Sharifian et *al.*, 2012).



**PARTIE 2: ETUDE
EXPERIMENTALE**

Chapitre I

Matériel et méthodes

I.1. Echantillonnage et traitement des échantillons

Le présent travail est consacré à l'étude de cinq variétés de figes à l'état frais et après séchage. Ces échantillons ont été récoltés de cinq sites différents dans la région de JIJEL à savoir : Chakfa, Ouled Askar, Djamaa Beni Hbibi, Milia, et M'zayer. Les sites de prélèvements des échantillons sont illustrés dans la figure 09.

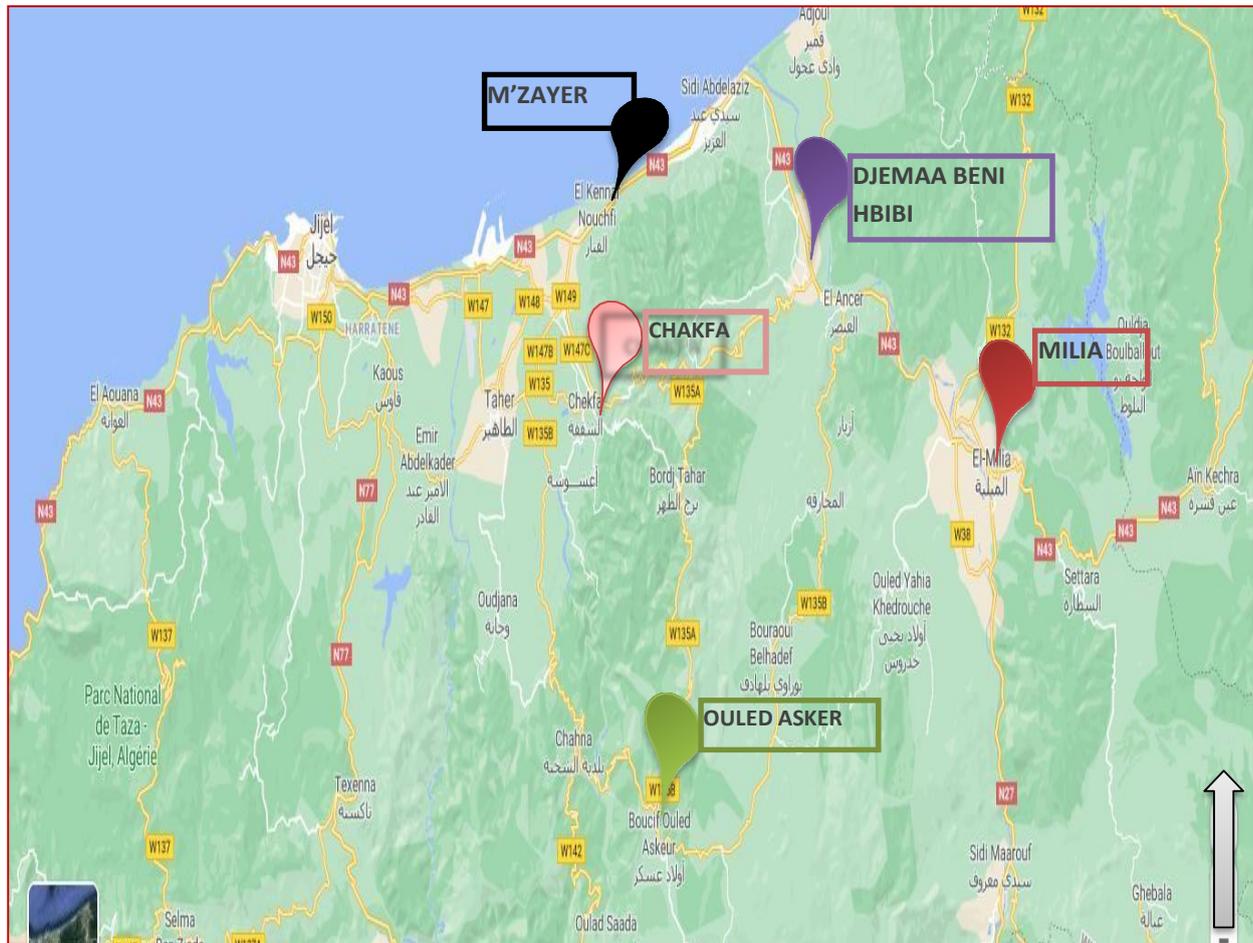


Figure 09 : Localisation géographique des sites de prélèvements des cinq variétés de figes étudiées (Google map).

Deux lots distincts ont été récoltés de chaque variété. Un lot de figes fraîches récoltées mûres, fermes et saines (non infectées par des insectes), destinées aux analyses à l'état frais. Le deuxième lot destiné au séchage, comporte des figes très mûres, ayant des pédoncules facilement détachables. Ces dernières sont séchées sur des claies sous le soleil. Les fruits sont retournés chaque jour durant une période suffisante pour obtenir la texture voulue (élastique au toucher). Les caractéristiques morphologiques des figes étudiées sont présentées dans le tableau VII.

Tableau VII: Caractéristiques des variétés de figues étudiées.

variété	Caractéristiques	Figue fraîche	Figue sèche
Chakfa	<p>Couleur : Vert foncé.</p> <p>Forme et taille : Petit fruit de forme arrondie à col court et pédoncule légèrement allongé, à ostiole fermé, peau lisse.</p> <p>Pulpe : pulpe rouge grenat et dense en akènes.</p>		
Ouled Askar	<p>Couleur : vert doré.</p> <p>Forme et taille : fruit de forme arrondie à taille moyenne, col et pédoncule allongés, à ostiole fermé et peau lisse.</p> <p>Pulpe : pulpe rouge et dense en akènes de petite taille.</p>		
Djema Beni Hbib	<p>Couleur : vert doré.</p> <p>Forme et taille : fruit de forme ronde, aplati à la base et au sommet, de taille moyenne à col et pédoncule légèrement allongés, avec peau craquelée.</p> <p>Pulpe : rouge claire et dense en akènes.</p>		
Milia	<p>Couleur : jaune doré.</p> <p>Forme et taille : fruit à piriforme (légèrement allongée), de grande taille. Une peau douce, lisse et épaisse. Sans col avec pédoncule très court.</p> <p>pulpe : rose et à densité moyenne en akènes.</p>		
M'zayer	<p>Couleur : verte jaunâtre. Forme et taille : fruits arrondis de taille moyen, avec peau lisse et ferme, col un peu apparent et à très petit pédoncule.</p> <p>Pulpe : rose rougeâtre et peu de akènes.</p>		

I.2. Evaluation des paramètres physico- chimiques

I.2.1. Poids des figues

Pour chaque échantillon et pour chaque état, une dizaine de figues de volume moyen a été analysée. Chaque unité a été pesée entière. Le poids en grammes est rapporté pour chacune des variétés à l'état frais et après séchage.

I.2.2. Taux d'humidité

La norme française (V04-208-Sep 1969) décrite par Elleuch et *al.* (2008) a été utilisée pour la détermination de la teneur en eau. La teneur en eau a été déterminée sur une quantité de 4g d'échantillon broyé et étalé dans une capsule en porcelaine puis séché dans une étuve, à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. La diminution du poids est suivie par pesée jusqu'à sa stabilisation. Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{(P \text{ avant} - P \text{ après})}{P \text{ avant}} \times 100$$

- H (%) : Taux d'humidité en pourcentage.
- P avant: Poids de l'échantillon avant la mise à l'étuve en gramme.
- P après : Poids de l'échantillon après la mise à l'étuve en gramme.

La teneur par la suite en matière sèche est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - H \%$$

I.2.3. pH

Les broyats de figues ont été mélangés avec de l'eau distillée à raison de 10%. Le pH de la solution obtenue a été mesuré à 25°C directement par un pH-mètre (AOAC, 1998).

I.2.4. Détermination de la teneur en cendre

Les cendres correspondent au résidu blanchâtre qui reste après l'incinération d'un échantillon contenant des substances organiques. Elles sont déterminées selon la norme française (NF V 05-113, 1972). Pour cela, 5g de figes broyées ont été calcinés à 550 °C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant. La teneur en cendres (Cd) est calculée selon la formule suivante :

$$Cd (\%) = (M1 - M2) / P. 100.$$

Où :

- M1 : Masse de la capsule + la prise d'essai (g) ;
- M2 : Masse de la capsule + les cendres (g) ;
- P : Poids de la prise d'essai (g).

Le pourcentage de la matière organique par la suite (MO) est calculé par la formule suivante :

$$MO (\%) = 100 - Cd (\%).$$

I.2.5. Détermination de la conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance des colonnes d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées d'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 1997). Une solution à 10% de figes broyées (fraîches et sèches) a été préparée, par la suite l'électrode de conductimètre a été plongée dans la solution. La lecture a été faite directement sur l'afficheur du conductimètre.

I.2.6. Acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée par titration des acides avec une base selon la méthode ISO 750 (1998) qui consiste à ajouter de la soude (0.01N) à une solution de 10% de l'échantillon jusqu'à

pH 8.1 ± 0.2 . Les résultats sont exprimés en g d'acide citrique par 100 g de figes (g AC/ 100 g de fige), en utilisant la formule suivante :

$$\text{Acidité titrable} = (C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot 0,064) \cdot 100 / \text{Prise d'essai}.$$

Où :

- C_{NaOH} : Concentration de la solution de soude (0.01 mol/l) ;
- V_{NaOH} : Volume (ml) de soude versé ;
- Prise d'essai : Poids de l'échantillon utilisé pour le test ;
- 0.064 : Facteur conventionnel établi pour l'acide citrique.

I.2.7. Dosage des éléments minéraux par spectrophotométrie d'absorption atomique

Après la calcination de 10 g de figes broyées au four à moufle à 550°C, les cendres claires ont été obtenues. Ces dernières ont été humectées par 3 ml d'eau distillé et 3 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré. Ce mélange a subi un chauffage sur plaque-chauffante jusqu'à l'apparition des premières vapeurs, ensuite 1 ml d'eau distillée a été additionné avant la filtration dans une fiole jaugée de 100 ml. Le rinçage du papier filtre par l'eau distillée tiède a été répété 4 fois. Le papier filtre par la suite a été incinéré à 550° C pendant une demi- heure puis il a été humecté par 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl) (37%) et chauffé sur plaque chauffante sans dépasser une température de 100° C jusqu'à l'apparition des premières vapeurs. 1ml d'eau distillée et 1ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré ont été ajoutés. La filtration du mélange a été réalisée dans la même fiole avec un rinçage du papier filtre par l'eau distillée tiède. La solution a été complétée par l'eau distillé jusqu'au trait de jauge. Cette solution a été utilisée pour le dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) des éléments : cuivre (Cu), zinc (Zn), plomb (Pb) et cadmium (Cd), par émission de flamme (NF V 05-113, 1972).

I.2.8. Détermination de la teneur en pectine

Les substances pectines ont été mesurées selon la méthode décrite par Abou-Farrag *et al.* (2013). 50 g d'échantillons ont été ajoutés à 400 ml d'eau distillée et bouillis pendant une heure. L'extrait a été dilué par la suite avec 500 ml d'eau distillée dans une fiole jaugée puis filtré sur papier filtre. 100 ml du filtrat ont été dilués avec un volume égal d'eau distillée. 10 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (1N) ont été ajoutés au mélange et la solution a été laissée au repos

pendant une nuit. 50 ml d'acide acétique (1 M) ont été par la suite ajoutés. 5 minutes plus tard, 25 ml de chlorure de calcium (1 M) ont été ajoutés. Le mélange a été laissé au repos pendant une heure avant l'ébullition pendant une minute, suivi d'une filtration à chaud à travers un papier filtre Wattman préalablement pesé. Le papier filtre a été lavé à l'eau chaude jusqu'à ce que toutes les traces de chlorure soient éliminées. Le papier filtre avec le précipité a été séché à 105 °C pendant 3 heures et refroidi avant d'être pesée. Le poids du précipité représente le poids de la pectine soluble.

I.3. Etude de la qualité nutritionnelle

I.3.1. Détermination de la teneur en sucres totaux

Les sucres totaux ont été déterminés par la méthode phénol-acide sulfurique de Dubois et *al.* (1956). Les glucides, à chaud en présence d'acide fort, se déshydratent et forment des dérivés furaniques (furfural dans le cas de pentoses et hydroxyméthylfurfural dans le cas d'hexoses), qui se condensent avec le phénol pour donner un complexe jaune-orangé dont le maximum d'absorption est entre 480 et 490 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses (Godon et Loisel, 1997).

Pour le dosage des sucres totaux, une étape d'hydrolyse acide a été effectuée pour libérer les sucres simples constitutifs des polysaccharides. Pour ce faire, une aliquote de 0.1g de figes broyées a été mélangée avec 10 ml de l'acide sulfurique à 0.5M. Le mélange a été placé dans une étuve à 105° C pendant 3h. Après refroidissement, l'extrait a été récupéré par filtration. Un volume de 0.3 ml de l'extrait ainsi obtenu a été mélangé avec 0.3 ml de phénol 5% (p/v) et 1.5 ml d'acide sulfurique concentré. Après incubation à 105°C pendant 5 min, suivi d'un refroidissement à l'obscurité pendant 30 min, l'absorbance a été mesurée à 490 nm.

Le taux des sucres totaux est calculé par référence à une courbe d'étalonnage préalablement établie avec le glucose. Les résultats sont exprimés en g d'équivalent glucose par 100 g de fige.

I. 3.2. Détermination de la teneur en sucres solubles

L'extraction des sucres solubles a été effectuée selon la méthode décrite par Kader et *al.* (1993). Cette méthode consiste à mélanger une quantité de 0.1 g de fige broyées avec 15ml d'éthanol 80%. La solution a été incubée à 95°C durant 15 minutes. Après refroidissement, le mélange a été filtré et centrifugé à 5000 tpm/10 min. Le surnageant a été récupéré pour le dosage selon la méthode de Dubois et *al.* (1956). Une aliquote de 0.3 ml du surnageant a été diluée et mélangée avec un même volume de phénol 5% (p/v) et 1.5 ml d'acide sulfurique concentré.

Après une période d'incubation de 5 minutes du mélange à 105°C, suivi d'un refroidissement à l'obscurité pendant 30 min, l'absorbance a été mesurée à 490 nm. La concentration en sucres solubles a été calculée à partir d'une courbe d'étalonnage obtenue avec une solution de glucose. Les résultats sont exprimés en gramme d'équivalent glucose par 100 g de figue.

I.3.3. Détermination de la teneur en protéines solubles

Les protéines ont été dosées selon la méthode de Bradford et *al.* (1976). Le principe du dosage repose sur la liaison du Bleu de Coomassie G-250 aux résidus d'acides aminés aromatiques constitutifs dans les protéines.

Dans un premier temps, l'extraction des protéines a été faite selon la méthode décrite par Librandi et *al.* (2007). Cette méthode consiste à mélanger 0.4 g de figue broyées avec 10 ml d'éthanol 70%. Ce mélange est laissé reposer pendant 24h. Le surnageant contenant les protéines a été récupéré par centrifugation à 5000 tpm/15min.

Pour le dosage, 200 µl d'extrait ont été ajoutées à 2.5 ml du réactif de Bradford. L'absorbance est lue à 595 nm après une incubation de 5min. La teneur en protéines solubles est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de sérum albumine bovine (BSA). Les résultats sont exprimés en g BSA par 100 g de figue.

I.3.4. Détermination de la teneur en acides aminés libres

La détermination colorimétrique de la teneur en acides aminés est basée sur la réaction avec la ninhydrine. En effet, les acides aminés subissent une désamination oxydative en milieu acide et à chaud et l'ammoniaque libéré se condense avec la ninhydrine réduite pour donner le dicétohydrindylidenedicétohydrindamine (DYDA) de couleur pourpre. L'intensité de la coloration formée est proportionnelle à la quantité d'acides aminés dans l'extrait (Yemm et Cocking, 1955). Les acides aminés ont été extraits selon la méthode d'Omokolo et *al.* (2002). Brièvement, 15 ml de l'éthanol (80%) ont été additionnés à 0.1g de figue broyé puis incubé dans un bain marie à 95°C pendant 15 minutes. Après refroidissement, le mélange a été filtré et centrifugé à 5000 tpm/10 min. Puis le surnageant a été récupéré.

Le dosage par la suite des acides aminés libres a été effectué selon la méthode décrite par Yemm et Cocking (1955) ; pour cela, à une aliquote de 0.5 ml d'extrait a été ajouté 0.5 ml de tampon citrate (0.2 mol/l, pH=5), 1ml de KCN (0.01mol/l) et 0.2 ml de ninhydrine (1%). Le mélange réactionnel a été chauffé au bain-marie pendant 15 min à 95°C. Après refroidissement, l'absorbance a été mesurée à 570 nm après ajout de 2.3 ml d'éthanol 60 %. Les résultats sont exprimés en mg

glycine /100g de figue en se référant à une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de glycine.

I.4. Dosage des composés phénoliques

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 flavonoïdes, les anthocyanes, les tanins condensés, etc. dans différentes variétés de figes fraîches et sèches.

I.4.1. Extraction des composés phénoliques

Dans la présente étude et après une étape d'optimisation réalisée par plusieurs auteurs (Chan *et al.*, (2009) ; Uma *et al.*, (2010) ; Bachir Bey et Louaileche, (2015)); l'acétone 70% a été choisie pour l'extraction des composés phénoliques. Pour cela, 6 gramme de broyat de figes sont mélangés avec 300 ml d'acétone 70% (v/v). Après 72 heures d'agitation à température ambiante, le mélange a été filtré sur papier filtre puis centrifugé à 3000 tpm/20 min. Le surnageant a été récupéré puis conservé à 4°C dans des flacons sombres et hermétiquement fermés (Bachir Bey et Louaileche, 2015).

I.4.2. Dosages des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par colorimétrie en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est composé d'acide phosphotungstique ($H_3 P W_{12} O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3 P Mo_{12} O_{40}$) qui se réduisent dans un milieu basique, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène par les composés phénoliques. L'intensité de la coloration bleue produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans nos extraits (Li *et al.*, 2007).

Pour le dosage, un volume de 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (1/10) et un volume de 800 µl de carbonate de sodium (7.5%) ont été ajoutés à 200 µl d'extrait. Après 30 minutes d'incubation à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 750 nm.

Les teneurs en composés phénoliques sont déterminées en se référant à une courbe d'étalonnage établie en utilisant l'acide gallique comme standard. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent acide gallique par 100 g de figue (mg EAG/100g) (Bachir Bey et Louaileche, 2015).

I.4.3. Dosages des flavonoïdes

L'estimation quantitative des flavonoïdes totaux contenus dans les extraits a été effectuée selon la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (Bachir Bey et Louaileche, 2015). 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 des flavonoïdes présents dans l'extrait.

Brièvement; 1 ml de l'extrait polyphénolique a été ajouté à un volume égal d'une solution de 2% AlCl_3 . Le mélange a été vigoureusement agité, et l'absorbance a été lue à 430 nm, après 10 minutes d'incubation à température ambiante.

La quantité des flavonoïdes contenue dans les extraits a été calculée à l'aide d'une courbe d'étalonnage en utilisant la quercétine comme standard. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de la quercétine par 100 g de figue (mg EQ/100g).

I.4.4. Dosages des flavonols

Les flavonols sont également dosés en utilisant la méthode du chlorure d'aluminium (Jimoh et al., 2010). Pour cela, 500 μl d'extrait ont été ajoutés à 500 μl d'eau distillée, 500 μl de chlorure d'aluminium (AlCl_3) (2%) et 500 μl d'acétate de sodium (50g/l). Après 30 min d'incubation, l'absorbance du mélange a été mesurée à 440 nm. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de la quercétine par 100 g de figue (mg EQ /100g).

I.4.5. Dosages des tanins condensés (proanthocyanidines)

La teneur en proanthocyanidines des extraits de figues a été déterminée selon la méthode décrite par Vermerris et Nicholson (2006). Pour cela, 200 μl d'extrait ont été ajoutés à 2 ml de sulfate de fer. Le mélange a été ensuite incubé à 95°C pendant 15 minutes.

L'absorbance a été mesurée à 530 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de cyanidine (EC) /100 g de figue, et sont calculés en se référant à la formule :

$$C = \frac{A \cdot Mm \cdot Fd \cdot 1000}{\epsilon \cdot L}$$

Où :

- A: Absorbance ;
- Mm: Masse molaire de la cyanidine (287.24 g/mol);
- Fd: Facteur de dilution ;
- L: Chemin optique ;
- ϵ : Coefficient d'extinction molaire ($\epsilon=34\ 700$ mol.cm).

I.4.6. Dosages des anthocyanines

La teneur en anthocyanines des extraits de figes a été déterminée selon la méthode décrite par Ganjewala et *al.* (2008). Une extraction appropriée a été réalisée : 1g de broyat de figes a été mélangé avec 10 ml de mélange méthanol/HCl (v/v). Après 10 min d'agitation, l'extrait a été centrifugé à 5000 tpm pendant 20 min. Le surnageant a été récupéré et 5ml de ce dernier ont été mélangés avec 5ml de mélange méthanol/HCl (v/v) puis l'absorbance a été mesurée à 530 nm. Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent de quercétine-3-glucoside par 100g de figes (mg EQ 3-G/100g), et sont calculés en se référant à la formule suivants :

$$C = A.Mm.Fd.1000/ \epsilon .L.$$

Où :

- A : Absorbance ;
- Mm : Masse molaire de la quercétine-3-glucoside(478.3598 g/mol);
- Fd : Facteur De dilution ;
- L : Chemin optique ;
- ϵ : Coefficient d'extinction molaire de la quercétine- 3-glucoside (38 000 mol.cm).

I.4.7. Dosages des caroténoïdes

Pour l'extraction des caroténoïdes deux phases ont été utilisées ; une phase apolaire (hexane) qui permet de récupérer les caroténoïdes et une phase polaire (éthanol/acétone) pour éliminer les molécules hydrophiles tels que les polyphénols et les flavonoïdes.

La détermination de la teneur en caroténoïdes a été réalisée selon la méthode décrite par Sass-Kiss et *al.* (2005). 0.5 g de broyat de figes a été additionné à 10 ml du mélange hexane/acétone/éthanol (2/1/1). Après 30 min d'agitation le mélange a été filtré; la phase supérieure a été récupérée (phase 1). Par la suite, 5ml d'hexane ont été ajoutés à la phase inférieure pour une deuxième extraction

et près 30 min d'agitation la phase supérieure a été récupérée (phase 2). Le mélange des deux phases (1 et 2) a été utilisé pour le dosage des caroténoïdes par mesure de l'absorbance à 430 nm. Les résultats sont exprimés en μg équivalent de β -carotène par 100g de figues ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g}$) en se référant à une courbe d'étalonnage établit avec la β -carotène.

I.4.8. Dosage de la vitamine C

La détermination de la concentration en acide ascorbique (vitamine C) a été déterminée par la méthode décrite par Bergeret (1957). 10 g de fruit broyé ont été mélangés avec 100 ml d'eau distillée, après homogénéisation et filtration, 50 ml du filtrat a été titré par une solution d'iode à 0.05% en présence de 3ml d'acide sulfurique à 0.1N et quelques gouttes d'amidon à 0.5%. Le point final de la titration est identifié comme étant la première trace permanente d'une couleur bleu-noire foncée due à la formation du complexe d'amidon-iode.

