

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère d'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى- جيجل

Université Mohammed-Seddik Ben yahia-Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie

Département de Biologie Moléculaire et
Cellulaire



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا الجزيئية و الخلوية

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie

Thème

**Contribution à l'étude de la composition phytochimique et
l'activité antioxydante de quelques variétés de la figue
fraiche (*Ficus carica* L.) de la région de Jijel**

Membres de Jury :

Présidente : Dr. DERAÏ Elhadjela

Examinatrice : Dr. KEBSA Widad

Encadreur : Dr. BOUTENNOUN Hanane

Présenté par :

M^{elle} : BOUACHIR Manel

M^{elle} : BOULKRABAA Layla

M^{elle} : KEHOUL Nassima

Année universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre :

Remerciements

Avant tout, nous remercions "Allah" de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail.

*Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur **Dr. Boutennoun Hanane**, d'avoir accepté la direction scientifique de ce travail ainsi que pour ses conseils, son aide précieux et ses encouragements tout au long de ce travail.*

Nous sommes très honorées à remercier :

***Dr. Derai Elhadjela**, pour le grand privilège qu'elle nous a fait d'avoir accepté la présidence de notre jury de soutenance ;*

***Dr. Keba Widad**, d'avoir accepté de consacrer du temps à examiner et juger ce travail.*

*Nous remercions **Dr. Boussouf Lilia**, pour l'accompagnement et les conseils qu'elle nous a prodigués lors de nos travaux au laboratoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du laboratoire de Biochimie du département de Biologie Moléculaire et Cellulaire à l'université de Jijel pour leur aide, en particulier **M^{me} Imane** et **M^{me} Hayet**.*

*Un chaleureux remerciement à nos **parents** pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et leur encouragements toutes les années d'étude.*

*Enfin Nous tenons à remercier **tous** ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail ; soit par leurs conseils et leurs connaissances scientifiques ; soit par leurs présence dans les moments difficiles. Sans oublier l'ensemble des **enseignants** ayant contribué à notre formation durant notre cycle d'étude.*

Merci à Tous...

Dédicaces

En signe de respect et de reconnaissance

Je dédie ce modeste travail :

Tout d'abord et avant tout à mes très chers parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apporté durant mes études.

Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération, et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être.

*Trouvez ici, chère mère **ZAHIA** et cher père **SALAH**, dans ce modeste travail, le fruit de tant de dévouements et de sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour.*

Puisse Allah leur accorder santé, bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

*A mes chères sœurs **IMANE** et **FATANE**.*

*A mon frère **WALID** et sa femme **FAIROUZ** et leur petite fille **SOUDJOURD**.*

*A ma chère grand-mère **MASSOUDA**, que dieu lui donne longue vie et à toute ma famille sans exception.*

*A mon cher ami **MOKHTAR** et sa famille.*

*A mon binôme de ce travail **MANEL** et **LAYLA** et leurs familles et tout les amis surtout **YOUSSRA** et sa famille.*

A tous mes enseignants du primaire à l'université, je leurs exprime ma profonde gratitude.

A tous mes collègues de la promotion de Biochimie 2020/2021 et à toutes les personnes qui m'aiment et qui m'ont aidé.

NASSIMA

Dédicaces

Avant tout, je remercie ALLAH de m'avoir mis sur le bon chemin pour pouvoir réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère maman **BOUANANI LEWIZA**, la lumière de ma vie, pour son sacrifice qui m'a tout donné et offert son amour, encouragement, soutien, durant toute ma vie.*

*Mon très cher papa **ABED ALLAH** qui a su m'encourager et me soutenir tout au long de ma vie.*

*Mes très chers frères : **HICHAM, RIDA & REDWAN**. A mon unique sœur **HAYAT**.*

*Toute ma famille et surtout mon oncle **HUSSIN** et sa femme **AZIZA** pour leur grand soutien, ainsi que mon oncle **ABED ASLEM** pour ses conseils tout au long de mon parcours universitaire. A ma tante **ZAHIYA** et ses filles.*

*Mes chères amies mes binômes de ce travail **MANEL & NASSIMA**.
Ma chère amie **SAMIHA**.*

A tous mes enseignants, je leur exprime ma profonde gratitude.