La quantité d'acide ascorbique que contient 1l de filtrat est donnée par la formule suivante :

$$Y=N.20.4, 4 \text{ mg d'acide ascorbique/litre.}$$

Soit :

- N : nombre de ml d'iode versés ;
- Y : la quantité de l'acide ascorbique dans l'échantillon (mg/l).

I.5. Etude de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits de figues a été évaluée par trois méthodes:

- ✓ La mesure de la capacité anti-radicalaire, sur le radical 2-2-diphényl 1-picrylhydrazil(DPPH \cdot).
- ✓ Le pouvoir réducteur qui indique la capacité des extraits à réduire le fer ferrique en fer ferreux.
- ✓ Le pouvoir anti-radicalaire, par la neutralisation du radical H_2O_2 des extraits.

I.5.1. Test du radical libre DPPH

L'évaluation de l'effet scavenger des extraits de figues envers le radical DPPH \cdot est réalisée selon la méthode décrite par Brand-Williams et *al.* (1995). Cette méthode permet de suivre

spectrophotométriquement la cinétique de décoloration de radical DPPH de couleur violette à 517 nm. Pour cela, 100 µl de chaque extrait ont été incubés avec 2.9 ml d'une solution méthanolique de DPPH à 0.025 g/l. Après une période d'incubation de 30 minutes, les absorbances à 517 nm ont été enregistrées. L'activité anti-radicalaire a été estimée selon l'équation suivante:

$$\text{Activité anti-radicalaire (\%)} = \left[\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \cdot 100.$$

Où :

- A_0 : Absorbance à 517 nm du contrôle (DPPH+ Acétone 70%) ;
- A_1 : L'absorbance de la solution de DPPH • en présence de l'extrait.

I.5.2. Test du pouvoir réducteur de fer

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 antioxydant des polyphénols (Yildirim et al., 2001).

Le pouvoir réducteur des échantillons a été déterminé selon le procédé de Gulcin et al. (2002). Cette méthode consiste à mélanger 1 ml de l'extrait avec 2.5 ml du tampon phosphate (0.2M, pH 6.6) et 2.5 ml d'une solution de ferricyanure de potassium [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$] à 1% (m/v). Le mélange a été incubé à 50°C pendant 30 min, puis 2.5 ml de l'acide trichloracétique (CCl_3COOH) à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction. Le mélange a été centrifugé à 3000 g pendant 10 min à température ambiante. 2.5 ml du surnageant sont additionnés 2.5 ml d'eau distillée et 500 µl de chlorure de fer (FeCl_3) à 0.1%. L'absorbance du milieu réactionnel a été déterminée à 700 nm. L'augmentation de l'absorbance dans le milieu réactionnel indique une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés. Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide ascorbique/ 100g de figes (Bougandoura et Bendimerad, 2012), en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec l'acide ascorbique (Annexe 09).

I.5.3. Test de piégeage de peroxyde d'hydrogène

La capacité des extraits à piéger le peroxyde d'hydrogène a été déterminée selon la méthode de Ruch et al. (1989). Une solution de peroxyde d'hydrogène (40 mM) a été préparée dans du tampon phosphate (pH 7.4). 1.5 ml d'extrait a été ajouté à 1 ml de la solution de H_2O_2 . L'absorbance

du mélange réactionnel a été mesurée à 230 nm contre le blanc contenant du tampon phosphate sans H₂O₂. Le pourcentage du piégeage de peroxyde d'hydrogène par les extraits testés a été calculé selon l'équation suivante:

$$\text{Le (\% de piégeage de H}_2\text{O}_2 = [(A_0 - A_1) / A_0] \cdot 100.$$

- A₀: L'absorbance de H₂O₂ ;
- A₁ : L'absorbance de H₂O₂ en présence de l'extrait.

I.6. Analyse statistique

Les résultats ont été rapportés en moyenne ± écart type (trois répétitions) ; et les données ont été comparées sur la base des valeurs des moyennes. Les différences entre les moyennes ont été testées à l'aide du test Tukey-Kramer HSD (logiciel JMP version 7.0) avec un niveau significatif de 0.05.

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques

II.1.1 Poids des figes

Les poids des cinq variétés des figes fraîches et sèches étudiées exprimés en (g) sont illustrés dans la figure 10.

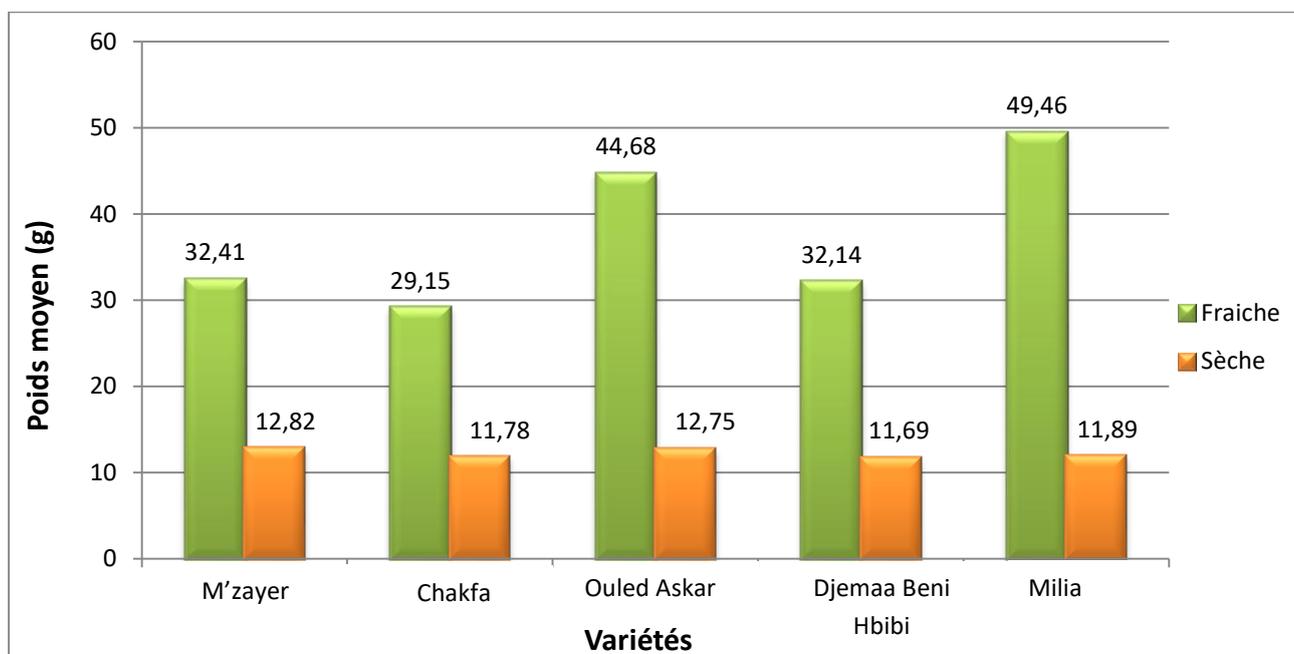


Figure 10: Poids (g) des figes fraîches et sèches.

Le poids est un paramètre physique utile, il peut nous renseigner sur la grandeur d'un fruit. Du point de vue commercial et économique, un gros fruit est synonyme d'une bonne production et par conséquent il est plus facilement vendu.

D'après nos résultats, le poids de la fige fraîche diffère selon la variété considérée. Le poids le plus élevé est noté pour la variété de Milia (49.46 g) et d'Ouled Askar (44.68 g). Les variétés ayant le poids le plus faible sont de Chakfa (29.15g) et de Djemaa Beni Hbib (32.14g). Les résultats de la présente étude sont légèrement proches de ceux obtenus par Aljane et *al.* (2012) qui ont analysé les caractéristiques physico-chimiques de plusieurs variétés de figes fraîches tunisiennes ; ils ont enregistré des poids allant de 23.37 à 59.21 g. Des variétés de figes des États-Unis présentaient des poids compris entre 35.60 et 55.60 g (Crisosto et *al.*, 2010).

Après séchage, la variété de M'zayer représente le poids le plus élevé (12.88 g). Le poids le plus faible revient à la variété de Djemaa Beni Hbib (11.69g). Des valeurs plus élevées comprises entre

27 et 49 g pour des variétés de figes sèches marocaines ont été rapportées par Oukabl et Mamouni (2008).

Globalement, une diminution remarquable du poids pour les cinq variétés après séchage a été notée. Cette diminution est expliquée par l'évaporation partielle de l'eau libre des fruits sous l'effet de séchage.

II.1.2. Taux d'humidité

La figure 11 représente les résultats obtenus des mesures des taux d'humidité en termes de pourcentage pour les cinq variétés de figes fraîches et sèches étudiées.

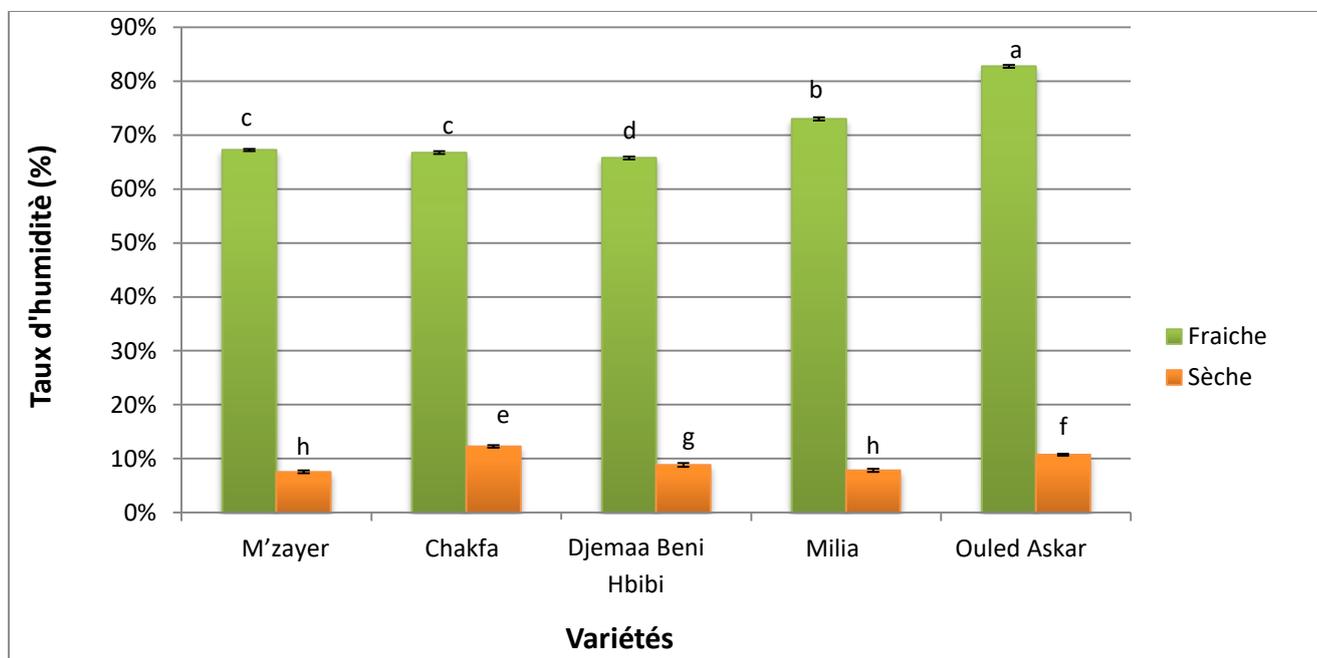


Figure 11: Taux d'humidité en % des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

La détermination de l'humidité des fruits est très importante pour prévoir le rendement après séchage. En effet, le taux d'humidité conditionne les paramètres de conservation des figes pour éviter d'éventuelles pertes économiques et nutritionnelles causées par des altérations microbiennes et/ou des activités enzymatiques des fruits conservés (Cendre, 2011).

L'analyse statistique montre une diminution significative des taux d'humidité pour toutes les variétés après séchage. En effet, à l'état frais, l'humidité varie entre $66 \pm 0.25\%$ et $83 \pm 0.25\%$. Après séchage, des taux allant de $7.55 \pm 0.27\%$ à $12 \pm 0.25\%$ sont enregistrés. Nos résultats concordent

avec ceux rapportés par Nakilcioglu et Hisil (2013) qui ont évalué la teneur en humidité d'une dizaine d'échantillons de figes fraîches et sèches de la variété « *Sarilope* » présente en Turquie. A l'état frais, le taux d'humidité variait entre 76.44 % et 82.69 % et après séchage, l'humidité des échantillons a diminué jusqu'à atteindre des valeurs comprises entre 16.73% et 25.89 %.

Egalement, 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 %. En outre, Ait Haddou *et al.* (2014) qui ont évalué les taux en humidité de sept cultivars de figes au Maroc avant et après séchage, 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 diminuaient pour atteindre des valeurs comprises entre 20.25% et 24.30 %.

Dans l'ensemble il a été donc conclu que la totalité de l'eau contenue dans les figes fraîches ne peut être éliminée par le processus de séchage, cela est dû 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).

Il faut aussi signaler, que toutes nos variétés étudiées, produisent des fruits secs ayant une teneur en eau inférieure à 26% ce qui répond aux normes internationales de la fige sèche fixées par l'UNECE (2004) qui stipulent que l'humidité ne doit pas être supérieure à 26% . En effet, la teneur en matière sèche est l'un des plus importants paramètres qui montre la valeur commerciale des figes. En général, les variétés ayant une teneur élevée en matière sèche sont les plus appropriées au séchage. Il est aussi important de mentionner que les figes à haute humidité sont très sensibles au transport et supportent mal la manutention. Ces dernières sont de préférence consommées fraîches (Aljane *et al.*, 2012). Tandis qu'un taux réduit permet un long stockage sans pertes en qualité et en quantité en inhibant la prolifération microbienne et l'évolution des sucres (Ouaouich et Chimi, 2005).

II.1.3. pH

La figure 12 illustre les résultats des mesures de pH obtenus pour les cinq variétés des figes fraîches et sèches étudiées.

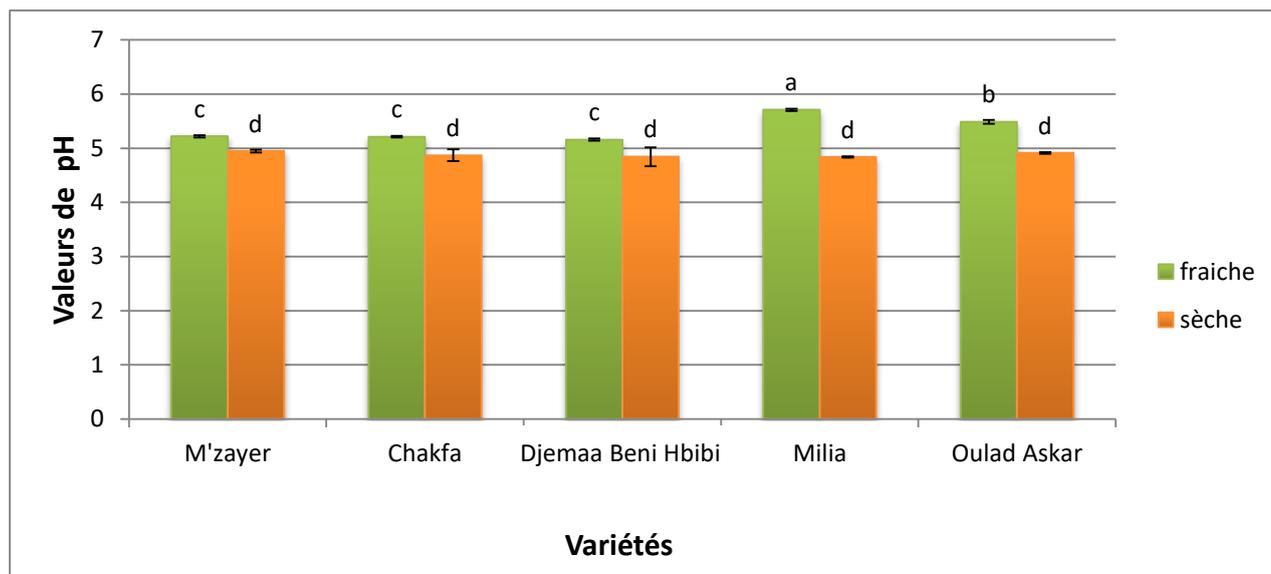


Figure 12 : Valeur de pH des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

Le pH est un paramètre important pour le contrôle de qualité des denrées alimentaires. C'est un critère de classification des fruits et légumes et a un rôle limitant dans leur conservation. En effet, un produit acide est mieux protégé contre les altérations biologiques et enzymatiques, comparé à un produit à pH neutre (Board, 1987).

L'analyse statistique montre une diminution significative des valeurs de pH pour toutes les variétés après séchage. Les valeurs de pH pour les variétés à l'état frais varient entre 5.16 ± 0.02 et 5.71 ± 0.02 . Nos valeurs sont légèrement supérieures à celles rapportées par Caliskan et Polat (2008) et Aljane *et al.* (2012) qui ont enregistré des valeurs de pH entre 4.6 et 5.4 pour des variétés de figes en Turquie et en Tunisie respectivement.

Après séchage, aucune différence significative n'est observée pour toutes les variétés. Les valeurs de pH enregistrés varient de 4.87 ± 0.11 à 4.95 ± 0.02 . Des valeurs inférieures variant entre 4.21 et 4.35 ont été enregistrées par Hoxha et Kongoli (2016) pour deux variétés de figes albanaises sèches nommées « *Roshnik* » et « *Malakuq* ».

Dans notre étude et dans l'ensemble des études analysées, il a été noté que la déshydratation suite au séchage au soleil a entraîné une diminution de pH par rapport aux fruits à l'état frais, ceci est dû au fait que les échantillons de fruits séchés contiennent moins d'eau, et les acides organiques sont les plus prédominants (Hoxha et Kongoli, 2016).

II.1.4. Cendres

Le dosage des cendres est aussi un paramètre important. Les cendres totales sont le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon contenant des substances organiques d'origine animale, végétale ou synthétique. Les cendres représentent environ 1 à 5% de la masse d'un aliment sur une base humide et la détermination de la teneur en matière minérale nous éclaire sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser.

Les cendres des cinq variétés des figes fraîches et sèches étudiées ont été mesurées après incinération au four à moufle. La figure 13 résume les résultats obtenus en termes de pourcentage.

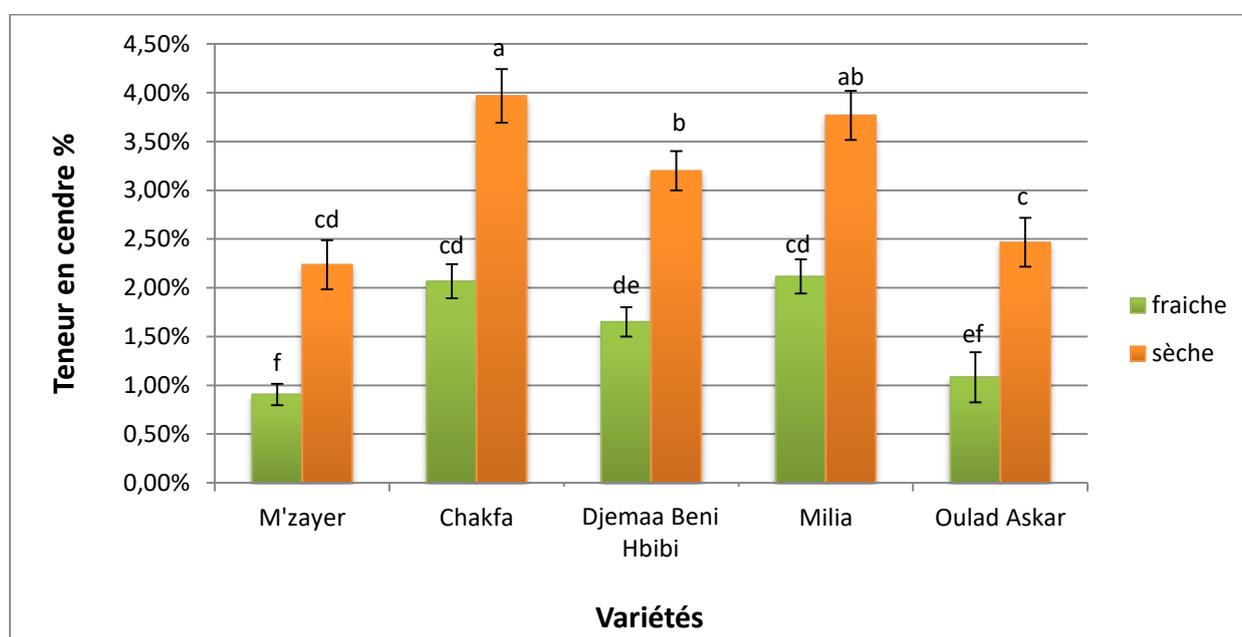


Figure 13 : Teneur en cendres en (%) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

D'après les résultats une augmentation significative des teneurs en cendre pour toutes les variétés après séchage est notée. En effet, pour les figes fraîches, le contenu en cendre varie entre $0.91 \pm 0.11\%$ et $2.12 \pm 0.17\%$. Tandis que pour les figes sèches des teneurs allant de $2.5 \pm 0.2\%$ à $4 \pm 0.25\%$ sont enregistrées. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Manoj *et al.* (2018) qui 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%). Même confirmation a été rapportée par Chauhan *et al.* (2015) qui ont indiqué une valeur de (4%) à l'état frais et (4.4%) à l'état sec. 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 (4.65%) était supérieure aux résultat obtenu à l'état frais (4.65%).

Cette augmentation en cendres après séchage peut être expliquée par le fait que ce dernier provoque l'élimination de l'eau, augmentant ainsi la concentration en nutriments. Elle peut aussi être expliquée par la faible volatilité des minéraux, qui ne sont pas détruits par chauffage (Eshak, 2018).

II.1.5. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité est une méthode extrêmement répandue et utile, dans des applications de contrôle de la qualité, de par sa grande fiabilité, sa sensibilité et son faible coût. Elle offre une estimation du nombre total d'ions dans une solution (Radiometer Analytical, 2004).

Les mesures de la conductivité électrique des cinq variétés de figes fraîches et sèches étudiées sont illustrées dans la figure 14. Les résultats sont exprimés en microsiemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$).

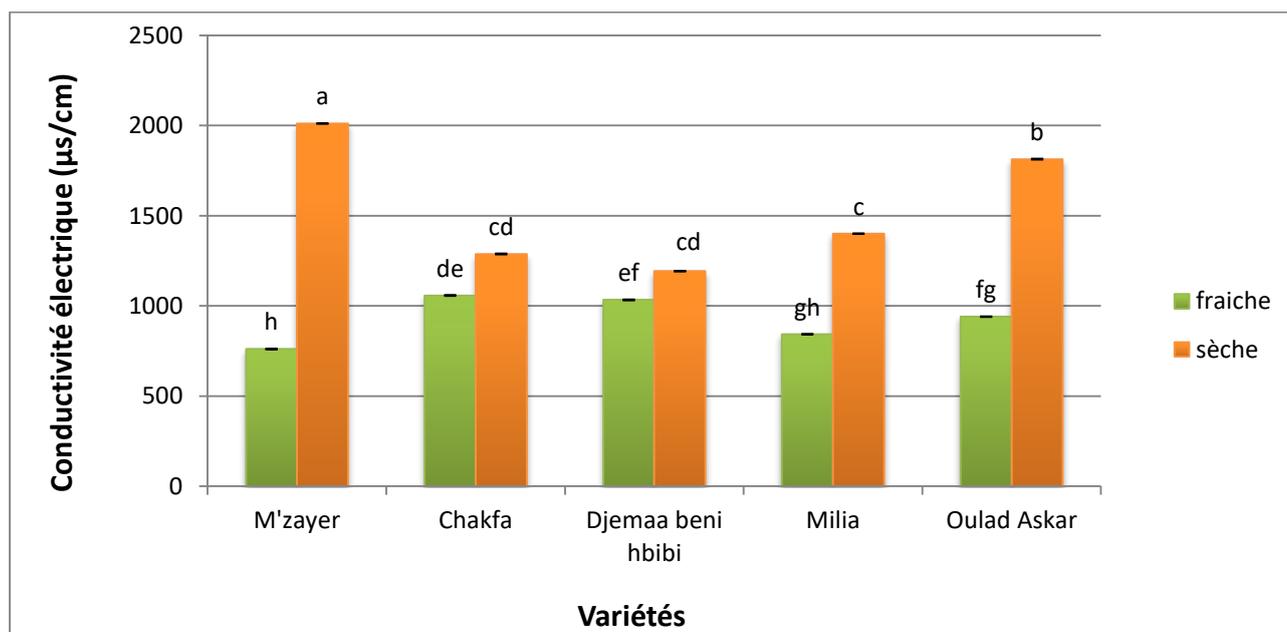


Figure 14 : Conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

À l'état frais, la variété de Chakfa présente la valeur de la conductivité électrique la plus élevée avec $1357.8 \pm 2.666 \mu\text{s/cm}$, tandis que celle du M'zayer présente la valeur la plus faible ($761.36 \pm 0.737 \mu\text{s/cm}$). Après séchage, l'analyse statistique montre une augmentation significative des valeurs de la conductivité électrique pour toutes les variétés pour atteindre $2011.36 \pm 1.803 \mu\text{s/cm}$ pour la variété de M'zayer et $1192.83 \pm 11.20 \mu\text{s/cm}$ pour la variété de Djemaa Beni Hbibi. Les

résultats obtenus dans cette étude sont supérieurs à ceux enregistrés par Alaskari et *al.* (2012) qui donnent des valeurs variant entre 756 et 954 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour des variétés de figes sèches obtenues des marchés de Rabat-Salé, Temara et Casablanca (Maroc).

Selon Rodier (1997) la conductivité électrique est influencée par le pH de la solution, la valence des ions et le degré d'ionisation; En effet, la conductivité ionique totale d'une solution dépend de la concentration, l'activité, la charge et la mobilité de tous les ions libres dans la solution.

II.1.6. Acidité titrable

Dans la caractérisation physicochimique il est aussi important de mesurer l'acidité titrable. En effet, c'est un élément important pour la détermination de la date de la récolte et un indicateur de la maturité des fruits en relation avec les sucres. En général, la teneur en acides organiques diminue durant la maturité (Chahidi et *al.*, 2008). L'acidité titrable donne la mesure de tous les acides d'un aliment, le manque d'acidité rend l'aliment sans saveur, alors qu'une acidité trop forte lui confère un goût désagréable. Elle nous renseigne aussi sur la quantité de ces acides organiques présents dans l'échantillon (Ferhoum, 2010).

Les résultats des mesures de l'acidité titrable exprimés en g d'acide citrique/100 g de fige des cinq variétés étudiées sont présentés dans la figure 15.

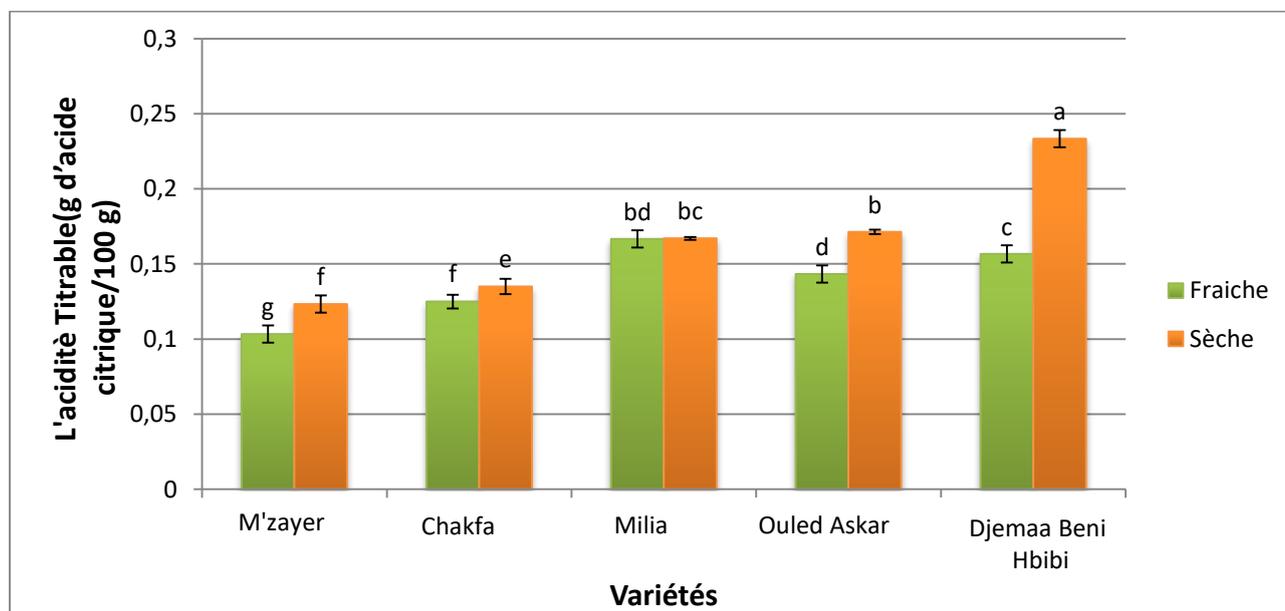


Figure 15 : Acidité titrable (g AC/100g) des cinq variétés de figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

À l'état frais, des valeurs entre 0.103 ± 0.005 et 0.166 ± 0.005 g AC /100 g de figue sont enregistrés. Ces résultats sont plus faibles par rapport à ceux de Caliskan et Polat (2012) qui ont enregistré des valeurs entre 0.11 et 0.35 g/100 g. De même Bachir Bey, (2015) a rapporté des valeurs plus élevées (entre 1.14 à 1.50 g AC /100g) à ceux de la présente étude.

Il est intéressant de souligner que l'acidité pour toutes les variétés augmente significativement à l'état sec jusqu'à atteindre 0.233 ± 0.005 g AC /100 g de figue. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Bachir Bey (2015) qui ont constaté une augmentation significative de l'acidité titrable des variétés de figues de la région de Béjaia après le processus de séchage. Cette augmentation de l'acidité titrable de figue après le séchage peut être expliquée par la concentration des acides organiques après l'évaporation de l'eau (Hoxha et Kongoli, 2016).

II.1.7. Eléments minéraux

Un élément-trace est dit « essentiel » s'il est nécessaire à la vie, sa carence entraînant soit la mort de l'individu, soit un dysfonctionnement grave de son organisme. On dénombre quinze oligo-éléments ou éléments-trace classés comme « essentiels » : le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), l'étain (Sn), le fer (Fe), le fluor (F), l'iode (I), le lithium (Li), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le sélénium (Se), le silicium (Si), le vanadium (V) et le zinc (Zn) (Picaud, 2017).

L'arsenic (Ar), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb) « les métaux lourds », sont des éléments ubiquitaires qui vont inéluctablement contaminer les aliments. Ils peuvent induire divers effets toxiques à faible niveau d'exposition, via le régime alimentaire (Boisset, 2017).

Après une extraction par l'acide chlorhydrique (HCl), le dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) des éléments suivants : cuivre (Cu), zinc (Zn), plomb (Pb) et cadmium (Cd) a été réalisé. Les teneurs en minéraux exprimées en mg /100g de figue pour les cinq variétés sont illustrées dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Teneur en éléments minéraux pour les cinq variétés de figes fraîches et sèches.

Eléments en (mg /100g)	Zinc (Zn)		Cuivre (Cu)		Plomb (Pb)		Cadmium (Cd)		
	Etat Variétés	fraiche	sèche	fraiche	sèche	fraiche	sèche	fraiche	sèche
M'zayer		0.467	0.528	0.245	0.899	0.164	0.333	0.007	0.009
Milia		0.240	1.604	0.296	0.831	0.021	0.031	0.006	0.007
Chakfa		0.293	0.362	0.208	0.982	0.054	0.377	0.009	0.01
Ouled Askar		0.421	0.773	0.242	0.695	0.123	0.379	0.005	0.009
Djemaa Beni Hbib		0.568	0.804	0.242	0.925	0.095	0.392	0.005	0.008

À l'état frais, le Zn représente le minéral le plus dominant. La plus haute teneur est notée pour la variété de Djamaa Beni Hbib (0.568 mg /100 g de figue). La variété de Milia contient la plus faible teneur en Zn (0.24 mg /100 g de figue). Suivie par le Cu (0.208 à 0.296 mg /100 g de figue) et le Pb (0.021 à 0.164 mg /100 g de figue). Des traces de Cd (0.005 à 0.009 mg /100 g de figue) ont été enregistrés. Les résultats obtenus dans cette étude concernant le Zn et Cu sont inférieures par rapport à ceux de Khan et *al.* (2011), qui ont enregistrés des valeurs variant entre 0.35 ± 0.02 et 0.62 ± 0.02 mg/100g de figue pour le Zn, et entre 0.32 ± 0.02 et 0.42 ± 0.02 mg/100g de figue pour le Cu, suite à l'étude réalisée sur sept échantillons de figue fraîche en Pakistan.

Selon le règlement de Communauté Européenne (CE) n° 1881/2006, les niveaux maximaux admissibles de Pb dans les fruits et de Cd dans les légumes et les fruits fraîches sont respectivement de 0.01 mg /100g et 0.005 mg /100 g. Par conséquent, les teneurs en Pb et en Cd obtenus dans la présente étude sont non conformes à cette norme.

Après séchage, une augmentation remarquable des teneurs en Zn, Cu, Pb et en Cd pour atteindre 1.604 mg /100 g de figue (variété de Milia), 0.98 mg /100 g de figue (variété de chakfa), 0.392 mg /100 g (variété de Djamaa Beni Hbib) et 0.01 mg /100 g de figue (variété de chakfa) respectivement. Les résultats obtenus dans la présente étude sont supérieurs à ceux enregistrés par

Soni et *al.* (2014), qui ont rapporté des valeurs de 0.987, 0.0680, 0.502 et 0.00034 mg /100 g de figue pour le Zn, Pb, Cu et Cd respectivement. En revanche, nos résultats concernant le Zn et Cu sont proches à ceux rapportés par Lo Turco et *al.* (2020), qui ont travaillé sur trois échantillons de figes (de l'Italie, la Grèce et la Turquie). Ils ont enregistré des teneurs atteignant 1.15 mg /100g de figue pour le Zn et 0.812 mg/100g de figue pour le Cu.

Globalement, le séchage conduit à une augmentation pour les teneurs en éléments minéraux dosés pour les cinq variétés de figes. Cette augmentation peut être expliquée par la concentration de ces derniers après l'élimination d'une partie de l'eau sous l'effet de séchage. Elle peut aussi être expliquée par la stabilité des minéraux ; ils ne sont pas détruits ou volatilisés par chauffage (Eshak, 2018).

II.1.8. Teneur en pectine

La pectine est un polysaccharide présent dans les parois cellulaires végétales, surtout dans les fruits, elle représente une composante de la fibre soluble ayant des applications technologiques intéressantes dans la gélification d'un mélange de fruits et de sucres (Roger, 2008; Bauer et *al.*, 2010). Les teneurs en pectine des cinq variétés avant et après le séchage ont été déterminées. La figure 16 résume les résultats obtenus exprimés en termes de pourcentage.

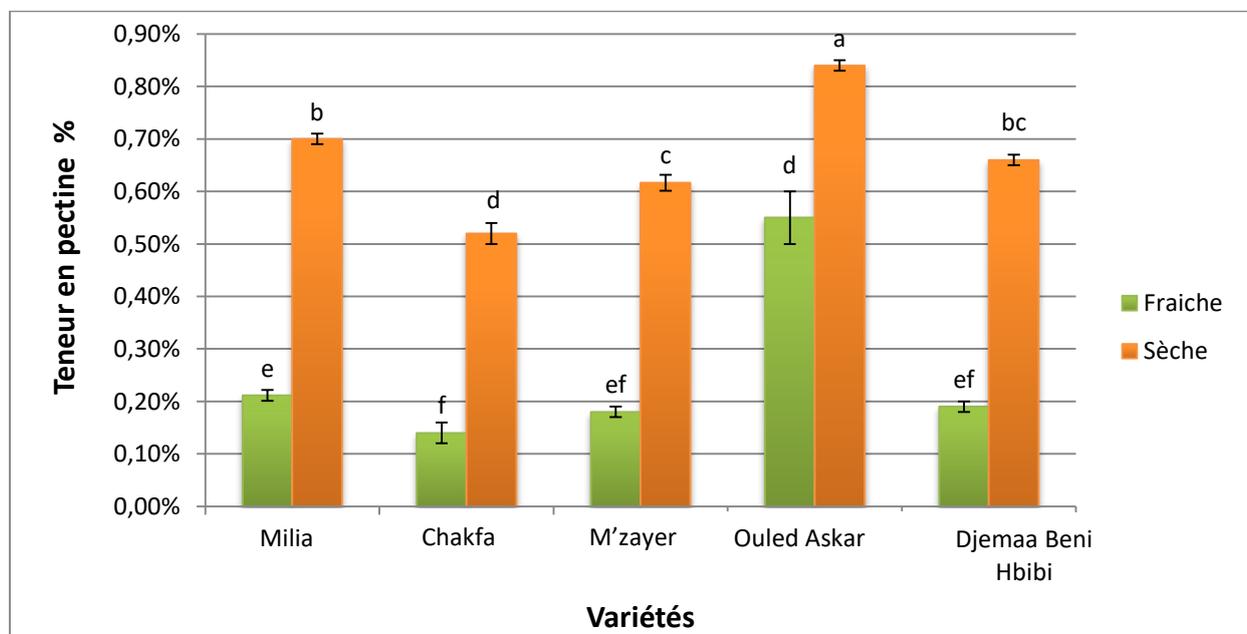


Figure 16 : Teneur en pectine (%) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

D'après les résultats de la présente étude, à l'état frais, le contenu en pectine varie entre $0.18 \pm 0.001\%$ et $0.55 \pm 0.05\%$. Aucune étude accessible n'a été trouvée concernant la détermination de la pectine dans les figues. Par conséquent nos résultats sont comparés avec des travaux effectués sur d'autres fruits et légumes, notamment l'étude de Thibault et Ralet (2001) qui a rapporté des teneurs en pectine de quelques fruits et légumes frais, dont l'ananas (0.04 - 0.13 %), la carotte (0.20 - 0.50 %) et la tomate (0.20 - 0.60 %), la pêche (0.10 - 0.90%), la pomme (0.50 - 1.60) et les bananes (0.70 - 1.20 %). Selon l'UIC (Union des Industries Chimiques) nos variétés de figues sont classées comme des fruits pauvres en pectine (moins de 0.5 %). Sur le plan technologique, la faible teneur en pectine est un avantage dans la production des jus clarifiés et des sirops (processus de clarification) par contre cela constitue un inconvénient pour la préparation des gelées et des marmelades (Amellal, 2008).

L'analyse statistique montre une augmentation significative de la teneur en pectine pour toutes les variétés après séchage. En effet, des teneurs allant de $0.53 \pm 0.09\%$ à $0.84 \pm 0.01\%$ sont enregistrées.

On peut conclure que la figue sèche est plus riche en pectine par rapport à la figue fraîche. L'évaporation de l'eau sous l'effet de séchage peut être la cause de cette différence (Meziant, 2014).

II.2. Etude de la qualité nutritionnelle

II. 2.1. Sucres totaux et sucres solubles

Les glucides totaux regroupent l'ensemble des polysaccharides, les oligosaccharides et les monosaccharides. 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 (Jiang *et al.*, 2013).

Les dosages quantitatifs des glucides totaux et des sucres solubles ont été déterminés à partir des équations de la régression linéaire des courbes d'étalonnage établit avec le glucose (*Annexe 01*) et (*Annexe 02*) respectivement. Le tableau IX résume les résultats obtenus pour les 5 variétés de figues fraîches et sèches étudiées. Les résultats sont exprimés en mg EGLU par 100g de figue.

Tableau IX : Teneur en glucides totaux et en sucres solubles pour les cinq variétés de figues fraîches et sèches.

Etat Variétés	Sucres totaux (mg EGLU/100g)		Sucres solubles (mg EGLU/100g)	
	Sèche	fraiche	Sèche	fraiche
M'zayer	(17.22±0.11) ^h	(11.23±0.1) ^j	(16.46±0.13) ^e	(9.47±0.34) ^h
Milia	(34.16±0.14) ^b	(19.9±0.13) ^f	(19.39±0.35) ^d	(11.7±0.1) ^g
Chakfa	(20.53±0.12) ^e	(12.23±0.12) ⁱ	(28.69±0.1) ^c	(19.5±0.36) ^d
Djemaa Beni Hbib	(60.3±0.15) ^a	(24.4±0.23) ^d	(31.19±0.06) ^a	(16.64±0.39) ^e
Ouled Askar	(30.18±0.13) ^c	(17.98±0.39) ^g	(29.86±0.16) ^b	(15.58±0.32) ^f

Les valeurs sont la moyenne de trois essais \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

D'après le tableau, à l'état frais, la teneur en glucides totaux varie d'un échantillon à l'autre. La variété la plus riche en glucides totaux est celle de Djemaa Beni Hbib avec 24.4 ± 0.23 g EGLU/100 de figue. La plus faible teneur est enregistrée avec la variété de M'zayer avec une teneur de 11.23 ± 0.1 g EGLU/100 g de figue. Ces valeurs sont largement supérieures à ceux obtenues par Aljane et al. (2007) sur quatorze variétés de figues fraîches du sud de la Tunisie, et qui ont enregistré des valeurs variant de 1.216 à 6133g EGLU / 100 g de matière fraîche.

Après séchage, la variété de Djemaa Beni Hbib est toujours la plus riche en sucres totaux (60.3 ± 0.15 g EGLU/100 g de figue) et la plus faible est notée également pour la variété de M'zayer (17.22 ± 0.11 g EGLU/100 g de figue). Vinson (1999) a mentionné une teneur en glucides de 66.16 g EGLU/100 g de broyat de figue sèche californienne. Dans une autre étude menée par Khatib et Vaya (2010) des concentrations en glucides de 63.9 g EGLU /100 g de broyat de figue sèche ont été enregistrées pour une variété de figue commercialisée en Israël. Une teneur de 76.9 g EGLU/100g de figue a été signalée par Eshak (2018).

Globalement une différence significative est observée entre les cinq variétés avant et après le séchage. En effet, l'analyse statistique montre que le séchage entraîne une augmentation significative dans les teneurs en sucres totaux pour les cinq variétés. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Chauhan et al. (2015) qui ont rapporté des teneurs en glucides de 16.3 g

EGLU/100g pour les figes fraîches et de 65.15 g EGLU/100g pour les figes sèches. L'étude de Manoj et *al.* (2018) a également indiqué des teneurs nettement plus élevées en sucres après séchage.

Dans les fruits, la plus grande partie de la matière sèche est composée de sucres dans leur forme soluble. L'acidité rassemblée avec les sucres forment le goût (Darjazi, 2011). Les variétés les plus sucrées sont plus demandées dans les marchés locaux et orientaux contrairement aux marchés européens qui préfèrent les variétés les moins sucrées (Ozeker et Isfendiyaroglu, 1998).

Pour le dosage des sucres solubles; les résultats montrent qu'à l'état frais, la variété de Chakfa est la plus riche en sucres solubles (19.5 ± 0.36 g EGLU /100 g de fige). La teneur la plus faible est enregistrée avec la variété de M'zayer (9.47 ± 0.34 g EGLU/100 g de fige). Nos résultats sont presque similaires à ceux rapportés par Darjazi (2011) qui a indiqué des valeurs allant de 9.8 à 18.9 g/100 g de fige fraîche Iranienne.

Après séchage, la teneur en sucres solubles varie entre 16.46 ± 0.13 g EGLU /100 g (variété de M'zayer) à 31.19 ± 0.06 g EGLU /100 g (variété de Djemaa Beni Hbib). Ces résultats presque similaires à ceux de Darjazi (2011) qui a obtenu des valeurs de 16 à 32 EGLU g /100 g de fige sèche. Dans une autre étude réalisée par Faleh et *al.* (2015), en étudiant l'effet de séchage par soleil sur la teneur en sucres de dix cultivars tunisiens de couleurs différentes, ont indiqué que les extraits de figes sèches possédaient une teneur en sucres d'environ 34.064 g.

Il a été noté dans notre étude comme dans la majorité des études analysées que le séchage s'accompagne d'une augmentation significative du taux de glucides et de sucres solubles. En effet, le séchage conduit à une concentration des nutriments à l'intérieur du fruit après l'élimination d'une partie de l'eau présente dans le fruit frais, ce qui peut expliquer l'élévation de la teneur en sucres de la fige sèche. (Meziant, 2014).

Un autre point a été aussi noté est la différence dans le contenu en glucides totaux et en sucres solubles entre les variétés de même état (fraîches ou sèches). Ces différences peuvent être dues à l'effet variétal, aux modalités de dosage, aux conditions environnementales (sol, climat, etc.), au degré de maturation des fruits et aux différents traitements post-récolte que subissent les fruits (conditions de conservation, sulfitation, etc.) (Aljane et *al.*, 2007 ; Aljane et Ferchichi, 2009 ; Gozlekci, 2011 ; Jiang et *al.*, 2013). Des études qualitatives des sucres dans la fige utilisant des techniques d'analyses précises (HPLC) ont identifié trois glucides (glucose, fructose et saccharose) à différentes quantités selon les variétés de figes analysées (Aljane et *al.*, 2007; Aljane et Ferchichi, 2009; Gozlekci, 2011; Trad et *al.*, 2012).

II. 2.2. Protéines solubles et acides aminés libres

Les protéines alimentaires d'origine végétale occupent une grande partie dans l'alimentation humaine même si elles ont une valeur biologique moins importante que celle des protéines d'origine animale. Elles remplissent des fonctions essentielles puisqu'elles peuvent être des enzymes, des transporteurs de nutriments et mêmes des agents de défense, comme elles peuvent être à l'origine de quelques réactions allergiques (Lacroix, 2008).

Le tableau X représente les résultats des dosages à la fois des protéines solubles et des acides aminés libres. La teneur en protéines solubles est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de sérum albumine bovine (BSA), et les résultats sont exprimés en g EBSA /100 g de figue. Pour les acides aminés libres, les résultats sont exprimés en g EGLY /100g de figue en se référant à une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de glycine.

Tableau X: Teneur en protéines solubles et en acide aminés libres dans les cinq variétés de figues fraîches et sèches.