A tous mes collègues de ma promotion de Biochimie 2020-2021.

A ceux qui me sont chers et qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

LAYLA

Dédicaces

*Mon parcours universitaire s'est terminé après l'épuisement et les épreuves...
Et ici, je termine mon mémoire de fin d'étude avec toute la vigueur et l'activité.
Et je suis reconnaissante à tous ceux qui ont eu du mérite dans ma carrière et m'ont aidé.*

Je dédie ce travail

À mes parents

*En témoignage de l'amour, du respect et de la
gratitude que je leur porte pour leur soutien et leur
aide qu'ils m'ont apporté durant mes années
d'études. Ils m'ont toujours soutenue
et encouragé à suivre les chemins
que je ne désirais. Jamais je ne les remercierai assez de
m'avoir donné le meilleur d'eux-mêmes.*

À mes frères, Abd Araouf, Samir et Badr-Eddine

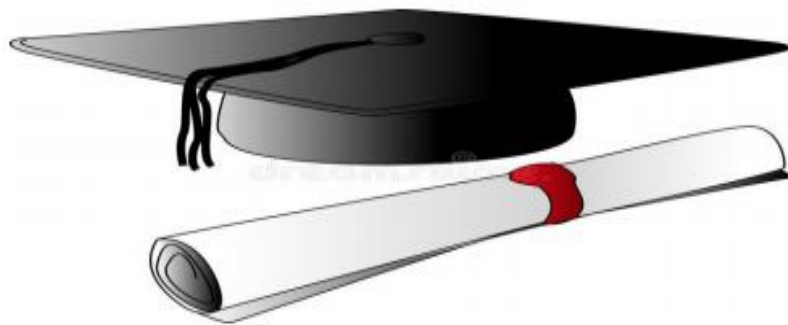
Et mes sœurs, karima, Abla et Soraya

À belle-sœur, Farida

En témoignage de toute mon affection, je leur souhaite un avenir rayonnant.

*À Layla et Nassima : j'ai l'honneur de travailler avec elles
et je les remercie pour les moments agréables que nous avons passé ensemble.*

*À mes chères amies Messaouda, Nihad, Oumaima et Amina pour leurs encouragements
permanents et leurs conseils, et surtout leur soutien moral.*



Manel

Sommaire

Liste des abréviations I

Liste des figures II

Liste des tableaux III

| | |
|--------------------------|-----------|
| Introduction..... | 01 |
|--------------------------|-----------|

Partie bibliographique

Chapitre I: Généralités sur le figuier (*Ficus carica* L.)

| | |
|---|----|
| I.1. Définition et origine | 02 |
| I.2. Systématique | 03 |
| I.3. Morphologie | 03 |
| I.4. Composition phytochimique de <i>Ficus carica</i> L. | 04 |
| I.5. Production de figues..... | 04 |
| I.5.1. Production mondiale | 04 |
| I.5.2. Production nationale | 05 |
| I.6. Propriétés thérapeutiques | 05 |

Chapitre II : Les antioxydants du figuier

| | |
|--|----|
| II.1. Systèmes oxydants –antioxydants | 07 |
| II.2. Défense antioxydantes de figuier | 07 |
| II.2.1. Les composés phénoliques | 08 |
| II.2.2. Les caroténoïdes | 09 |
| II.2.3. Les vitamines | 10 |
| II.3. Mécanismes antioxydants des composés phénoliques | 11 |
| II.3.1. Piégeage des radicaux libres | 11 |
| II.3.2. Chélation des ions métalliques | 12 |
| II.3.3. Inhibition enzymatique | 13 |