Etat Variétés	Protéines solubles (g EBSA/100 g)		Acides aminés libres (g EGLY/100g)	
	Sèche	Fraiche	Sèche	Fraiche
M'zayer	(0.32±0.01) ^a	(0.24±0.03) ^c	(0.09±0.001) ^{cd}	(0.06±0.004) ^e
Milia	(0.29±0.005) ^f	(0.21±0.0037) ^{cd}	(0.1±0.005) ^c	(0.08±0.003) ^{cde}
Chakfa	(0.24±0.002) ^c	(0.22±0.004) ^{cd}	(0.09±0.002) ^{cd}	(0.07±0.001) ^{de}
Djemaa Beni Hbib	(0.19±0.0047) ^d	(0.13±0.02) ^c	(0.09±0.001) ^{cde}	(0.07±0.001) ^{de}
Ouled Askar	(0.23±0.007) ^c	(0.23±0.01) ^c	(0.26±0.008) ^a	(0.15±0.03) ^b

Les valeurs sont la moyenne de trois essais ± écart type (n = 3).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes (p < 0.05).

D'après le tableau, à l'état frais, la variété de M'zayer est la plus riche en protéines solubles (0.24 ± 0.03 g EBSA /100 g de figue). Les plus faibles teneurs sont enregistrées avec la variété de Djemaa Beni Hbibbi (0.13 ± 0.02 g EBSA /100 g de figue). Ces teneurs sont inférieures à celles obtenues par Favier et *al.* (1993), en travaillant sur 143 variétés de figues fraîches, ils ont rapporté des teneurs en protéines variant de 0.8 à 1.3 g EBSA /100 g de figue, et Lim (2012) qui ont rapporté des valeurs moyennes variant de 0.75 et 3.30 g EBSA /100 g de matière comestible pour des variétés de figues fraîches cultivées en Estrémadure (Espagne).

Après séchage, la teneur en protéines solubles pour la variété de M'zayer est significativement élevée (0.32 ± 0.01 g EBSA /100 g de figue) en comparaison avec les autres variétés étudiées, La variété de Djemaa Beni Hbibbi possèdent les plus faibles teneurs en protéines (0.19 ± 0.004 g EBSA /100 g). Des valeurs plus élevées par rapport à nos résultats (environ 3 g/100 g MS) ont été rapportées par Vinson (1999) et El-Khaloui (2010) pour la figue sèche Californienne et Marocaine respectivement.

La teneur en protéines de la figue sèche dans notre étude est donc relativement élevée par rapport à la figue fraîche. Cela pourrait être expliqué par une concentration des nutriments dans le fruit après l'élimination d'une partie de l'eau présente dans le fruit frais, sous l'effet du séchage. Cependant, la stabilité de la teneur en protéines après le séchage pour le cas de la variété d'Ouled Askar peut être due à la dénaturation (dégradation) des protéines par la chaleur sous l'effet de séchage au soleil.

Les acides aminés libres représentent en moyenne 50% des composés azotés solubles dans les fruits. La composition en acides aminés est typique pour chaque fruit ; ainsi, elle peut être utilisée pour la caractérisation analytique des produits à base de fruits (Belitz et *al.*, 2009).

Dans la présente étude, les résultats du dosage des acides aminés libres (Tableau IX) montrent qu'à l'état frais, les teneurs varient entre 0.06 ± 0.004 et 0.15 ± 0.03 g EGLY/100 g de figue. Très peu d'études ont été réalisées pour déterminer la teneur en acides aminés libres dans les figues. Les données de l'étude effectuée par Huang et *al.* (2010) sur des figues de Hong Kong ont rapporté une teneur moyenne en acides aminés de 9.29 g EGLY /100 g de figue. Ces auteurs ont pu identifier neuf acides aminés indispensables à savoir l'Arginine, l'histidine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la tyrosine et l'alanine. Après séchage, les teneurs en acides aminés libres augmentent pour atteindre une valeur de 0.26 ± 0.008 EGLY/100 g de figue. Une augmentation du contenu en acides aminés après séchage a été aussi observée par Favier et *al.* (1993) qui ont enregistré une teneur de 0.82 g EGLY /100 g à l'état frais et 2.77 g EGLY /100 g /100 g à l'état sec.

II.3. Dosage des composés phénoliques

II.3.1. Extraction des composés phénoliques

L'extraction, l'étape clé pour extraire et doser les substances bioactives des matières végétales, est un processus conçu pour récupérer les composés phénoliques par diffusion d'une matrice solide (matière végétale) vers une matrice liquide (solvant) (Li et *al.*, 2006 ; Zhang et *al.*, 2007).

En effet, l'extraction est l'une des étapes les plus importantes pour la purification et la préconcentration 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, les conditions de stockage, la présence d'interférents, la taille des particules formant l'échantillon et le solvant d'extraction (Naczki et Shahidi, 2004).

Différents solvants organiques tels que l'acétone (Bachir Bey et Louaileche, 2015), l'éthanol, le méthanol (Faleh et *al.*, 2012; Nakilcioglu et Hisil, 2013; Chauhan et *al.*, 2015; Bachir Bey et *al.*, 2016 ; Hoxha et Kongoli, 2016; Pourghayoumi et *al.*, 2017 ; Manoj et *al.*, 2018) 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 (Spignoni et *al.*, 2007). Il a été aussi montré que parmi les quatre solvants, le méthanol, l'éthanol, l'eau et l'acétone, la combinaison acétone/eau est le mélange qui a donné des niveaux de composés phénoliques les plus élevés (Uma et *al.*, 2010, Bachir Bey et *al.*, 2013).

Pour cela dans notre étude notre choix s'est porté sur la combinaison acétone/eau pour l'extraction des composés phénoliques à partir des échantillons de figues étudiées.

II.3.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

Les fruits et légumes et leurs dérivés sont une bonne source de composés phénoliques naturels (Rice-Evans et Packer, 2003). Ils sont connus pour leur rôle protecteur contre le cancer, les maladies cardiovasculaires et la cataracte (Hollman et *al.*, 1996).

Les dosages quantitatifs des polyphénols totaux des cinq variétés ont été déterminés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (*Annexe 05*). La figure 17 résume les résultats obtenus exprimés en mg d'équivalents acide gallique par 100g de figue (mg EAG/100g).

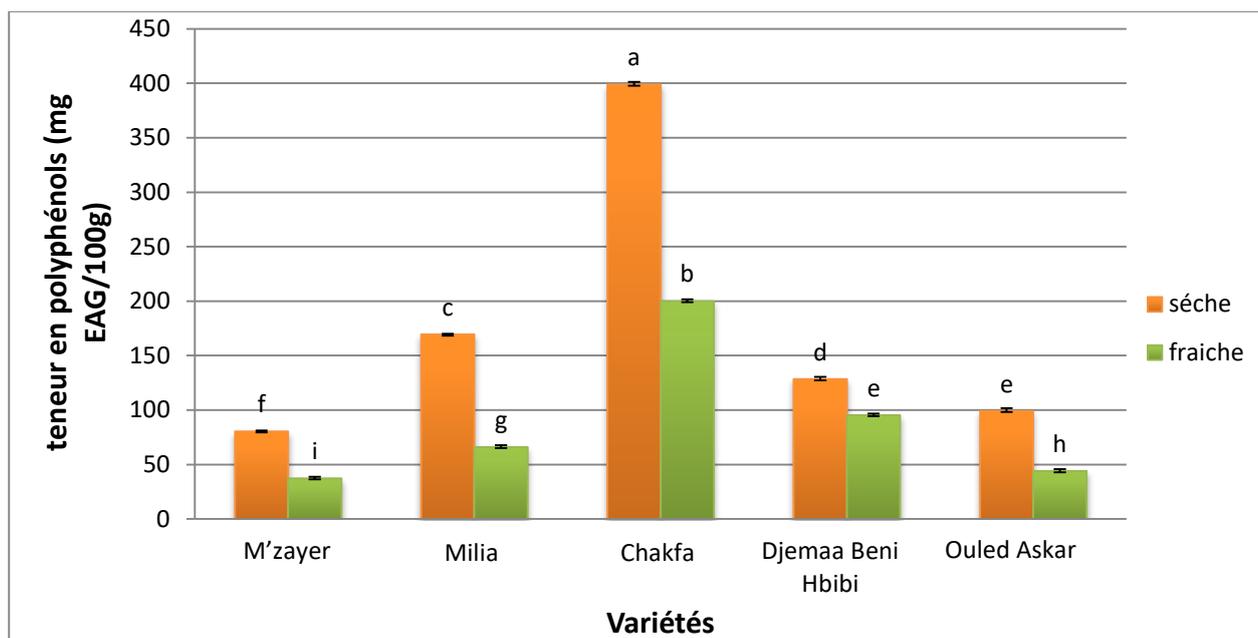


Figure 17 : Teneur en composés phénoliques totaux (mg EAG/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

L'analyse statistique montre une augmentation significative de la teneur en composés phénoliques pour toutes les variétés après séchage. En effet, à l'état frais, le contenu en composés phénoliques varie entre 37.38 ± 1.54 et 199.99 ± 1.72 mg EAG/100 g de figue. Après séchage, des teneurs allant de 80.47 ± 0.86 à 398.8 ± 2.39 mg EAG/100 g de figue sont enregistrées. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Manoj et *al.* (2018) qui ont mesuré la teneur totale en polyphénols de la figue fraîche et sèche de quelques variétés cultivées en Inde. Après analyses, les résultats ont montré que la teneur en polyphénols dans les extraits de figes fraîches était de 4.58 mg EAT/ 100 g de figue et de 4.92 mg EAT/100 g de figue après séchage. En outre, dans la recherche menée par Slatnar et *al.* (2011) sur une variété de figue 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).

Cette augmentation du contenu polyphénolique peut être expliquée par l'hydrolyse des composés phénoliques complexes tels que les tannins et les lignines sous l'effet de l'élévation de la température durant le séchage, menant à une libération de composés plus simples, mais plus nombreux (Al-Farsi et *al.*, 2005). Le séchage peut aussi accélérer la libération des composés

phénoliques liés aux membranes des organites cellulaires endommagées par la chaleur (Arslan et Ozcan, 2010).

Cependant, des résultats contradictoires ont été signalés dans l'étude menée par Vinson et *al.* (2005) en étudiant des figes fraîches et sèches commercialisées en Californie. Ils ont enregistré des teneurs de 486 mg EAG/100 g de fige (état frais) et de 320 mg EAG/100 g de fige (état sec). Même résultats ont été rapportés par Bachir Bey et *al.* (2016) qui travaillaient sur trois variétés de figes locales de l'Algérie. Ils ont indiqué une régression dans la teneur en phénols totaux qui était comprise entre 107.08 – 181.06 mg EAG/100 g de fige à l'état frais jusqu'à atteindre des concentrations allant de 30.81 à 40.91 mg EAG/100 g de fige après séchage. Shahidi et Naczki (2004), ont indiqué que le séchage peut provoquer la décomposition oxydative des composés phénoliques par la polyphénol-oxydase (PPO). IL peut aussi causer une dégradation non-enzymatique des composés phénoliques.

II.3.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

Certaines activités biologiques telles que les activités anti-inflammatoires, antiallergiques, anti-tumorales et immuno-modulatrices sont attribuées aux flavonoïdes. Ces métabolites secondaires peuvent inhiber aussi quelques enzymes comme la lipoxygénase, la xanthine oxydase, la phospholipase, etc.... ce qui est relié directement à leur grand pouvoir antioxydant (Pietta et *al.*, 2003). Ces composés sont apportés essentiellement par les fruits et légumes.

Les dosages quantitatifs des flavonoïdes des cinq variétés ont été déterminés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (*Annexe 06*). La figure 18 résume les résultats obtenus exprimés en mg d'équivalents de quercétine par 100g de fige (mg EQ/100g).

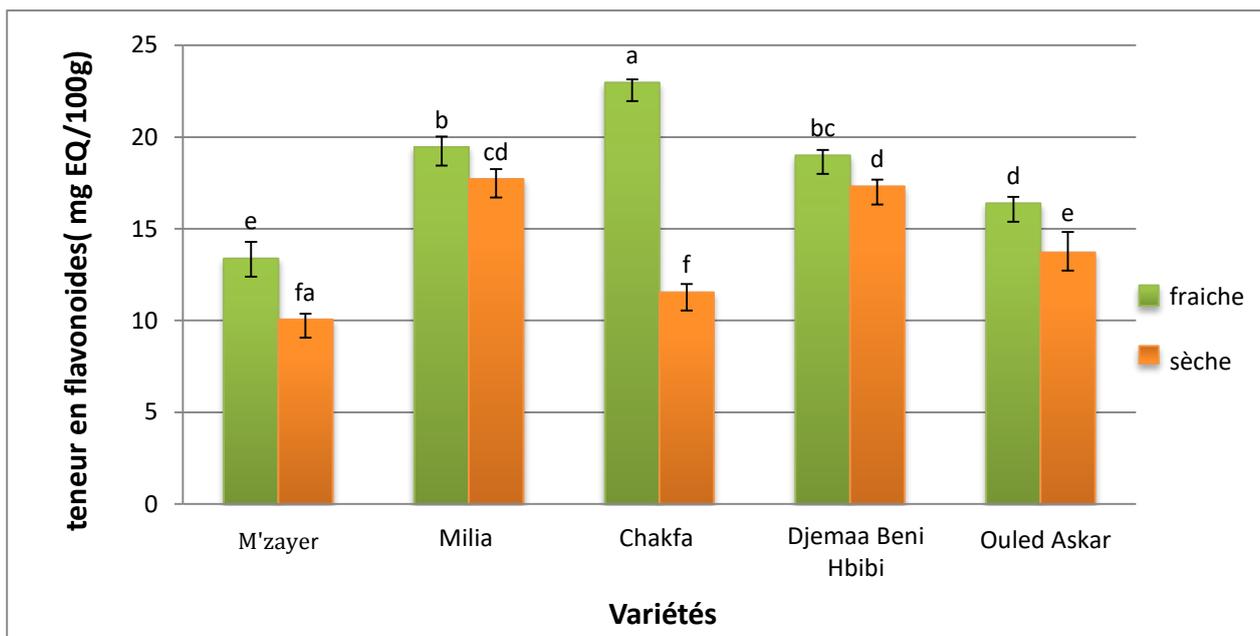


Figure 18 : Teneur en flavonoïdes (mg EQ/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

L'analyse statistique montre une diminution significative des teneurs en flavonoïdes pour toutes les variétés après séchage. En effet, à l'état frais, le contenu en flavonoïdes varie entre 13.39 ± 0.9 et 22.96 ± 0.18 mg EQ/100 g de figue. Après séchage, des teneurs allant de 10.06 ± 0.32 à 17.71 ± 0.55 mg EQ/100 g de figue sont enregistrées. 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 aussi confirmés par les travaux menés par Kamiloglu et Capanoglu (2015), et Manoj et al. (2018) où ils ont détecté une teneur de 66 mg EC /100g à l'état frais et 52 mg EC /100 g à l'état sec et une concentration de 0.21 mg EQ /100g pour les figes fraîches et 0.19 mg EQ /100 g après séchage pour la première et la deuxième étude, respectivement.

Il est intéressant aussi de noter que 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).

II.3.4. Détermination de la teneur en flavonols

Les flavonols ont des propriétés bénéfiques dans le traitement des maladies cardiaques et de certains cancers (Vinson *et al.*, 1995). Ils possèdent des activités antitumorales et chimiopréventives (Lacaille-Dubois et Wagner, 1996) et jouent aussi un rôle important dans la protection contre le diabète chez l'homme, et contre les dommages oxydatifs de l'ADN (Lean *et al.*, 1999). Les dosages quantitatifs des flavonols ont été déterminés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage établit avec la quercétine (Annexe 07).

La figure 19 résume les résultats obtenus pour les cinq variétés de figue fraîche et après séchage. Les résultats sont exprimés en mg EQ /100g de figue.

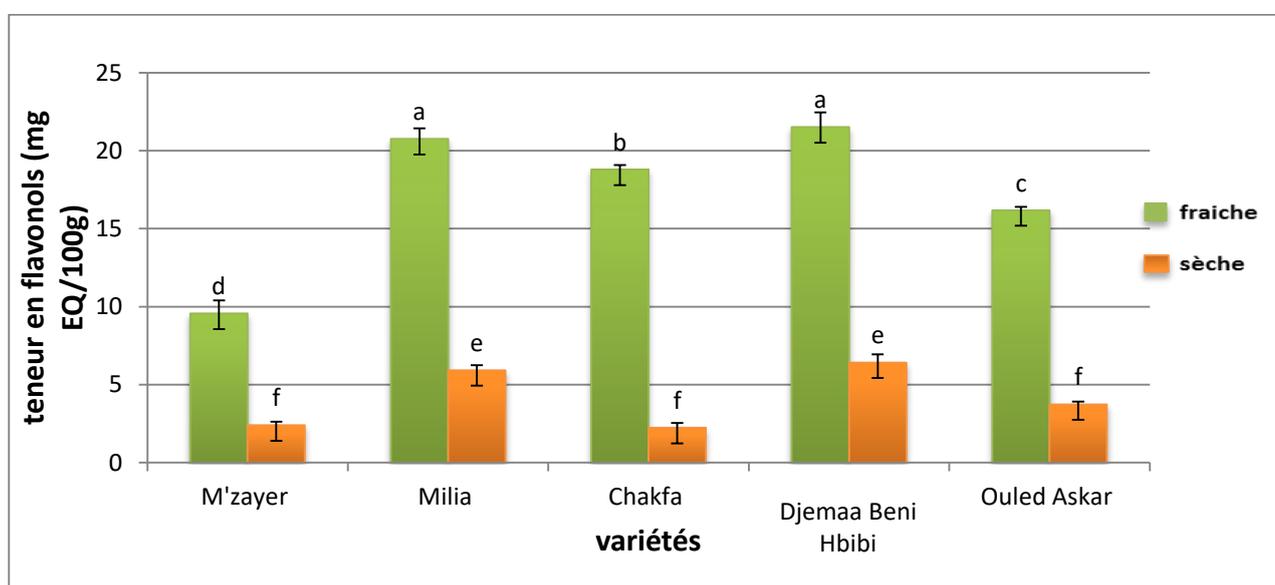


Figure 19 : Teneur en flavonols (mg EQ/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes ± écart type (n = 3).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes (p < 0.05).

A l'état frais, les teneurs en flavonols varient entre 9.55 ± 0.85 et 21.52 ± 0.93 mg EQ /100g de figue. Ces résultats sont supérieurs à ceux de Wang *et al.* (2017) qui ont rapporté une teneur en flavonols de 2.60 mg EQ3G /100 g de matière comestible pour une variété de figue fraîche chinoise et à ceux de Veberic *et al.* (2008) qui ont enregistré une teneur en flavonols de 1.07 jusqu'à 4.03 mg EQ3G pour 100 g de poids frais d'une variété de figue en Slovénie.

Une diminution significative des teneurs en flavonols après le séchage est donc clairement observée pour toutes les variétés pour atteindre 2.4 ± 0.22 et 6.42 ± 0.52 mg EQ/100g de figue. Ces résultats sont inférieurs à ceux de Bachir bey et Louaileche (2015) qui rapporté des quantités en flavonols

des échantillons de figes séchées locales de la région de la Kabylie en Algérie comprises entre 21.94 et 51.93 mg EQ3G /100g.

Les flavonols sont généralement plus sensibles à la température, ainsi, ils tendent à diminuer aussi rapidement que la température du séchage augmente. Cela pourrait expliquer la diminution de ces métabolites dans notre présente étude.

II.3.5. Détermination de la teneur en tanins condensés "proanthocyanidines"

En raison de leur complexation avec les protéines salivaires, les tanins condensés sont responsables de l'astringence caractéristique des fruits avant maturité (raisin, pêche, pomme, poire, etc...) et de certaines boissons (vin, cidre, thé, etc...) et de l'amertume du chocolat. (Derbel et Ghedira. 2005). Les tanins favorisent la régénération des tissus en cas de blessures superficielles ou de brûlures. Ils ont un effet vasoconstricteur sur les petits vaisseaux superficiels (Bouden, 2018). Les dosages quantitatifs des tanins condensés des cinq variétés ont été déterminés.

La figure 20 résume les résultats obtenus exprimés en mg d'équivalents de cyanidine (EC) /100 g de figue.

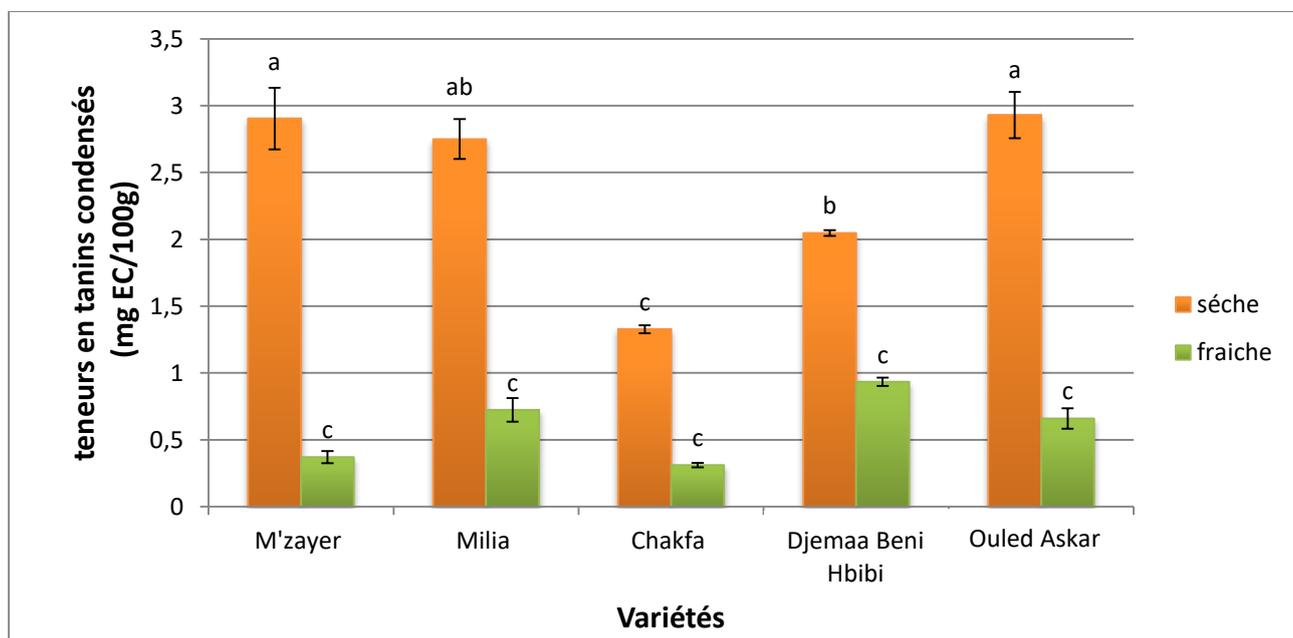


Figure 20 : Teneur en tanins condensés (mg EC/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

Les teneurs en anthocyanines des échantillons de figes analysées présentent des différences significatives entre les deux états frais et sec. En effet, à l'état frais, le contenu en tanins condensés varie entre 0.31 ± 0.017 et 0.93 ± 0.031 mg EC /100 g de figue. Après séchage, des teneurs allant de 1.33 ± 0.03 à 2.93 ± 0.17 mg EC/100 g de figue sont enregistrées. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Zemouri (2011) qui ont quantifié la teneur en tanins condensés de la figue fraîche et sèche de deux variétés de figes les plus soumises au séchage, Taamriout et Azendjelle cultivées dans la région d'Ait Smail, Béjaia. Après analyses, les résultats ont montré que la teneur en tanins condensés varie entre 156 et 163 mg EC/100g de figue fraîche et de 212 à 222 mg EC/100g pour la figue sèche.

L'augmentation après séchage peut être expliquée par la rupture de la membrane des organites cellulaires par la chaleur, donc le séchage peut accélérer la libération des tanins condensés (Arslan et Ozcan, 2010).

II.3.6. Détermination de la teneur en anthocyanines

Les anthocyanines appartiennent aussi à la classe des composés phénoliques, et sont responsables de la couleur orange, rose, rouge, violette et bleue de plusieurs fruits et légumes (Rogez et *al.*, 2011). 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).

Les teneurs en anthocyanines des différentes variétés de figes étudiées sont présentées dans la figure 21. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine-3-glucoside/100g de figue (mg EQ3G/100g).

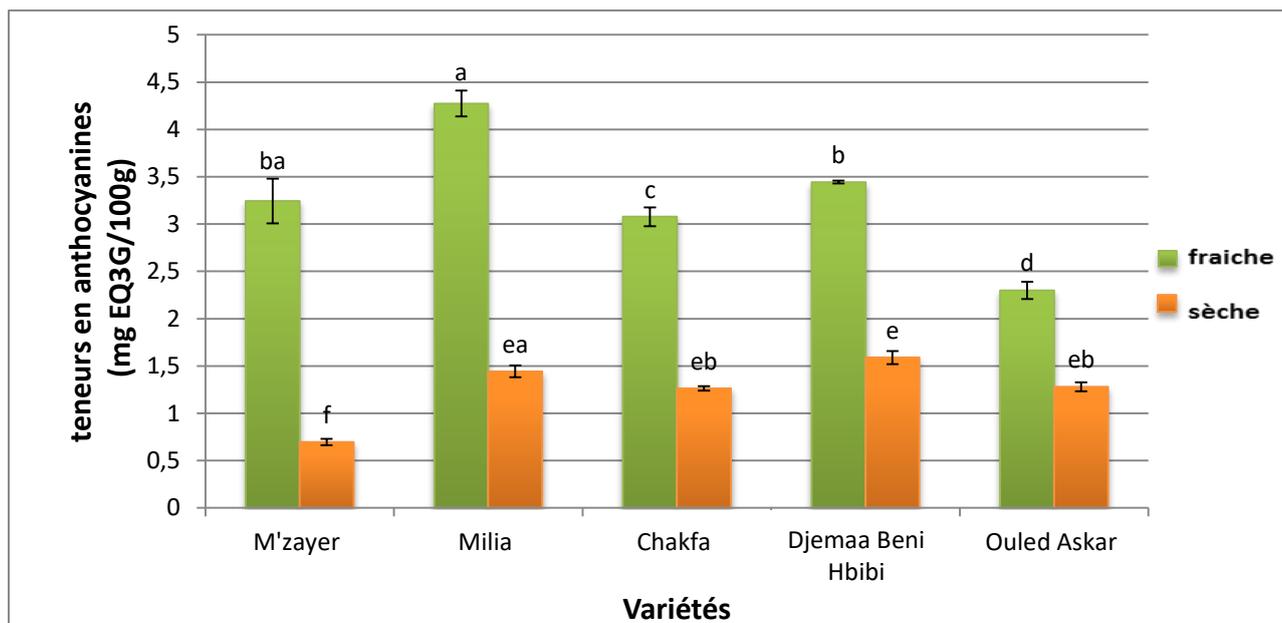


Figure 21 : Teneur en anthocyanines (mg EQ3G/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

L'estimation quantitative dans la présente étude, montre une baisse significative dans la teneur en anthocyanines après séchage. En effet, à l'état frais, le contenu en anthocyanines varie entre 2.3 ± 0.09 et 4.27 ± 0.13 mg EQ3G/100 g de figue. Après séchage, des teneurs allant de 0.69 ± 0.03 à 1.59 ± 0.07 mg EQ3G/100 g de figue sont enregistrées. Nos résultats sont appuyés par ceux rapportés 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. Aussi, Kamiloglu et Capanoglu (2015), ont indiqué une diminution en anthocyanes après séchage, ils ont enregistré des teneurs de 4.6 mg EC3G/100g et de 0.1 mg EC3G/100g pour la figue fraîche et sèche, respectivement.

Il est rapporté dans la littérature que, les anthocyanines sont d'une grande sensibilité aux températures élevées (Steyn, 2009). Ces pigments sont rapidement détruits durant le séchage (Mazza et Miniati, 1993 ; Al-Farsi et *al.*, 2005). En plus plusieurs autres facteurs tels que la lumière, le stockage et la température sont responsables de la dégradation des anthocyanines dans les fruits séchés au soleil (Shahidi et Nacz, 2004 ; Al-Farsi et *al.*, 2005). Selon Wrolstad (2004b), cette dégradation est due aux phénomènes de brunissements enzymatique et non-enzymatique. Des enzymes, tel que la glycosidase et la polyphénol oxydase sont impliquées dans la dégradation de ces composés (Shahidi et Nacz, 2004 ; Al-Farsi et *al.*, 2005). Cela pourrait expliquer donc la diminution du taux d'anthocyanines après séchage dans la présente étude.

II. 3.7. Détermination de la teneur en caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles synthétisés par les plantes. Ils sont responsables de la couleur jaune, orange et rouge (Ferreiro-Vera et *al.*, 2011).

Les dosages quantitatifs des caroténoïdes des cinq variétés ont été déterminés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (*Annexe 08*). La figure 22 résume les résultats obtenus exprimés en μg d'équivalent de β -carotène par 100g de figues ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g}$) en se référant à une courbe d'étalonnage établit avec le β -carotène.

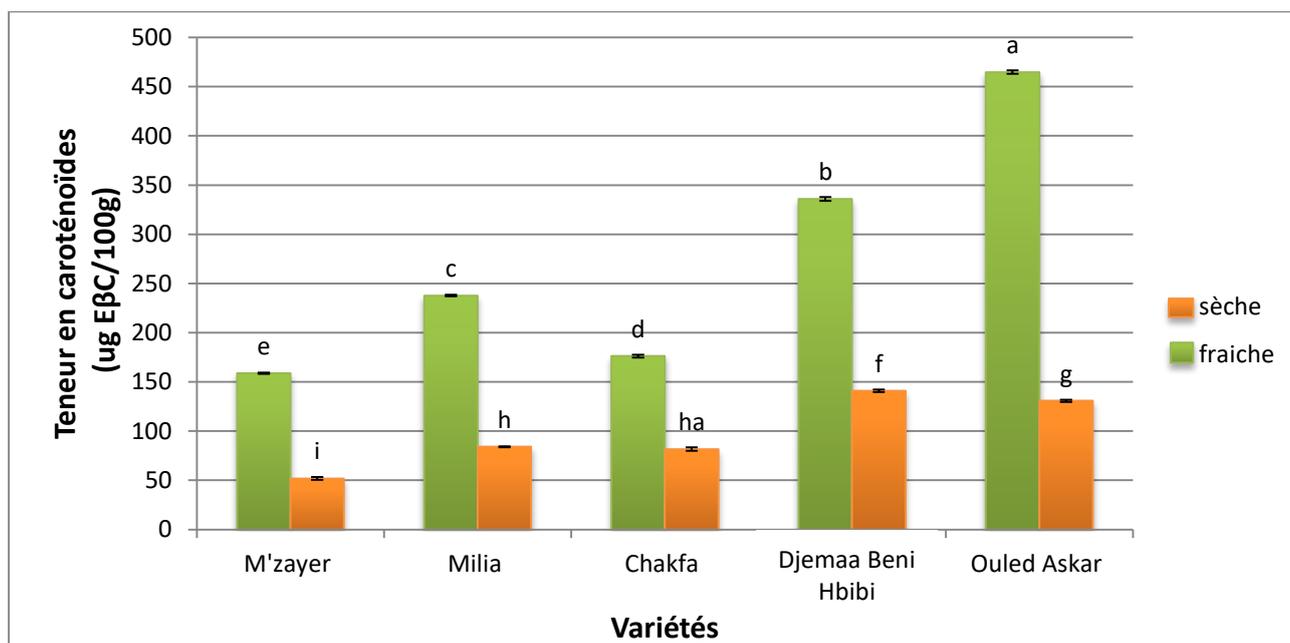


Figure 22 : Teneur en caroténoïdes ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g}$) des figues fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

D'après nos résultats, à l'état frais, les teneurs en caroténoïdes varient entre 158.78 ± 0.77 et 464.78 ± 1.74 $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100$ g de figue. Ces valeurs sont plus élevées par rapport à celles enregistrées par Aljane et Sdiri (2014) qui ont rapporté des teneurs de 0.04 à 0.56 $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100\text{g}$ de figue.

Après séchage, l'analyse statistique montre que le séchage conduit à une diminution significative dans les teneurs en caroténoïdes pour les cinq variétés de figues analysées pour atteindre une concentration de 51.88 ± 1.54 $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100$ g de figue (Variété de M'zayer).

Nos résultats concordent avec plusieurs études antérieures réalisées sur différents légumes et fruits dont les figues (Yemis et *al.*, 2012; Fratianni et *al.*, 2013; Loizzo et *al.*, 2013; Liu et *al.*, 2014). Ces études confirment que la teneur totale en caroténoïdes des fruits et légumes diminue principalement après divers traitements de séchage.

La dégradation des caroténoïdes pendant le séchage a été attribuée à leur grande sensibilité à l'oxydation. D'autant plus que les fruits et légumes sont directement exposés au soleil et à la chaleur lors du séchage au soleil, et que les réactions d'oxydation sont stimulées par la lumière et la chaleur, ce qui active les enzymes. La principale cause de perte de caroténoïdes est très probablement due à des réactions d'oxydation. De plus, par rapport aux autres procédés de transformation dont le traitement thermique, le séchage conduit à une dégradation plus importante des caroténoïdes en raison de l'augmentation de la porosité (Turkyilmaz et *al.*, 2014). En effet, lors du séchage, le caroténoïde à l'intérieur des matériaux est concentré et devient vulnérable aux effets des conditions de traitement, telles que la chaleur et une tension élevée en oxygène, principalement en raison de l'oxydation et de la destruction des doubles liaisons conjuguées dans les molécules de caroténoïde.

II.3.8. Détermination de la teneur en vitamine C

La vitamine C, ou l'acide ascorbique est un composé essentiel que l'on trouve principalement dans les fruits et légumes. Il possède des propriétés antioxydantes et même pro-oxydantes. En effet, la combinaison de l'acide ascorbique et du fer est un système oxydant conduisant à la formation de radicaux hydroxyles qui peuvent endommager de nombreux constituants cellulaires (Du et *al.*, 2012). Il a plusieurs rôles physiologiques et est impliqué dans l'élimination de carcinogènes et des nitrosamines dangereuses (Liao et Seib, 1988).

Les teneurs en vitamine C des différentes variétés de figues étudiées sont illustrées dans la figure 23. Les résultats sont exprimés en mg /100g de figue.

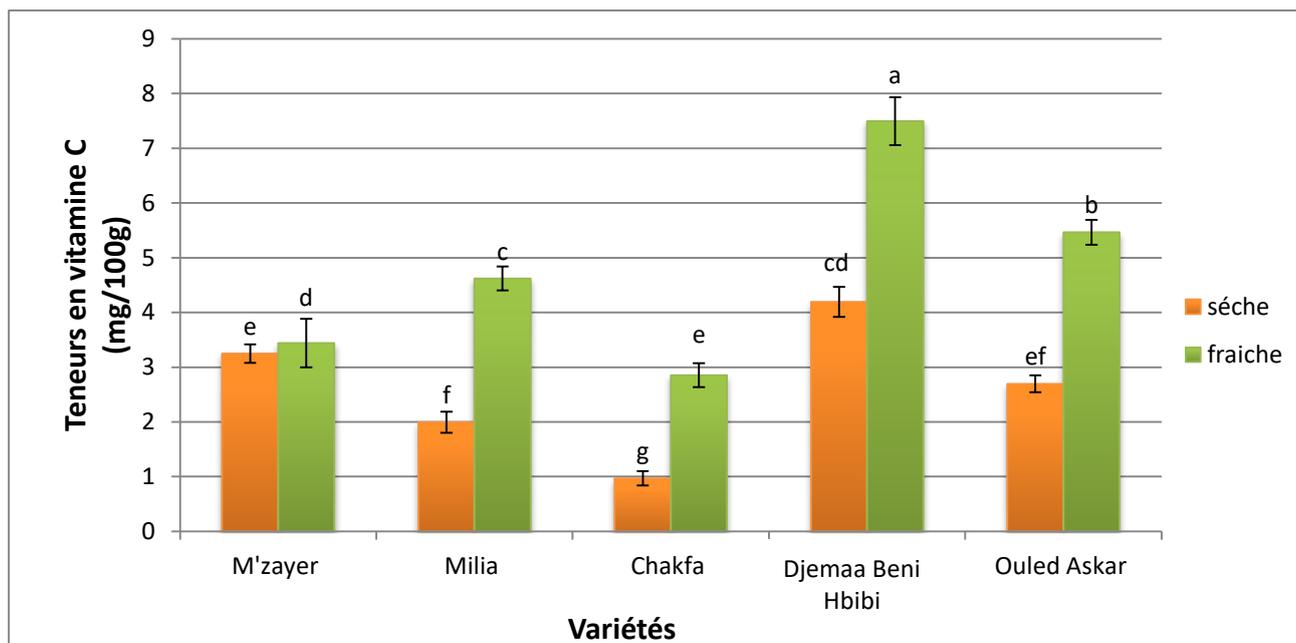


Figure 23 : Teneur en vitamine C (mg/100g) des figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

La teneur en acide ascorbique pour les variétés à l'état frais est faible et ne dépasse pas 8 mg/100 g de figue. La plus haute teneur est notée pour la variété de Djamaa Beni Hbib (7.49 \pm 0.43 mg/100 g de figue). La variété de Chakfa contient la plus faible teneur en acide ascorbique (2.85 \pm 0.22 mg/100 g).

Pour les figes sèches, la teneur maximale en acide ascorbique est de 4.19 \pm 0.27 mg/100 g de figue (variété de Djamaa Beni Hbib). La plus faible teneur est enregistrée pour la variété de Chakfa (0.97 \pm 0.13 mg/100 g de figue).

Il est bien clair, selon les résultats obtenus que le séchage provoque une diminution significative dans les teneurs en vitamine C. Cette diminution dans les concentrations en vitamine C n'est pas surprenante vu que la littérature confirme que cette dernière peut être facilement dégradée au cours des différents processus de séchage (Santos et Silva, 2008). Cette confirmation est appuyée par de nombreuses publications qui ont étudié les effets de différentes techniques de séchage sur la teneur en acide ascorbique de divers fruits et légumes: la figue (Lim, 2012), l'abricot (Garcia-Martinez et al., 2013), la tomate (Gumusay et al., 2015).

En effet, la perte générale de vitamine C pendant la plupart des méthodes de séchage appliquées pourrait être attribuée d'une part, à l'oxydation de l'acide ascorbique dans les conditions de séchage à haute température, ainsi avec l'élévation de la température, les tissus végétaux commencent à se

décomposer et libèrent les enzymes liés aux membranes ; l'acide ascorbique oxydase catalyse l'oxydation de l'acide ascorbique en acide déhydroascorbique. Ce dernier est un composé instable, se transforme rapidement en acide 2,3-dicéto-gluconique n'ayant aucune activité biologique (Leong et Oey, 2012). D'autre part, la perte peut être due à l'épuisement de ce composé en raison de son utilisation pour protéger l'oxydation des polyphénols pendant le séchage (Toor et Savage, 2006, Joshi et *al.*, 2011).

II.4. Etude de l'activité anti-oxydante

Une seule méthode n'est pas suffisante pour caractériser le pouvoir antioxydant d'un échantillon. C'est pourquoi notre choix s'est porté sur l'utilisation de trois tests chimiques à savoir; le piégeage du radical libre DPPH, la réduction de fer et le piégeage du peroxyde d'hydrogène.

II.4.1. Test du radical libre DPPH

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).

En calculant pour chaque variété de figes fraîches et sèches le pourcentage d'inhibition correspondant, nous avons établis les profils d'activité antiradicalaire présentés dans la figure 24.

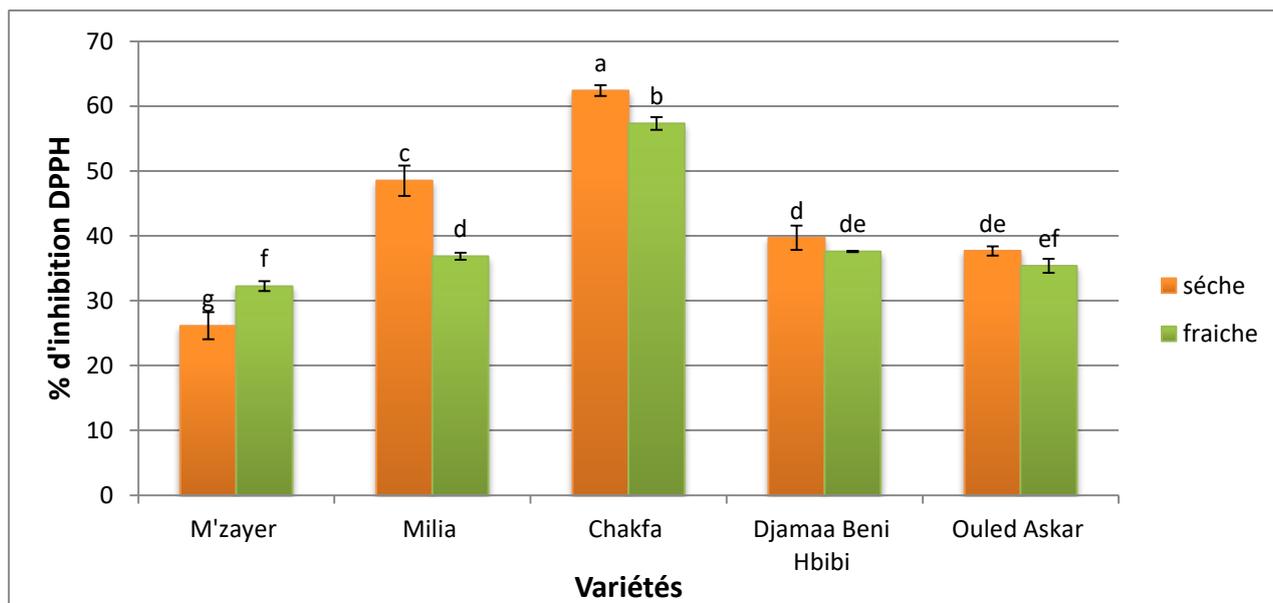


Figure 24 : Activité anti-radicalaire (%) des cinq variétés de figes fraîches et sèches, vis-à-vis du radical DPPH.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

À l'état frais, la réduction du DPPH° varie entre $32.24 \pm 0.97\%$ et $57.33 \pm 1.2\%$. La variété de Chakfa présente la meilleure activité anti-radicalaire (57.33%), suivie par la variété de Djamaa Beni Hbib (37.6%). Le plus faible pouvoir d'inhibition est enregistré par la variété de M'zayer (32.24%). Aljane (2018) en travaillant sur plusieurs variétés de figes fraîches tunisiennes a rapporté des pourcentages d'inhibition allant de 11.36% à 64.737% . Lahmadi et al. (2019) ont rapporté des pourcentages d'inhibition variant entre 11.31% et 87.03% pour des variétés de figes au Maroc.

Après séchage, l'activité anti-radicalaire des cinq variétés de figes varie entre $26.13 \pm 2.09\%$ et $62.41 \pm 0.83\%$. La variété de Chakfa présente le taux de réduction du radical DPPH le plus élevé. Nos résultats sont supérieurs à ceux de Bachir Bey et Louaileche (2015) qui ont signalé des valeurs allant de 28.33% à 35.15% pour six variétés de figes sèches claires de Béjaia. Cependant Pourghayoumi et al. (2017) ont rapporté des valeurs allant de 37.70% à 70.02% pour neuf variétés de figes sèches iraniennes.

Globalement, l'analyse statistique a montré une augmentation significative de l'activité anti-radicalaire après séchage pour la majorité des variétés étudiées à l'exception de la variété de M'zayer où une diminution du pourcentage d'inhibition est notée.

Nos résultats concordent avec le document de synthèse sur les antioxydants naturels de la figue réalisé par Arvaniti et al. (2019). Dans ce document; il a été indiqué que jusqu'à présent, il existe

des résultats controversés dans la littérature concernant le rôle du processus de séchage par soleil sur la capacité antioxydante des figes. Dans certaines études, il a été signalé que la capacité antioxydante des figes sèches était supérieure à celles des figes fraîches (Chauhan et *al.*, 2015; Kamiloglu et Capanoglu, 2015; Konac et *al.*, 2017). Ces auteurs ont attribué cette élévation de capacité antioxydante par l'augmentation de la quantité des composés phénoliques résultant du séchage qui peut s'expliquer par une plus grande extractibilité de ces composés en raison de la rupture des parois cellulaires et/ou de la libération de la séquestration (Capanoglu, 2014). Une autre explication de cette augmentation peut être les produits de réaction de Maillard, qui peuvent être formés à la suite d'un traitement thermique ou d'un stockage prolongé et qui présentent généralement de fortes propriétés antioxydantes (Nicoli et *al.*, 1999).

Tandis que dans d'autres études, il a été indiqué que la procédure de séchage au soleil réduisait la capacité antioxydante des figes (Nakilcioglu et Hisil, 2013; Bachir Bey et *al.*, 2016). Cette diminution selon ces auteurs, peut être due à une dégradation ou transformation des composés phénoliques actifs des fruits en une forme non-antioxydante après exposition au séchage ; comme elle peut être aussi la conséquence de la dégradation des flavonoïdes particulièrement les anthocyanines, et cela malgré l'augmentation du taux des composés phénoliques totaux. L'étude effectuée par Steyn (2009) démontre que la teneur en anthocyanines est étroitement liée à l'activité anti-radicalaire.

II.4.2. Pouvoir réducteur de Fer

Nous avons aussi étudié l'activité antioxydante des extraits des figes fraîches et sèches, par la méthode de réduction de fer. En effet, 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).

Les résultats exprimés en mg d'équivalents acide ascorbique/ 100g de figes sont représentés par la figure 25.