Partie pratique

| | |
|--|-----------|
| I. Matériel et méthodes..... | 14 |
| I.1. Echantillonnage | 14 |
| I.2. Extraction des composés phénoliques | 15 |
| I.3. Dosage des antioxydants | 16 |

| | |
|--|-----------|
| I.3.1. Les composés phénoliques totaux | 16 |
| I.3.2. Les flavonoïdes et les flavonols | 17 |
| I.3.3. Les tanins condensés | 17 |
| I.3.4. Les anthocyanines | 18 |
| I.3.5. Les caroténoïdes | 18 |
| I.3.6. L'acide ascorbique | 19 |
| I.4. Etude de l'activité antioxydante | 19 |
| I.4.1. Mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH | 20 |
| I.4.2. Mesure du pouvoir réducteur de fer..... | 20 |
| I.4.3. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) | 21 |
| I.5. Analyse statistique | 21 |
| II. Résultats et interprétation..... | 22 |
| II.1. Etude phytochimique | 22 |
| II.2. Résultats de l'activité antioxydante | 26 |
| II.2.1. Activité antiradicalaire (DPPH) | 27 |
| II.2.2. Pouvoir réducteur du Fer | 27 |
| II.2.3. Inhibition de peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) | 28 |
| III. Discussion..... | 30 |
| Conclusion..... | 37 |
| Références bibliographiques..... | 38 |
| Annexes | |
| Résumé | |

Liste des Abréviations

| | |
|--|--|
| [K₃Fe(CN)₆] | : Ferricyanure de potassium |
| ADN | : Acide DésoxyriboNucléique |
| AlCl₃ | : Chlorure d'aluminium |
| Da | : Dalton |
| DPPH | : 1,1-Diphenyl-2-Picryl-Hydrazyl |
| EAA | : Equivalent Acide Ascorbique |
| EAG | : Equivalent Acide Gallique |
| EAT | : Equivalent Acide Tannique |
| EC | : Equivalent Cyanidine |
| EC 3-O-R | : Equivalent Cyanidin 3-O-Rutinoside |
| EQ | : Equivalent Quercétine |
| EQ-3-G | : Equivalent Quercétine -3-Glucoside |
| ERO | : Espèces Réactives de l'Oxygène |
| EβC | : Equivalent Beta Carotène |
| FAO | : Organisation des nations unis pour l'alimentation et l'Agriculture |
| FeCl₃ | : Chlorure ferrique |
| H₂O₂ | : Peroxyde d'hydrogène |
| Hcl | : Chlorure d'hydrogène |
| LDL | : Low Density Lipoprotéine |
| MF | : Matière Fraiche |
| NOS | : Nitrique Oxyde Synthésés |
| O₂^{°-} | : Anion superoxyde |
| OH[°] | : Radicaux hydroxyle |
| pH | : Potentiel Hydrogène |
| RO[°] | : Radicaux alkoxyles |
| ROO[°] | : Radicaux peroxyles |
| rpm | : Tour par minute |
| UV | : Ultra Violet |

Liste des figures

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Figure 01 : | <i>Ficus carica</i> L. | 02 |
| Figure 02 : | Caractéristiques morphologiques de la figue | 04 |
| Figure 03 : | Production de figues ; 10 principaux producteurs | 05 |
| Figure 04 : | Structure de phénols | 08 |
| Figure 05 : | Piégeage des ERO (X•) par un noyau catéchol | 11 |
| Figure 06 : | Structure de base des flavonoïdes avec leurs sites de piégeage des radicaux libres | 12 |
| Figure 07 : | Sites de chélation des ions métalliques par les flavonoïdes | 12 |
| Figure 08 : | La localisation géographique des stations de récolte de figues | 15 |
| Figure 09 : | Les étapes de l'extraction des composés phénoliques | 16 |
| Figure 10 : | Réaction du chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes | 17 |
| Figure 11 : | Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH | 20 |
| Figure 12 : | Teneur en polyphénols de cinq variétés | 22 |
| Figure 13 : | Teneur en flavonoïdes de cinq variétés | 23 |
| Figure 14 : | Teneur en flavonols de cinq variétés | 23 |
| Figure 15 : | Teneur en tanins condensés de cinq variétés | 24 |
| Figure 16 : | Teneur en anthocyanines de cinq variétés | 25 |
| Figure 17 : | Teneur en caroténoïdes de cinq variétés | 25 |
| Figure 18 : | Teneur en acide ascorbique de cinq variétés | 26 |
| Figure 19 : | Activité antiradicalaire DPPH des extraits de cinq variétés | 27 |
| Figure 20 : | Pouvoir réducteur du fer des extraits de cinq variétés | 28 |
| Figure 21 : | L'inhibition du peroxyde d'hydrogène des extraits de cinq variétés | 28 |