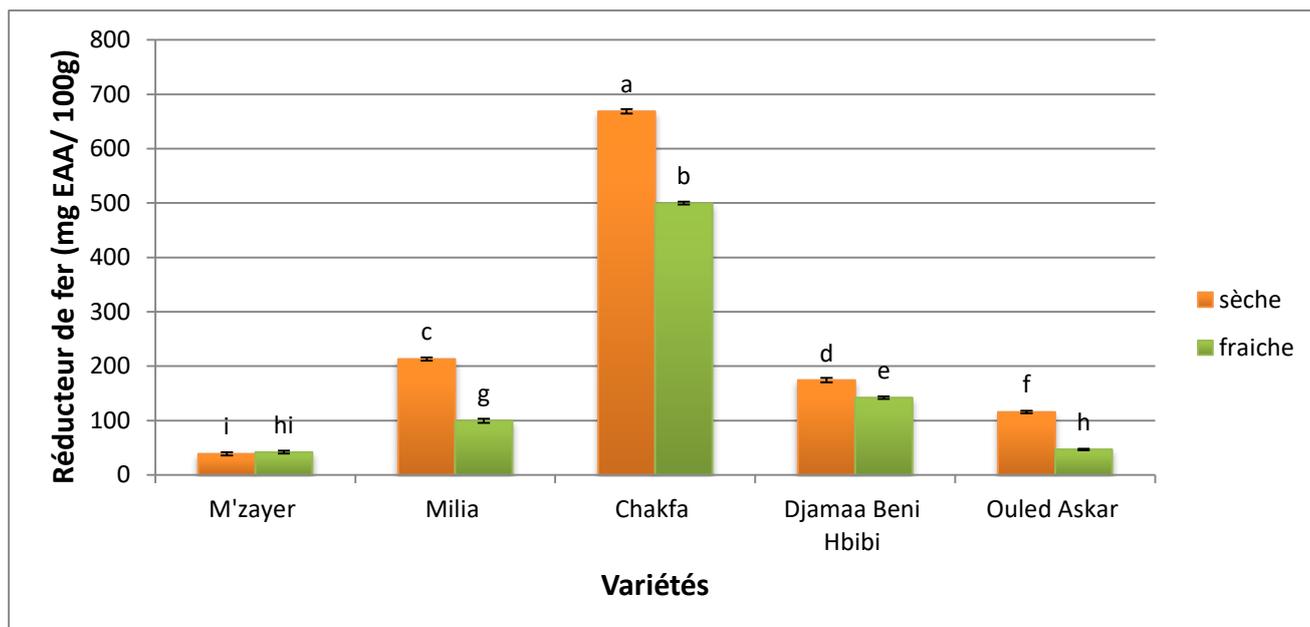


Figure 25 : Pouvoir réducteur du Fer (mg EAA/ 100g) pour les cinq variétés de figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

À l'état frais, l'activité réductrice des variétés de figes analysées varie entre 41.87 ± 1.69 mg EAA/100g (M'zayer) et 499.90 ± 0.69 (Chakfa). Shahinuzzaman et *al.* (2020) ont rapporté une valeur de 2614 ± 0.98 mg équivalent trolox/g 100 g de figes malaisiennes. Pour les variétés de figes sèches, le pouvoir réducteur de fer varie entre 38.86 ± 0.98 mg EAA/100g (M'zayer) et 668.86 ± 2.20 mg EAA/100g (Chakfa).

La méthode du pouvoir réducteur du fer (FRAP) a été adoptée dans différents travaux pour évaluer l'activité antioxydante des extraits de figes sèches dont celui réalisé par Nakilcioglu et Hisil (2013) (les résultats sont exprimés en mg du sulfate de fer / 100g MS), où ils ont signalé une activité réductrice moyenne de 222.71 mg FeSO₄/100 g d'une variété de figue en Turquie. 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 enregistré une teneur de 3578.69 mg FeSO₄/100 g de figue. Dans une autre étude réalisée par Capanoglu (2014) sur des variétés de fruits sec turques dont la figue, le taux de réduction de fer 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.

Dans l'ensemble, l'analyse statistique révèle une augmentation significative de l'activité réductrice de fer après séchage pour les quatre variétés de Milia, Chakfa, Ouled Askar et de djemaa Beni Hbib. L'augmentation de cette activité après séchage peut être expliquée par une concentration des

composés ayant une action réductrice de fer dans les figes sèches, ou par une synthèse de nouveaux composés ayant cette capacité, en réponse aux conditions du séchage (lumière, température, etc.) (Beder-Belkhiri. 2009).

La variété de M'zayer fait exception parmi toutes les variétés analysées. Une perte de l'activité réductrice de fer a été observée après séchage. La diminution de cette activité pour cette variété peut être due à la transformation des flavonoïdes à des formes glycosylées qui sont des inhibiteurs de chélation des ions métalliques (Beder-Belkhiri. 2009).

II.4.3. Test de piégeage de peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène est un agent oxydant faible et peut inactiver les enzymes directement, généralement par oxydation des groupes thiol essentiels. Il peut traverser rapidement les membranes cellulaires; une fois à l'intérieur de la cellule, il peut réagir avec les ions Fe^{2+} et Cu^{2+} pour former un radical hydroxyle. C'est peut-être à l'origine de ses effets toxiques (Ali et Dixit, 2012).

Les capacités de détoxification *in vitro* du peroxyde d'hydrogène par les différents extraits sont présentées en termes de pourcentage de piégeage de ce radical, et sont présentées par la figure 26.

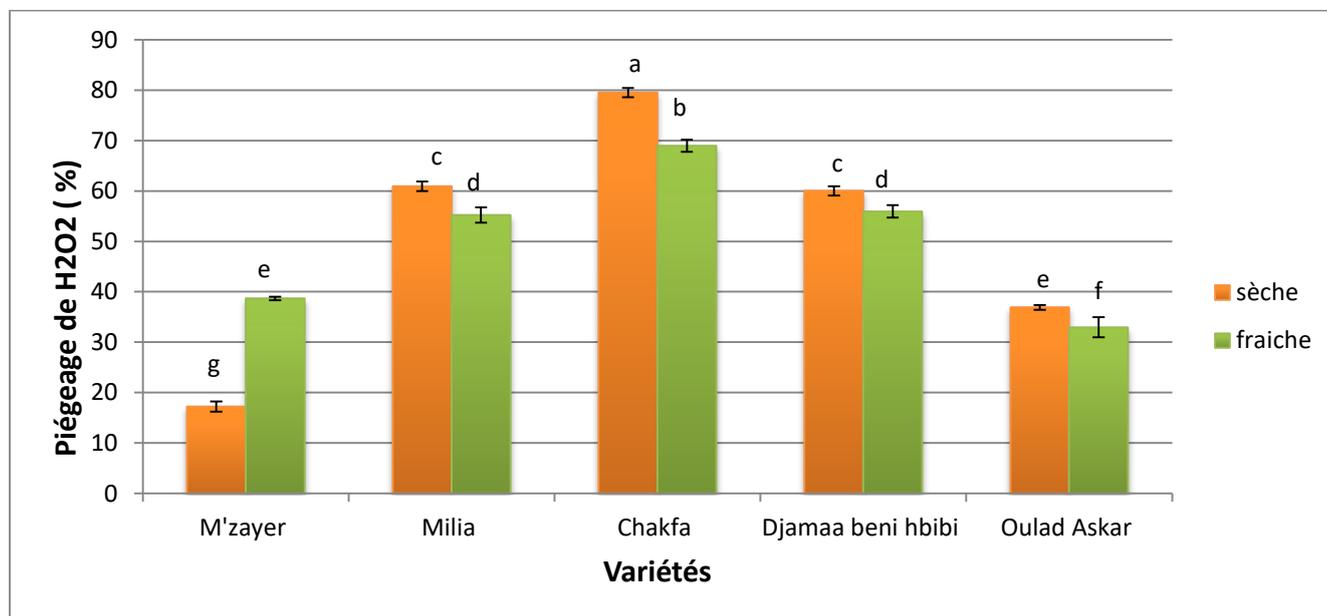


Figure 26 : Pourcentage d'inhibition du radical H_2O_2 pour les cinq variétés de figes fraîches et sèches.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes \pm écart type ($n = 3$).

Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($p < 0.05$).

À l'état frais, les activités de piégeage du peroxyde d'hydrogène des extraits des figues analysées varient entre 32.94 ± 1.98 % (Oulad Askar) et 68.98 ± 1.18 % (Chakfa). Après séchage, les activités de piégeage du peroxyde d'hydrogène des extraits varient entre 17.22 ± 0.72 % (M'zayar) et 79.56 ± 0.49 % (Chakfa).

L'analyse statistique montre une augmentation significative de l'activité de piégeage de peroxyde d'hydrogène après séchage pour la majorité des variétés étudiées à l'exception de la variété de M'zayer ou une diminution du pourcentage d'inhibition est enregistrée.

Nos résultats concordent avec les résultats de certains auteurs qui ont traité le rôle du processus de séchage par soleil sur la capacité antioxydante des figues. En effet, ces auteurs ont signalé que l'activité de piégeage de peroxyde d'hydrogène des fruits secs était supérieure à celles des fruits frais (Qusti *et al.*, 2010 ; Slatnar *et al.*, 2011 et Igual *et al.*, 2012). Ces auteurs ont attribué cette augmentation de l'activité comme étant la conséquence de formation de nouvelles molécules actives induites par le séchage tel que les produits de la réaction de Maillard connus par leur activité antioxydante (Qusti *et al.*, 2010 ; Igual *et al.*, 2012).

Cependant, la diminution de l'activité enregistrée pour la variété de M'zayer peut être expliquée par la diminution de concentration en flavonoïdes sensibles à l'élévation de la température et la lumière, et surtout la dégradation des anthocyanines dans la peau sous l'effet de séchage. Une bonne corrélation a été enregistrée entre l'activité inhibitrice et la teneur en anthocyanines dans l'étude menée par Gorinstein *et al.* (2004).

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.

Dans ce contexte notre étude a été réalisée afin d'évaluer l'effet du séchage au soleil sur quelques paramètres physico-chimiques, sur la composition en nutriments et en polyphénols, et également sur l'activité antioxydante de cinq variétés de figues de la région de Jijel (de Chakfa, de Milia, de M'zayer, de Djemaa Beni Hbib et d'Ouled askar).

En effet, le séchage au soleil a entraîné l'élimination de l'eau des fruits menant à une diminution significative à $p < 0.05$ du poids moyen, de l'humidité et de pH. Par contre une augmentation dans certains paramètres dont les cendres (de $2.12 \pm 0.17\%$ à $4 \pm 0.25\%$), l'acidité titrable (de 0.166 ± 0.005 à 0.233 ± 0.005 g AC /100 g de figue) et les éléments minéraux dont le Zn, Cu, Pb et le Cd a été enregistré.

En outre, d'après les résultats obtenus nous nous sommes constatés que la composition en nutriments est influencée positivement par le séchage au soleil. Les glucides totaux forment la plus grande part du fruit, leur teneur varie de 24.4 ± 0.23 g EGLU/100 g de figue à l'état frais, à 60.3 ± 0.15 g EGLU/100 g de figue après séchage. Egalement la teneur en protéines est influencée de manière positive. Une augmentation significative allant de 0.24 ± 0.03 à 0.32 ± 0.01 g EBSA /100 g de figue après séchage a été notée.

Concernant la composition phytochimique et particulièrement la teneur en polyphénols totaux, une augmentation significative après séchage a été enregistrée pour atteindre une valeur de 398.8 ± 2.39 mg EAG/100 g de figue.

Pour les autres métabolites secondaires, une diminution significative ($p < 0.05$) a été remarquée dans la teneur en flavonoïdes (de 22.96 ± 0.18 à 17.71 ± 0.55 mg EQ/100 g de figue), en flavonols (de 21.52 ± 0.93 à 6.42 ± 0.52 mg EQ /100g de figue), en anthocyanes (de 4.27 ± 0.13 à 1.59 ± 0.07 mg EQ3G/100 g de figue) et en caroténoïdes (de 464.78 ± 1.74 à 140.96 ± 1.41 ug E β C /100 g de figue) après séchages des cinq variétés de figue étudiées. En revanche, la teneur en proanthocyanidines (tanins condensés) a été influencée positivement par le séchage car elle a été augmentée de 0.93 ± 0.031 à 2.93 ± 0.17 mg EC/100 g de figue.

Les teneurs en acides ascorbique (vitamine C) pour les cinq variétés de figue fraîche étudiées sont faibles variant de 2.85 ± 0.22 à 7.49 ± 0.43 mg/100 g de figue. Le séchage a provoqué une diminution significative dans les teneurs qui varient de 0.97 ± 0.13 à 4.19 ± 0.27 mg/100 g.

Dans la dernière partie de notre étude expérimentale, nous nous sommes intéressés par l'étude de l'effet de séchage sur les propriétés antioxydante de nos figues. L'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des extraits a été réalisée par trois méthodes à savoir: le piégeage du radical DPPH, pouvoir réducteur du Fer et l'effet scavenger du H_2O_2 .

A cet effet, une augmentation significative du pourcentage d'inhibition du radical DPPH après séchage pour la majorité des variétés de figue étudiées (de Chekfa, Ouled Askar, Milia et de Djamaa Beni Hbib), atteignant 62.41 ± 0.83 % a été notée, à l'exception de la variété de M'zayer où une diminution de pourcentage d'inhibition a été enregistrée.

Concernant le test du pouvoir réducteur du Fer, les résultats ont montré que le séchage a influencé positivement sur cette activité. Le taux de réduction a augmenté après séchage pour atteindre une valeur de 668.86 ± 2.20 mg EAA/100g.

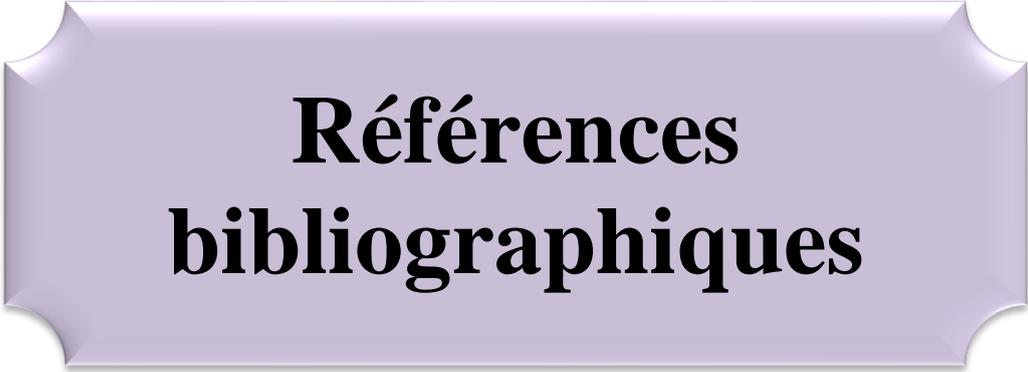
Par ailleurs, pour le test de piégeage de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), l'analyse statistique a montré une augmentation significative de l'effet scavenger après séchage pour la majorité des variétés étudiées à l'exception de la variété de M'zayer où une diminution du pourcentage d'inhibition a été enregistrée (de 39.14 ± 1.98 à 17.22 ± 0.72 %).

L'ensemble des résultats obtenus constitue une justification scientifique de l'usage traditionnel et à la valorisation des figues séchées au soleil. En effet, ces dernières constituent une bonne source alternative pour les périodes de l'année où les figues fraîches font défaut et que la variété influence la composition nutritionnelle de la figue. Consommer des figues peut donc améliorer la santé et protéger des effets néfastes des radicaux libres, responsables de nombreux désordres dans le corps, grâce à leur richesse en nutriments et en composés phénoliques et leur activité antioxydante importante quel que soit la variété.

Cependant, cette étude ne constitue qu'une étape préliminaire et il serait intéressant d'étayer ce travail par :

- La caractérisation nutritionnelle complète des figues étudiées ;
- La détermination d'autres activités biologiques *in vitro* et *in vivo*, et de contribuer à façonner une banque de données nationale concernant les différentes variétés de figue sèches existantes en Algérie ;

- La réalisation d'une étude comparative en évaluant l'impact de plusieurs procédés de séchage (au soleil, au four et aux microondes) sur les attributs de la qualité des figues à savoir la qualité physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment l'activité antioxydante.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- 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.). *Alexandria Science Exchange Journal*, VOL. 34, No.2.
- Ait Haddou, L., Blenzar, A., Messaoudi, Z., Van Damme, P., Boutkhil S., & Boukdame A. (2014). 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) No.4: pp.336-346.
- Aksoy, U., Can, H.Z., Hepaksoy, S., & Şahin, N. (2001). İncir Yetiştiriciliği, Tubitak Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi Yayınları. Fig Growing. *Turquie Agriculture Research Project Publications*. İzmir. 45 sayfa.
- 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. *Les technologies de laboratoire*.7(26):12-18.
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sundried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 7592-7599.
- Ali, H., & Dixit, S. (2012). Antioxidant Activity of Combined Extract of Some Medicinal Plants of Indian Origin. *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives*, 43–46.
- Aljane, F., Nahdi, S., & Essid, A. (2012). Genetic diversity of some accessions of Tunisian fig tree (*Ficus carica* L.) based in morphological and chemical traits. *Journal of Natural Product and Plant Resources*. 2(3): 350-359.
- 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.
- Aljane, F., & Sdiri, N. (2014). Phytochemical characteristics as affected by fruit skin color of some fig (*Ficus carica* L.) accessions from southeastern Tunisia. *Journal of New Sciences*, 35, 10-139.
- Aljane, F., Toumi, I., & Ferchichi, A. (2007). HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 6 (5): 599-602.
- Aljane, F., & Ferchichi, A. (2009). Genetic diversity of some accessions of Tunisian fig tree (*Ficus carica* L.) based in morphological and chemical traits. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 1-16.
- Al-Snafi, A. E. (2017). Nutritional and pharmacological importance of *Ficus carica*: A review. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 7 (3), 33-48.

- Amellal, H. (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes: formulation d'un yaourt naturellement, sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat en Technologie Alimentaire, Université M'hamed Bougara. Boumérdes. 127 p.
- AOAC. (1998). Official Methods of Analysis. 16th edition The Association of Official Analytical Chemists. 4th Revision, AOAC International, Gaithersburg MD, method 943.02.
- Aouane A., 2015. Contribution au génotypage par marqueur moléculaire et caractérisation morphologique de quelques cultivars locaux de figuier (*Ficus carica* L.). Mémoire de magistère, Université Hadj Lakhdar, Batna, 97 p.
- Arslan, D., & Özcan, M. M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1127.
- Arvaniti, O. S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., & Stasinakis, 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, 244-267.
- Bachi, K. (2012). Etude de l'infection de différentes variétés de figuier (*Ficus carica* L.) par la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Diptera, Trypetidae). Thèse de Magistère. Tizi Ouzou. : 114.
- Bachir Bey, M. (2015). Etude de l'effet du séchage sur les caractéristiques physico-chimiques, les propriétés antioxydantes et les profils phénoliques des variétés de figues (*Ficus carica* L.). Thèse Doctorat. Université Abderrahmane Mira, Bejaïa. 127.
- 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.
- 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.
- Badgujar, S.B., Patel, V.V., Bandivdekar, A.H., & Mahajan, R.T. (2014). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Ficus carica*: A review. *Pharmaceutical Biology, Early Online*: 1-17.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Sammam, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agriindustrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191–203.
- Barbosa-Canovas, G.V., & Vega-Mercado, H. (1996). Other methods of dehydration of foods and packaging aspects. In: “*Dehydration of Foods*”. Edited by G.V. Barbosa- Canovas G.V. & Vega-Mercado H. New York: Chapman & Hall. Pp. 289-320.
- Basunia, M.A., & Abe, T. (2001). Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. *Journal of Food Engineering*. 4:295-301.

- Bauer, W.J., Badoud, R., Ioliger, J., & Eturnaude, A. (2010). Science et technologie des aliments : principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. Lère Ed. *PPUR presse polytechniques*. Italie. 702.
- Beder-Belkhiri, W. (2009). Evaluation de l'activité antioxydante de quelques variétés de figes sèches de la région de Bejaia. thèse de magister en Sciences Alimentaires. Bejaia.
- Begum, F., Shivakrishna, P., Savya, B., Lalitha, U., Ashok, K., Hazeera, K., & Sunil, R. (2013). Wound healing activity of methanolic leaf extract of *Ficus carica* in albino rats. *International Journal of Current Research*. 5 (09): 2631-2635.
- Belaid, D. (2015). Guide Du Sécheur De figes. In : Algérie - Manuel De Séchage Des fruits. Algérie ,65p.
- Belaid, D. (2017). Algérie: La culture du figuier (Tome 1). collection Brochures Agronomiques.
- Belitz, H.D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Fruits and Fruit Products. *Food Chemistry. Edition Springer*. Pp. 807-861.
- Benettayeb, Z. (1993). Biologie et écologie des arbres fruitiers. Ed. OPU. Alger. 140p.
- Benkhelfellah, R., El Mokretar, S., MIRI, R., & Belhamelet, M. (2005). Sechoirs Solaires. Etude comparative de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires dans des modèles de type direct et indirect. 12èmes Journées Internationales de Thermique, Tanger, Maroc, 259-262.
- Berg, C. C. (2003). Flora Malesiana precursor for the treatment of Moraceae 1: the main subdivision of *Ficus*: the subgenera. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 48(1), 166-177.
- Bergeret, B. (1957). Teneur en acide ascorbique de quelques aliments du sud caméronien. Etude critique des différentes méthodes de dosage. *La revue médecine tropical*. 1957, pp 2-17.
- Berthod, A., Billardello, B., & Geoffroy, S. (1999). Polyphenols in countercurrent chromatography. An example of large scale separation. *Analisis*, 27 (9), 750-757.
- Bidri, M. (2018). Maturation précoce des figes par l'huile d'olive: Implication de la voie de signalisation de l'éthylène. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6(4), 489-493.
- Board, B. W. (1987). Contrôle de la qualité dans l'industrie du traitement des fruits et légumes. *Etude FAO: Alimentation et Nutrition (FAO) fre notas* 39, 70p.
- Boisset, M. (2017). Les « Métaux Lourds » dans l'alimentation: quels risques pour les consommateurs ? *Médecine Des Maladies Métaboliques*, 11(4), 337-340.
- Bouden, I. (2018). Etude de l'activité antiarthritique, antioxydante et antimicrobienne des extraits de *Matricaria pubescens*. Thèse de Doctorat en Sciences. Sétif.
- Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha Ssp. Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technologie. Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, n° 09/Juin 2013. Pages 14 à 19.

- Boulemtafes, A. (2011). le séchage solaire des produits agricoles, bulletin des énergies renouvelables 21, page 10-12.
- Bouzo, C.A., Travadelo, M. & Gariglio, N.F. (2012). The effect of different packaging materials on postharvest quality of fresh fig fruit. *International Journal of Agriculture and Biology*. (14): 821–825.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. (72): 248-254.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci Technol*, 28:25–30.
- Brunetone, J. (1999). Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales. 3^{ème} édition *Technique et documentation, Lavoisier*. pp.233-447.
- Caliskan, O. (2015). Mediterranean figs (*Ficus carica* L.) Functional Food Properties. In: *The Mediterranean Diet: An Evidence-Based Approach*. Ed. Elsevier, 629-627.
- Caliskan, O., & Polat, A.A. (2008). Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 115, 360-367.
- 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.
- Caliskan, O., & Polat, A.A. (2012). Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36, 179-193.
- Cao, G., Sofic, E., & Prior, R. L. (1997). Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships. *Free Radical Biology & Medicine*, 22(5), 749-760.
- Capanoglu, E. (2014). Investigating the Antioxidant Potential of Turkish Dried Fruits. *International Journal of Food Properties*, 17 (3), 690-702.
- Caraglio, Y. (2009). Le figuier, un arbre bien ancré. *Fruits oubliés*.
- 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. H., 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. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1), 1-12.
- Chan, S.W., Lee, C.Y., Yap, C.F., Wan Aida, W.M., & Ho, C.W. (2009). Optimisation of Extraction conditions for phenolic compounds from limau purut (*Citrus hystrix*) peels. *International Food Research Journal* .16: 203-213.

- 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.
- Cheyrier, V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 223S-229S.
- Chouaki, S., Bessedik, F., Chebouti, A., Maamri, F., Oumata, S., Kheldoun, S., Hamana, M., Douzene, M., Bellah, M., & Kheldoun, A. (2006). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. *Institut National De La Recherche Agronomique*, 91P.
- Codex alimentarius. (2008). Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires.
- Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs. *Off. J. Eur. Union*, pp. 5–24 L364.
- Condit, I. J. (1947). *The Fig Chronica Botanica*. Waltham, Massachusetts. p. 220.
- 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 figs (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *Scientia Horticulturae*. 45:707-710.
- Crisosto, H., Ferguson, L., Bremer, V., Stover, E., & Colelli, G. (2011). Fig (*Ficus carica* L.). In: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to Mango* (pp. 134-160e).
- Darjazi, B.B. (2011). Morphological and pomological characteristics of fig (*Ficus carica* L.) cultivars from Varamin, Iran. *African Journal of Biotechnology*. 10 (82): 19096-19105.
- Davis, C.A., Ferguson, L., & Crisosto, CH. (2007). The Fig: Overview of an Ancient Fruit. *Journal of HortScience* .vol. 42(5) august, P1084.
- 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.
- Déborah, H., & Stéphanie, O. (2008). Fraîche ou séchée, la figue est dévoilée. Haute école de santé Genève, Filière Nutrition et diététique. 1-3. Marei N. et Crane J.C. 1971. Growth and respiratory response of fig (*Ficus carica* L cv. *Mission*) fruits to ethylene. *Plant Physiology*. 48:249-254.
- 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: 715-719.
- Derbel, S., & Ghedira, K. (2005). Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie*, 3(1), 28-34.

- Dionne, J.Y. (2002). Les caroténoïdes. *Québec Pharmacies*, 48 (9): 800-804.
- Doymaz, I. (2005). Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*. (71) : 403–407.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28(3): 350-356.
- Dudez, P., Thémelin, A., & Reynes, M. (1996). Le séchage solaire petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés. Édition du Gret, Paris; 157 p.
- Dueñas, M., Pérez-Alonso, J. J., Santos-Buelga, C., & Escribano-Bailón, T. (2008). Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica L.*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2), 107-115.
- Du, J., Cullen, J.J., & Buettner, G.R. (2012). Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer. *Biochimica et Biophysica Acta*. (1826): 443-457.
- El-Agamey, A., Lowe, G. M., Mc Garvey, D. J., Mortensen, A., Phillip, D. M., Truscott, T. G., & Young, A. J. (2004). Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Archives of biochemistry and biophysics*, 430(1), 37-48..
- 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.
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.E., & Hamadi, A.(2008). Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Journal of Food Chemistry*.111: 676–682.
- 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.
- 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.
- FAO STAT. (2013). Statistiques récentes de la FAO dans le domaine relatives au secteur de la figue. Site web : www.faostat.org.
- F.A.O. (2018). Food and Agriculture Organisation. Database results; FAO-STAT. Filière Nutrition et diététique. Heds Ecole de Santé : 1-4.
- 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. Editions Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM) et Tech & Doc, L'Institut national de la recherche agronomique (INRA), 31-34.

- Farahnaky, A., Ansari, S., & Majzoobi, M. (2009). Effect of glycérol on the moisture sorption isotherms of figs. *Journal of Food Engineering*, 93, 468-473.
- Ferhoum, F. (2010). Analyses physico chimiques de la propolis locale selon les étages bioclimatiques et les deux races d'abeille locales (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*). Thèse de magister en Technologie Alimentaire. Université M'hamed Bougara. Boumerdès. 122p.
- Ferradji, A., Chabour, H., & Malek, A. (2011). Séchage solaire des figues: Bilan thermique et isotherme de désorption. *Revue des Energies Renouvelables*, 14(4), 717-726.
- Ferreiro-Vera, C., Mata-Granados, J. M., Gómez, J. Q., & de Castro, M. L. (2011). On-line coupling of automatic solid-phase extraction and HPLC for determination of carotenoids in serum. *Talanta*, 85(4), 1842-1847.
- Fратиани, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G., & Di Matteo, M. (2013). Degradation of carotenoids in apricot (*Prunus armeniaca* L.) during drying process. *Plant Foods Hum. Nutr.* 68:241–246.
- Freiman, Z.E., Victor, R., Yablovitza, Z., Batia, H., & Flaishmana, M.A. (2012). Preharvest application of 1-methylcyclopropene inhibits ripening and improves keeping quality of 'Brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*. 138:266-267.
- Frutos, P., Hervás, G., Giráldez García, F., & Mantecón, A. (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish journal of agricultural research*, 2 (2), 191-202.
- Galvano, F., La Fauci, L., Graziani, G., Ferracane, R., Masella, R., Di Giacomo, C., Scacco, A., Scacco, A., D'Archivio, M., Vanella, L., & Galvano, G. (2007). Phenolic compounds and antioxidant activity of Italian extra virgin olive oil Monli Iblei. *J. Med. Food* 10, 650-656.
- 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.
- Ganjewala, D., Boba, S., & Raghavendra, A.S. (2008). Sodium nitroprusside affects the Level of anthocyanin and flavonol glycosides in pea (*Pisum sativum* L. cv. *Arkel*) leaves. *Acta Biologica Szegediensis*, 52(2): 301-305.
- Garcia-Martinez, E., Igual, M., Mart_in-Esparza, M. E., & Martinez- Navarrete, N. (2013). Assessment of the bioactive compounds, color, and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment. *Food Bioprocess Tech.* 6:3247–3255.
- Garrone, B. (1998). Le figuier. Les écologistes de l'Euzière. 2ème édition, Presses du Midi, Montpellier. P: 111.
- Giusti, M.M., & Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F1.2.1-F1.2.13.
- Godon, B., & Loisel, W. (1997). Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed. Lavoisier Tee & Doc. 346-354.
- Gorinstein, S., Cvikrova, M., Machackova, I., Haruenkit, R., Park, Y.S., Jung, S.J., Yamamoto, K., Martinez Ayala, A.L., Katrich, E., & Trakhtenberg, S. (2004). Characterization of

- antioxydant compounds in Jaffa sweets and white grapefruits. *Food Chemistry*. (84): 503-510.
- Gozlekci, S. (2011). Pomological traits of fig (*Ficus carica L.*) genotypes collected in the west Mediterranean region in Turkey. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(4): 646- 652.
- Gramza, A., & Korczak, J. (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis L.*) as antioxidants in lipid systems. *Trends in Food Science and Technology*, 16: 351-358.
- Grigoras, C-G. (2012). Valorisation des fruits et des sous-produits de l'industrie de transformation des fruits par extraction des composés bioactifs. Thèse Doctorat. Université de Vasile Alecsandri, Bacau. 225.
- Gülçin, İ., Oktay, M., İrfan, K. Ö., & Aslan, A. (2002). Determination of antioxidant activity of lichens *Cetraria islandica (L)* Ach. *Journal of Ethnopharmacology*, 79: 325-329.
- Gumusay, O. A., Borazan, A. A., Ercal, N., & Demirkol, O. (2015). Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food Chem.* 173:156–162.
- 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. *Research Journal of Biological Sciences*, 4 (3), 320-323.
- Hadj Sahraoui, K. (2014). Etude sectorielle arboriculture fruitière et de la vigne : filière arboriculture fruitière. Realagro : Actualité, fiche technique, réglementation. décembre 22, 2014).
- Haesslein, D., & Oreiller, S. (2008). Fraîche ou séchée, la figue est dévoilée. Filière Nutrition et diététique, Haute école de santé, Genève, 1-4.
- Harlan, J.R. (1975). Crops and Man. American Society of Agronomy, Madison. 295 pp.
- Hollman, P.C., Hertog, M.G.L., & Katan, M.B. (1996). Analyse and health effects of flavonoids. *Food Chemistry*, 57, 43-46.
- 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.
- 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.
- Huang, W.Y., CAI, Y.Z., Corke, H., & Sun, M. (2010). Survey of antioxidant capacity and nutritional quality of selected edible and medicinal fruit plants in Hong Kong. *Journal of Food Composition and Analysis*. (23): 510-517.
- Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M.E., & Martínez-Navarrete, N. (2012). Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International*. (47): 284-290.
- 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.

- Ioannou, I., Hafsa, I., Hamdi, S., Charbonnel, C., & Ghoul, M. (2012). Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behaviour. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 208–217.
- Institut National De La Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). (2006). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. Algérie, 92 p.
- IPGRI and CIHEAM. (2003). Descriptors for Fig. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Paris, France. ISBN 92-9043-598-4.
- ISO 750. (1998). Determination of titratable activity: fruit and vegetable products (2nd edition). International Standard Organisation, Genève, Suisse. pp. 1-4.
- James, I. F., & Kuipers, B. (2003). La conservation des fruits et des légumes (Fruits and vegetables conservation). Fondation Agromisa. Agrodok No. 3. Wageningen. The Netherlands. ISBN Agromisa: 978-90-77073-30-8.
- Jiang, L., Shen, Z., Zheng, H., He, W., Deng, G., & Lu, H. (2013). Noninvasive evaluation of fructose, glucose, and sucrose contents in fig fruits during development using chlorophyll fluorescence and chemometrics. *Journal of Agricultural Science and Technology*. (15): 333-342.
- Jimoh, F.O., Adedapo, A.A., & Afolayan, A.j. (2010). Comparison of the nutritional value and biological activities of the acetone, methanol and water extracts of the leaves of *Solanum nigrum* and *Leonotis leonurus*. *Food and Chemical Toxicology*. 48: 964-971.
- Joseph B. et Justin Raj S. 2011. Pharmacognostic and phytochemical properties of *Ficus carica* Linn—An over view. *International Journal for Pharmaceutical Research*. 3(1):08-12.
- Joshi, A. P. K., Rupasinghe, H. P. V., & Khanizadeh, S. (2011). Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. *J. Food Process. Preserv.* 35:453–457.
- Kader, F., Rovel, B., & Metche, M. (1993). Role of invertase in sugar content in high bush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, (26): 593-595.
- Kahrizi, D., Molsaghi, M., Faramarzi, A., Yari, k., Kazemi, E., Farhadzadeh, A.M., Hemati, S., Hozhabri, F., Asgari, H., Chaghamirza, k., Zebarjadi, A., & Yousof, N. (2012). Medicinal Plant in Holy Quran. *American Journal of Scientific Research*. (42): 62-71.
- Kakhniashvili, T.A., Kolesnik, A.A., Zherebin, Yu L., & Golubev, V.N. (1987). Liposoluble pigments of the *Ficus carica*. *Plenum Publishing Corporation*, 4: 508-509.
- 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.
- Karathanos, V.T., & Belessiotis, V.G. (1997). Sun and artificial airdrying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*. 31:35-46.
- 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.

- Khan, M.N., Sarwar, A., Adeel, M., & Wahab, M.F. (2011). Nutritional evaluation of *Ficus carica* indigenous to Pakistan, *Afr. J. Agric. Nutr. Dev.* 11 (2011) 5187–5190.
- Khatib, S., & Vaya, J. (2010). Fig, Carob, Pistachio and Health. Chapter 17: Effects of Individual Vegetables on Health. In: *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits And Vegetables*. Edition Elsevier Inc. Pp 245-263.
- Kjellberg, F., Aljibouri, A., & Valdeyron, G. (1983). Observations récentes sur la pollinisation du figuier. *Fruits*, 38 (7-8) :567-569.
- Kjellberg, F., & Valdeyron, G. 1984. The pollination of the fig tree (*Ficus carica* L.) and its control in horticulture. *Acta Oecologica* 5:407-412.
- Kolesnik, A. A., kakhniashvili, T.A., Zherebin, Y. L., Golubev, V. N., & Pilipenko, L. N. (1987). Lipids of the fruit of *Ficus carica*. *Plenum Publishing Corporation Ukraine*, 394-397.
- Konak, R., Kosoglu, I., & Yemencioğlu, 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.
- Kowalczyk, E., Krzesinski, P., Kura, M., Szmigiel, B. & Blaszczyk, J. (2003). Anthocyanins in medicine. *Polish Journal of Pharmacology*, 55: 699-702.
- Lacaille-Dubois, M.A., & Wagner, H. (1996). Importance pharmacologique des dérivés polyphénoliques. *Acta botanica gallica*, 143(6), 555-562.
- Lacroix, M. (2008). Variations qualitatives et quantitatives de l'apport en protéines laitières chez l'animal et l'homme : implications métaboliques. Thèse doctorat d'Agro Paris Tech.
- Lahmadi, A., Filali, H., Samaki, H., Zaid, A., & Aboudkhil, S. (2019). Phytochemical screening, antioxidant activity and inhibitory potential of *Ficus carica* and *Olea europaea* leave. *Bioinformation*, 15(3), 226.
- Lansky, E. P., Paavilainen, H. M., Pawlus, A. D., & Newman, R. A. (2008). *Ficus* spp.(fig): Ethnobotany and potential as anticancer and anti-inflammatory agents. *Journal of Ethnopharmacology*, 119, 195-213.
- Lansky, E.P., & Paavilainen, H.M. (2011). Traditional herbal medicines for modern times: Figs the Genus *Ficus*. ED. Taylor and Francis Group, *LLC Chemical Rubber Company Press*, 357.
- Lean, M. E., Noroozi, M., Kelly, I., Burns, J., Talwar, D., Sattar, N., & Crozier, A. (1999). Dietary flavonols protect diabetic human lymphocytes against oxidative damage to DNA. *Diabetes*, 48(1), 176-181.
- Leong, S.Y., & Oey, I. (2012). Effect of endogenous ascorbic acid oxidase activity and stability on vitamin C in carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus*) during thermal treatment. *Food Chemistry*. (134): 2075-2085.
- Leroy, J-F., (1968). Les fruits tropicaux et subtropicaux. Institut français de la recherche fruitière outre-mer. 1ère édition. Presse universitaire de France. Pp 7-50.
- Liao, M.L., & Seib, P.A. (1988). Chemistry of L-ascorbic acid related to foods. *Food Chemistry*. (30): 289-312.

- Li, B.B., Smith, B., & Hossain, M.M. (2006). Extraction of phenolics from citrus peels II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology* .48: 189-196.
- Librandi, A.P.L., Chrysostomo, T.N., Azzolini, A.E.C.S., Recchia, C.G.V., Uyemura, S.A., & De Assis-Pandochi, A.I. (2007). Effect of the extract of the tamarind (*Tamarindus indica*) fruit on the complement system: studies in vitro and in hamsters submitted to a cholesterol-enriched diet. *Food and Chemical Toxicology*. (45): 1487-1495.
- Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., chen, F., & Tian, Y. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fraction of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102:771-776.
- Lim, T.K. (2012). Edible medicinal and non-medicinal plants: *Ficus carica*. Moraceae. Volume 3, *Fruits. Edition Springer Sciences Media B.V.* Pp 362-376.
- Liu, Y., Wu, J., Miao, S., Chong, C., & Sun, Y. (2014). Effect of a modified atmosphere on drying and quality characteristics of carrots. *Food Bioprocess Tech.* 7:2549–2559.
- Lo Turco, V., Giorgia Potortib, A., Tropeac, A., Dugoa, G., & Di Bellaa, G. (2020). Element analysis of dried figs (*Ficus carica L.*) from the Mediterranean areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 90 (2020) 103503.
- Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., De Luca, D., O'Brien, N., Menichini, F., & Tundis, R. (2013). Influence of drying and cooking process on the phytochemical content, antioxidant and hypoglycaemic properties of two bell *Capsicum annum L.* cultivars. *Food Chem. Toxicol.* 53:392–401.
- Mahmoudi, S., Khali, M., Benkhaled, A., Boucetta, I., Dahmani, Y., Attallah, Z., & Belbraouet, S. (2018). Fresh figs (*Ficus carica L.*): Pomological characteristics, nutritional value, and phytochemical properties. *European Journal of Horticultural Science*, 83(2), 104- 113.
- Mamouni, A. (2002). Caprification : Potentialités et contraintes pour la production de figes sèches. In : Narjisse, H. Production de Figes : perspective pour la commercialisation des figes sèches. Maroc, 42-51p.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 230S-242S.
- 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.
- 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.
- Mathioulakis, E., Karathanos, V., & Belessiotis, V. (1998). Simulation of air movement in dryer by computational fluid dynamics: Validation for the drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, 36:183-200.
- Mauri, N. (1952). Les figuiers cultivés en Algérie. Documents et renseignements agricoles, bulletin n°105, Alger.57P.
- Mazza, G., & Miniati, E. (1993). Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains. *CRC Press: Boca Raton FL. London, Tokyo* 1993. Preis: 144.— £.
- Meziant, L. (2014). Etude de l'effet du séchage sur les caractéristiques physico-chimique et l'activité antioxydante de neuf variétés de figes (*Ficus carica L.*). Thèse magister, Université Abd Errahmane Mira (Bejaia), 108 p.
- Mueller-Harvey, I., & Mc Allan, A.B., (1992). Tannins: their biochemistry and Nutritional properties . *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*,1, 151-217p.
- Nicoli, M. C., Anese, M. & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 10:94–100.
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of chromatography A*, 1054(1-2), 95-111.
- Nakilcioglu, E., & Yasar HISIL, Y. (2013). Research on the phenolic compounds in sarilop (*ficus Carica I.*) Fig variety. *journal of Arastirma*, 38 (5): 267-274.
- NF V 05-113, (1972). Produits de l'agriculture fruits, légumes et leurs produits dérivés minéralisation des matières organiques par incinération. Homologuée par arrêté du 23-6-72 J. O. du 30-6-72.
- Oliveira, A.P., Valentão, 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), 2841-2846.
- Omokolo, N.D., Nankeua, D.J., Niemenaka, N., & Djocgoue, P.F. (2002). Analysis of amino acids and carbohydrates in the cortex of nine clones of *Theobroma cacao L.* in relation to their susceptibility to *Phytophthora megakarya*. *Bra. And Grif. Crop Protection.* (2): 395-402.
- Ouaouich, A., & chimi, H. (2005). Guide de sécheur de figes. Organisation des Nations Unies pour le développement industriel, 1ère édition Copyright, Rabat.
- Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., & Louaileche, H. (2012). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT-Food Science and Technology*, 49(2), 329-332.
- Oukabli, A. (2003). Le figuier un patrimoine génétique diversifier à exploiter Unité de recherche sur l'Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-génétiques INRA, Centre Régional de Meknès. N° 106.

- Oukabli, A., & Mamouni, A. (2008). Fiche Technique figuier (*Ficus Carica* L.), installation et conduite technique de la culture. Institut de la recherche agronomique, Maroc. *Acta Horticulturae*. 605:69-75.
- Ozeker, E., & Isfendiyaroglu, M. (1998). Evaluation of table fig cultivars in Cesmepeninsula. *Acta Horticulturae*. (480): 55-60.
- Pande, G., & Akoh, C.C. (2010). Organic acids, antioxydant capacity, phenolic content and lipid characterisation of Georgia-grown underutilized fruit crops. *Journal of Food Chemistry*, 120, 1067-1075.
- Patil, V.V., & Patil V.R. (2011). *Ficus carica* Linn: An Overview. *Research Journal of Medicinal Plant*, 5 (3), 246-253.
- Perdue, R.E., & Hartwell, J.L. (1969). The search for plant sources of anticancer drugs. *Morris Arboretum Bulletin*. 20:35-53.
- Picaud, D. (2017). Oligo-Éléments : Excès, Carences Et Conseil Officinal. Thèse De Docteur En Pharmacie. Université De Limoges.
- 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., Kamer, B.O., Agabbiol, M., & Aksoy U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): Drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science and Technology*. 39:793-799.
- Ponelope O. (1997). 100 great natural remedies: using healing plants at home. Kyle Cathic. 98-99.
- Pontappidan A. (1997). Le figuier. Le nom de l'arbre. 1ère édition, Actes sud, France.
- 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.
- Qusti, S.Y., Abo-Khatwa, A.N., & Bin Lahwa, M.A. (2010). Screening of antioxidant activity and phenolic Content of Selected Food Items Cited in the Holly Quran. *E-Journal of Biological Sciences*, 2 (1): 40-51.
- Ramulu, P., & Rao, P. U. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of food composition and analysis*, 16(6), 677-685.
- 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.
- Remesy, C., Manach, C., Demigne, C., Texier, O., & Regeat, F. (1996). Intérêt nutritionnel des flavonoïdes. *Médecine & Nutrition*, (32) 1: 17-27.
- Riberau-Gayon, P. (1968). Propriétés chimiques des phenols. Application aux produits naturels. In: Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod. 28-157.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Bolwell, P.G., Bramley, P.M., & Pridham, J.B. (1995). The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*, 22, 375-383.

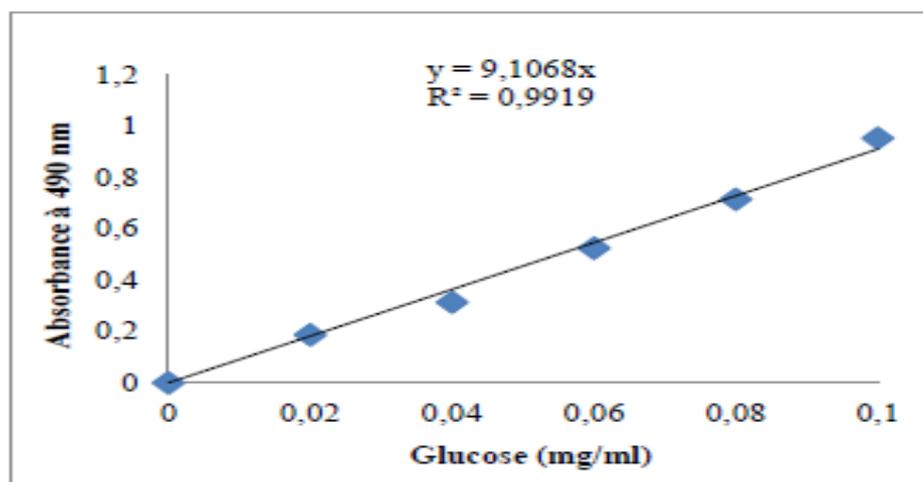
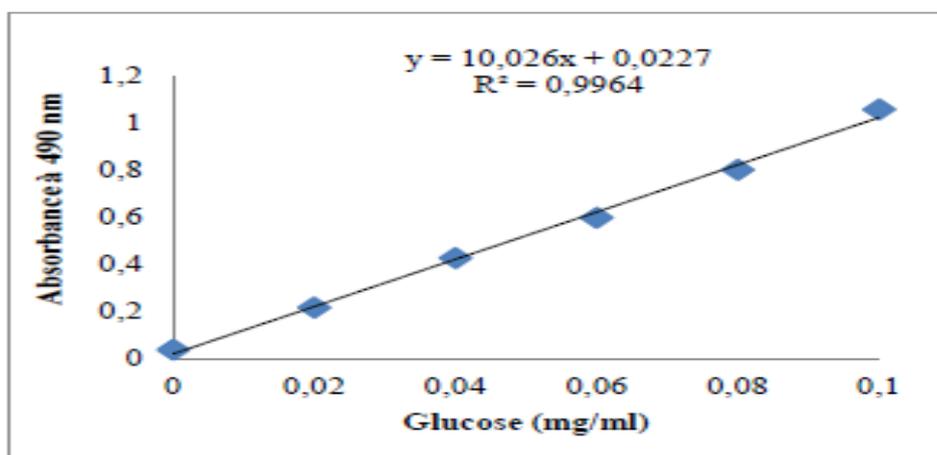
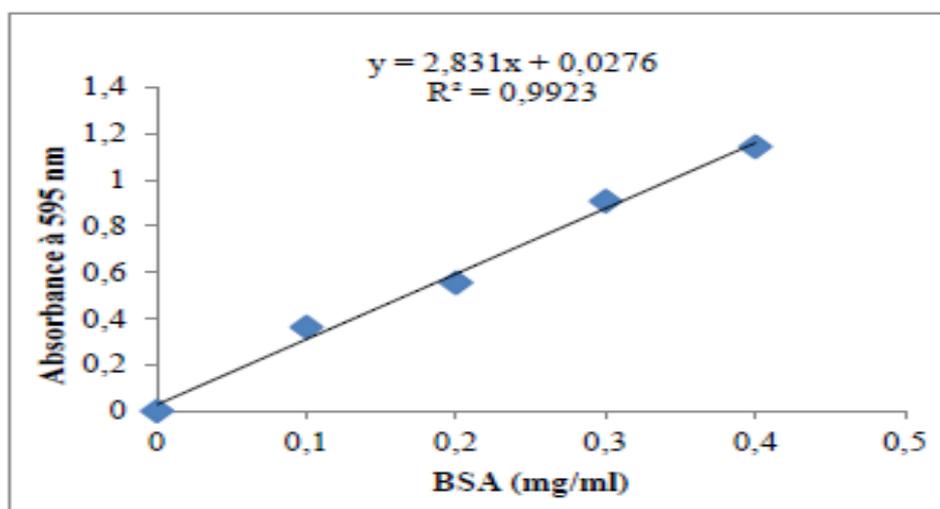
- Richter, G. (1993). Métabolismes des végétaux « physiologie et biochimie ». Edition: Presse polytechnique et universitaires Romandes, P: 317- 339.
- Robards, K. (2003). Strategies for the determination of bioactive phenols in plants, fruit and vegetables. *Journal of chromatography A*, 1000(1-2), 657-691.
- Rodier, J. (1997). L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer .8ème Ed. Dunod. France. 57-65.
- Roger, L. (2008). C'est quoi une fibre ?. *Lrbeva Nutrition*. 10-14.
- Rogez, H., Pompeu, D. R., Akwie, S. N. T., & Larondelle, Y. (2011). Sigmoidal kinetics of anthocyanin accumulation during fruit ripening: a comparison between açai fruits (*Euterpe oleracea*) and other anthocyanin-rich fruits. *Journal of food Composition and Analysis*, 24(6), 796-800.
- Ruch, R.J., Cheng, S.J., & Klaunig, J.F. (1989). Prevention of cytotoxicity and inhibition of intercellular communication by antioxidant catechins isolated from Chinese green tea. *J. Carcinog.* 10(3):1003–1008.
- Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables-A review. *Drying Technol.* 26:1421– 1437.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotary, P., Kerek, M.M. & Toth-Makus, M. (2005). Differences in anthocynin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38:1023-1029.
- Sen, F., Meyvacı, 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): 28-33.
- Shahidi, F., & Naczki, M. (2004). Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press: Boca Raton FL. 565 p.
- Shahinuzzaman, M., Yaakob, Z., Anuar, F. H., Akhtar, P., Kadir, N. H. A., Hasan, A. K. M.,& Akhtaruzzaman, M. (2020). In vitro antioxidant activity of *Ficus carica* L. latex from 18 different cultivars. *Scientific Reports*, 10(1).
- 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.
- Silva, L. C., Harder, M. N., Arthur, P. B., Lima, R. B., Modlo, D. M., & Arthur, V.(2009). Physical-chemical characteristics of figs (*Ficus carica*) preready to submitted to ionizing radiation. *International Nuclear Atlantic Conference*, 41(26),1-9.
- Simmonds, M-S-J. (2003). Flavonoid—insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*, 64: 21-30.

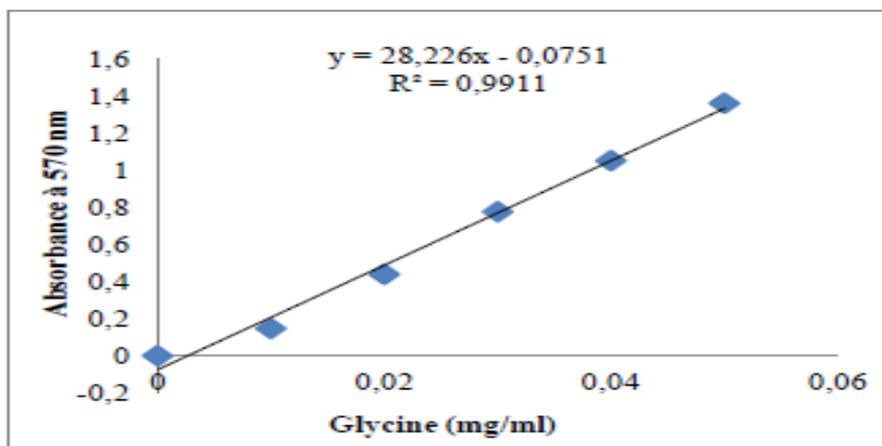
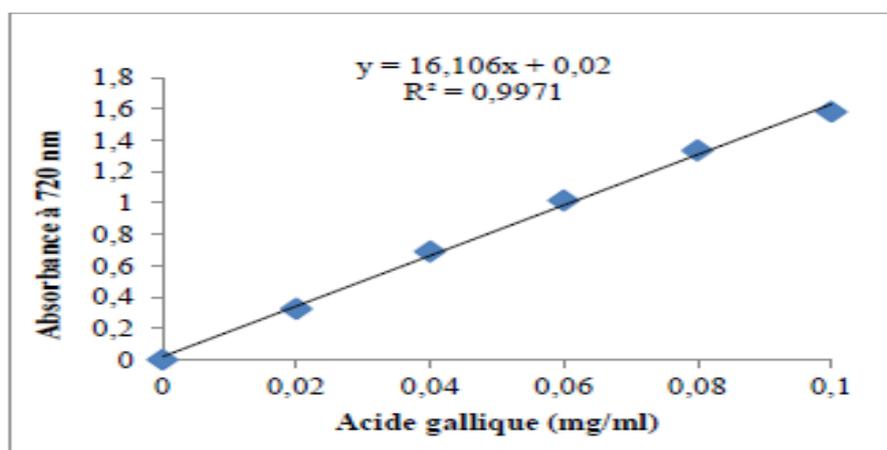
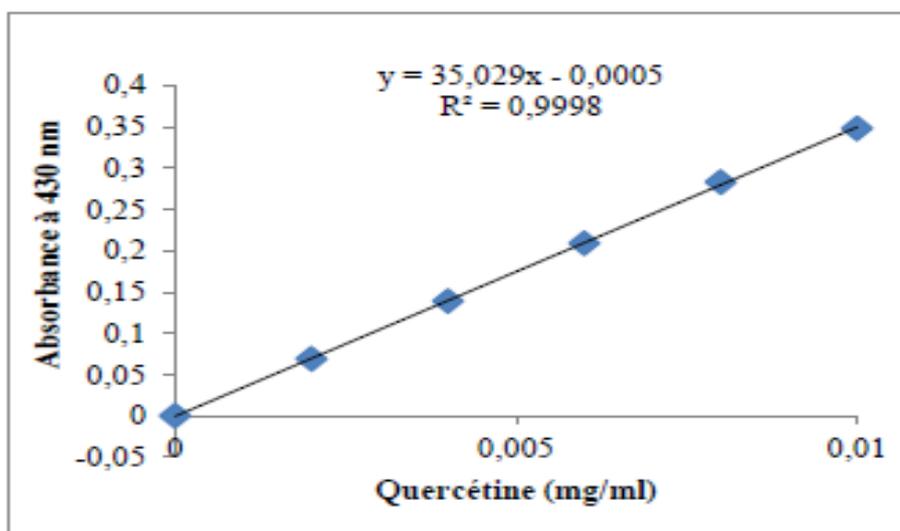
- Sirisha, S., Sreenivasulu, M., Sangeeta, K., & Chetty, C. M. (2010). Antioxidant properties of *Ficus* species: a review. *International Journal of Pharmacy and Technical Research*, 2 (4), 2174-2182.
- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F., & Veberic, R. (2011). Effect of Drying of *Figs (Ficus carica L.)* on the Contents of Sugars, 2 Organic Acids, and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (59): 11696-11702.
- 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.*). *Journal of Agricultural Food Chemistry*. (54): 7717-7723.
- Soltana, H., Tekaya, M., Amri, Z., El-Gharbi, S., Nakbi, A., Harzallah, A., Mechri, B., & Hammami, M. (2016). Characterization of fig achenes' oil of *Ficus carica* grown in Tunisia. *Food Chemistry* Vol.196 pp.1125-1130 ref.45.
- Soni, N., Mehta, S., Satpathy, G., & Gupta, R.K. (2014). Estimation of nutritional, phytochemical, antioxidant and antibacterial activity of dried fig (*Ficus carica*). *J.Pharmacogn. Phytochem.* 3, 158–165.
- Spigno, G., Tramelli, L., & De 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. *Haleakala Field Station, Maui, Hawaii*, 1-6.
- Steyn, W.J. (2009). Prevalence and Functions of Anthocyanins in Fruits. Chapitre 4. In: Gould K. et al., Anthocyanins. *Springer Sciences Media*. Pp 85-105.
- Storey, W. B. (1975). Fig *Ficus carica (Moraceae)*. In: Evolution of Crop Plants. (Simmonds, N. W., Ed.). Longman, London New York. 205–8.
- Takahashi, T., Okiura, A., Saito, K., & Kohno, M. (2014). Identification of phenylpropanoids in fig (*Ficus carica L.*) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62: 10076–10083.
- 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.
- Thibault, J.F., & Ralet, M.C. (2001). Pectins: Their origin, structure and functions. Dans: Advanced Dietary Fibres. Mc Cleary, B.V. and Prosky L., Eds. *Oxford Blackwell Science*,32, 369 - 378.
- Tomas-Barberan, F-A., & Clifford, M-N. (2000). Dietary hydroxyl benzoique derivatives nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1024-1032.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chem.* 94:90–97.
- Trad, M., Gaaliche, B., Renard, C.M.G.C., & Mars M. (2012). Quality Performance of “Smyrna” Type Figs Grown under Mediterranean Conditions of Tunisia. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*. 2 (3): 139-146.

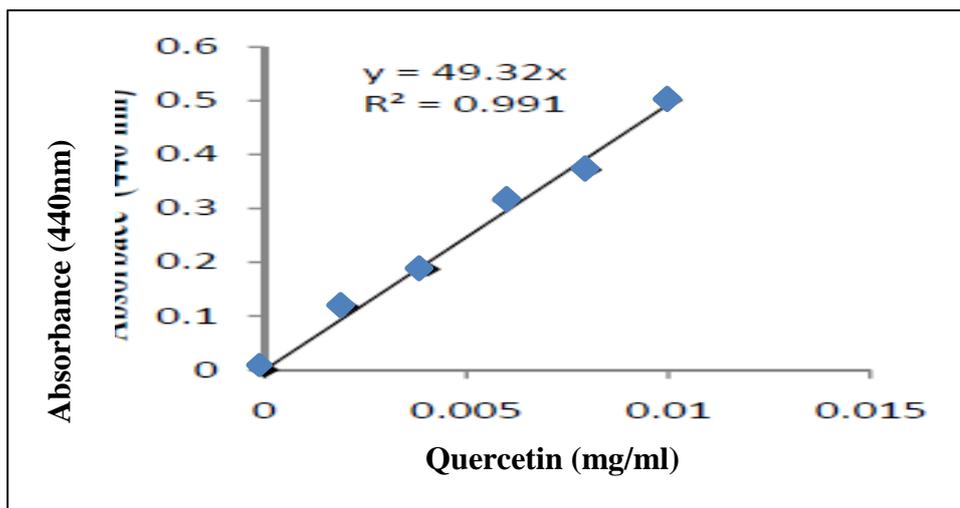
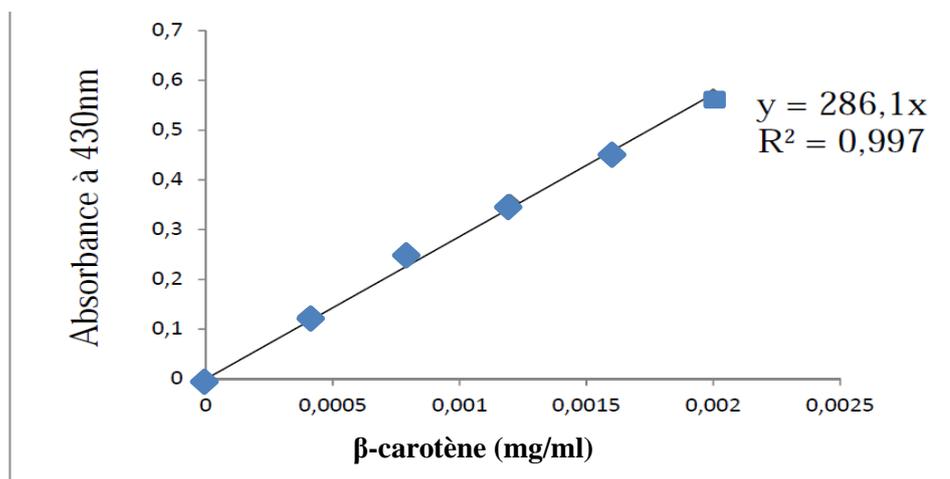
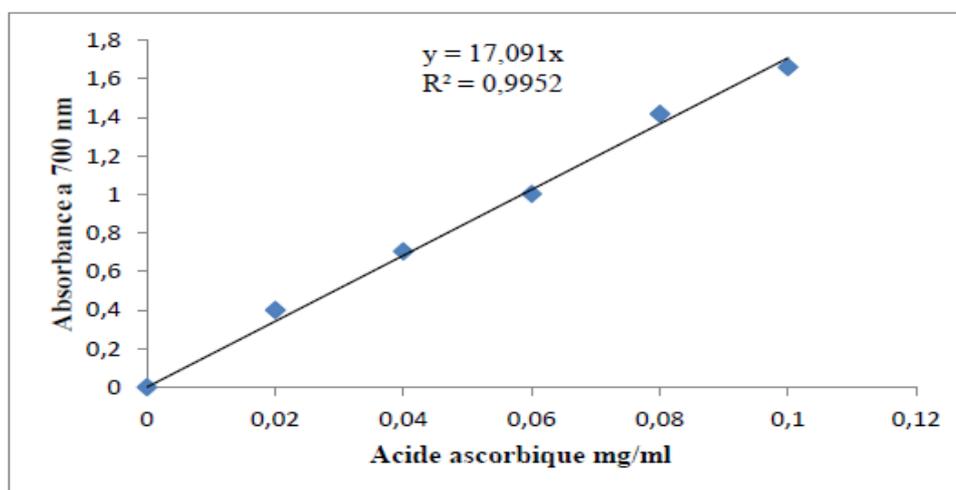
- Treutter, D. (2006). Significance of flavonoids in plant resistance: A review. *Environmental Chemistry Letter*, 4(3), 147–157.
- Trifunsi, S.I., Munteanu, M.F.F., Ardelean, D.G., Orodani, M., OSSER, G.M., & Gligor, R.I. (2015). Flavonoids and polyphenols content and antioxidant activity of *Ficus carica* L. extracts from Romania. *Journal for Natural Science*, n° 128, 57-65.
- Turkyilmaz, M., Ozkan, M., & Guzel, N. (2014). Loss of sulfur dioxide and changes in some chemical properties of Malatya apricots (*Prunus armeniaca* L.) during sulfuring and drying. *J. Sci. Food Agric.* 94:2488–2496.
- Uma, D.B., Ho, C.W., & Wan Aida, W.M. (2010). Optimization of extraction parameters of total phenolic compounds from Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves. *Sains Malaysiana*, 39:119-128.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) - Standard, DDP-14, concerning the marketing and commercial quality control of Dried Figs. United Nations Edition. New York and Geneva.2004.
- Veberic, R., Colaric, M., & Stampar, F. (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food chemistry*, 106(1), 153-157.
- Vermeris, W., & Nicholson, R. (2006). Phenolic compound biochemistry. *Dordrecht, Netherlands: Springer*. ISBN:978-1- 4020-5163-7.
- Vidaud, J. (1997). Le figuier monographie du CTIFL (centre technique interprofessionnel des fruits et légumes). (Paris) 263-267 p.
- Vinson, J. A., Dabbagh, Y. A., Serry, M. M., & Jang, J. (1995). Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an in vitro oxidation model for heart disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(11), 2800-2802.
- Vinson, J.A. (1999). The Functional Food Properties of Figs. *Cereal Foods World. 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.
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R.L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45: 304-309.
- Wang, Z .W., Yuanyuan, C., Vainstein,V., Shangwu ,C., & Huiqin ,Ma. (2017). Regulation of Fig (*Ficus carica* L.) Fruit Color: Metabolomic and Transcriptomic Analyses of the Flavonoid Biosynthetic Pathway. *Frontiers in Plant Science* | www.frontiersin.org. Volume 8, article 1990.
- Watson L, Dallwitz MJ (2004). The Families of Flowering Plants: Description, Illustration, Identification, and Information Retrieval. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>.
- Wrolstad, R. E. (2004a). Anthocyanin pigments—Bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*, 69(5), C419-C425.
- Wrolstad, R.E. (2004b). Interaction of natural colors with other ingredients: anthocyanin pigments-bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*. (69): 419-425.

- 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.
- Xia, B., & Sun, D.W. (2002). Application of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review. *Computer and Electronics in Agriculture*. 34:5-24.
- Yemm, E.W., & Cocking, E.C. (1955). The determination of amino acids with ninhydrine. *Analyst*. (80): 209-213.
- Yemis, O., Bakkalbasi, E., & Artik, N. (2012). Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica L.*) during drying. *Int. J. Food Sci Technol*, 47:1710–1719.
- 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.
- Zemouri, S. (2011). Deux variétés de figes sèches : effets des conditions d'extraction .thèse de magister en Biologie. BEJAIA.
- Zhang, Z.S., Li, D., Wang, L.J., Ozkan, N., Chen, X.D., Mao, Z.H., & Yang, H.Z. (2007). Optimisation of ethanol-water extraction of lignans from flaxseed. *Journal of Separation and Purification Technology* .57: 17-24.
- Ziani, Kh., (2017). Développement de stratégie de valorisation de figue sèche de basse catégorie : Cas de la production du vinaigre de figue. Mémoire de master. Université A. MIRA. Bejaia, 35p.
- Zimmer, N., & Cordesse, R. (1996). Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *Productions animales*, 9(3), 167-179.
- Zohary, M. (1982). *Plants of the Bible*. Cambridge University Press. 223 pp.
- Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World*. 3rd edn. 316pp. New York: Oxford University Press.

Annexes

Annexe 01 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux**Annexe 02 : Courbe d'étalonnage des sucres solubles****Annexe 03 : Courbe d'étalonnage des protéines solubles**

Annexe 04: Courbe d'étalonnage des acides aminés libres**Annexe 05: Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux****Annexe 06: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes**

Annexe 07: Courbe d'étalonnage des flavonols**Annexe 08: Courbe d'étalonnage des caroténoïdes****Annexe 09: Courbe d'étalonnage avec l'acide ascorbique pour l'évaluation du pouvoir réducteur de Fer.**

Résumé

Résumé

La figue est une composante fruitée typique du régime méditerranéen favorable à la santé. Vue son aspect périssable et saisonnier elle doit être conservée sous sa forme sèche qui peut être obtenue par plusieurs procédés de séchage dont le séchage au soleil. Les travaux présentés dans cette étude contribuent à évaluer l'impact du séchage au soleil sur les attributs de la qualité physicochimique, nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante pour cinq variétés de figes de la région de Jijel. Les résultats montrent que la composition en nutriments dépend de la variété et que le séchage a amélioré la qualité physicochimique de la figue. D'une part il a entraîné l'augmentation dans certains paramètres dont les cendres et l'acidité titrable. Et d'autre part, il a conduit à une diminution significative dans le poids, le taux d'humidité et le pH. A noter aussi qu'une augmentation en Zn, Cu, Pb et Cd est enregistrée. De même le séchage présente un effet positif sur la teneur en différents composés nutritionnels et phytochimiques, à savoir les sucres totaux, les protéines solubles, les acides aminés libres, et également les polyphénols totaux. En revanche, une diminution dans la teneur en flavonoïdes, flavonols, anthocyanines, caroténoïdes et en vitamine C est enregistrée. L'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des extraits a montré que les figes sèches présentent une bonne activité antioxydante dépendante du contenu en polyphénols.

Mots-clés : Figue, séchage au soleil, qualité physicochimiques, qualité nutritionnelle, composés phénoliques, activité antioxydante.

Abstract

Fig has been a typical fruit component of the health-promoting Mediterranean diet. Due to its perishable and seasonal aspect, it must be kept in its dry form, which can be obtained by several drying processes including sun drying. This study contributes to assess the impact of sun-drying on the attributes of physicochemical, nutritional, phytochemical quality and in particular on antioxidant activity for five varieties of figs from the Jijel region. The results show that the nutrient composition depends on the variety and that drying has improved the physicochemical quality of the fig. On the one hand it has led to an increase in certain parameters including ashes and titratable acidity. And on the other hand, it led to a significant decrease in weight, moisture content and pH. Note also that an increase in Zn, Cu, Pb and Cd is recorded. Likewise, drying has a positive effect on the content of various nutritional and phytochemical compounds, namely total sugars, soluble proteins, free amino acids, and also total polyphenols. In contrast, a decrease in the content of flavonoids, flavonols, anthocyanins, carotenoids and vitamin C is recorded. The *in vitro* evaluation of the antioxidant activity of the extracts show good antioxidant activity dependent on the content of polyphenols.

Key words: Fig, sun-drying, physicochemical quality, nutritional quality, phenolic compounds, antioxidant activity.

ملخص

التين هو عنصر فاكهي نموذجي من النظام الغذائي المفيد للصحة والمميز لمنطقة البحر الأبيض المتوسط. ونظرا لكونه فاكهة موسمية وسريعة التلف، يجب الاحتفاظ بها في شكلها الجاف الذي يمكن الحصول عليه من خلال العديد من عمليات التجفيف منها التجفيف بالشمس. يهدف العمل المقدم في هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التجفيف الشمسي على صفات الجودة الفيزيوكيميائية، الغذائية، الكيميائية النباتية وخاصة على النشاط المضاد للأكسدة لخمس أصناف من التين من منطقة جيجل. أظهرت النتائج أن المحتوى الغذائي يتغير حسب الصنف وأن التجفيف أدى إلى تحسين الجودة الفيزيوكيميائية للتين. فمن ناحية، ساهم في ارتفاع نسبة الرماد والحموضة القابلة للمعايرة. ومن ناحية أخرى، أدى إلى انخفاض كبير في الوزن والرطوبة ودرجة الحموضة. لوحظ أيضًا أنه تم تسجيل زيادة في نسبة الزنك والنحاس والرصاص والكاديوم. كذلك، قد تبين أن للتجفيف تأثير إيجابي على محتوى مختلف المركبات الغذائية والكيميائية النباتية، من بينها السكريات الكلية، البروتينات القابلة للذوبان، والأحماض الأمينية الحرة، وكذلك مجموعة البوليفينول. من ناحية أخرى، تم تسجيل انخفاض في محتوى الفلافونويد، الفلافونول، الأنثوسيانين، الكاروتينات والفيتامين (ج). أظهر التقييم للنشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات في المخبر، أن التين المجفف يظهر نشاطًا جيدًا مضادًا للأكسدة يعتمد على المحتوى من البوليفينول.

الكلمات المفتاح: التين، التجفيف الشمسي، الجودة الفيزيوكيميائية، الجودة الغذائية، المركبات الكيميائية النباتية، النشاط المضاد للأكسدة.