Liste des tableaux

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Tableau I | : Caractéristiques des variétés de figues | 14 |
|------------------|---|-----------|

Introduction

Les fruits et légumes contenant de fortes concentrations de composés bioactifs ont suscité un intérêt considérable au cours des trois dernières décennies, en raison de leurs propriétés potentiellement bénéfiques pour la santé et leur richesse en substances antioxydantes qui jouent un rôle majeur dans la prévention de diverses pathologies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives qui seraient associées au stress oxydatif (**Ercisli et al., 2012 ; Bachir Bey et al., 2017**). Ce dernier est défini comme étant un déséquilibre profond de la balance entre les pro-oxydants et les antioxydants, ce qui conduit à des dégâts cellulaires irréversibles. La réduction univalente de l'oxygène résulte en la formation d'espèces réactive de l'oxygène (ERO) dont font partie les radicaux libres (anion superoxyde, radical hydroxyle), le peroxyde d'hydrogène et l'oxygène singulet (**Pincemail et al., 1999**).

La capacité des différents fruits et légumes à neutraliser les radicaux libres et à restaurer l'équilibre oxydatif *in vivo* est imputé à leur richesse en polyphénols, antioxydants naturels aux forts potentiels antioxydants et cytoprotecteurs (**Bouayed et al., 2008**). Parmi ces fruits et légumes, nous distinguons la figue.

La figue est le fruit du figuier qui appartient avec l'olivier et les agrumes 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 entrainait sa diversification et sa propagation (**Chouaki et al., 2006**). Selon **FAO (2019)** l'Algérie est le cinquième pays producteur des figues mondiales en raison de son adaptation pédoclimatique, de ses possibilités d'irrigation et du développement de la consommation des fruits tant en Algérie que sur les marchés extérieurs (**Benattayeb, 1993**).

Les figues sont une source importante des valeurs nutritionnelles qui contribuent à une alimentation saine, en raison de leur composition en vitamines, minéraux, sucres et fibres. Elles sont sans gras et sans cholestérol (**Zidi et al., 2020**). C'est pourquoi, ces espèces doivent figurer dans le programme de recherche pour intégrer et mériter la place qui leur revient.

Dans ce contexte l'objectif global de ce travail consiste à une étude de la composition phytochimique et l'activité antioxydante de cinq variétés de la figue fraîche (*Ficus carica* L.) de la région de Jijel.

Notre travail sera réparti en deux parties :

- ❖ Une première partie relative à l'étude bibliographique du figuier et ses antioxydants.
- ❖ Une deuxième partie réservée à l'étude expérimentale relative à l'analyse phytochimique des cinq variétés choisies et l'évaluation de l'activité antioxydante *in vitro* de différents extraits.

Partie

Bibliographique

Chapitre I :
Généralités sur le figuier
(Ficus carica L.)

I.1. Définition et origine

Le figuier (*Ficus carica* L.) est un arbre à feuilles caduques originaire du sud-ouest de l'Asie, et typiquement cultivé dans la région méditerranéenne (Petkova *et al.*, 2019). Le nom scientifique donné au figuier « *Ficus carica* » à un qualificatif générique qui signifie verrue pour *Ficus* (le latex du figuier pour soigner les verrues) et *carica* fait allusion à la région de «Carie » en Turquie (Oukabli, 2003).

Le figuier (Figure 01) se caractérise par un bon développement dans des zones à faible hygrométrie, fort ensoleillement et aux étés chauds et secs, ainsi que par son adaptation à une large gamme de sols. Il ne peut pas être planté dans les régions où la température descend au-dessous de 5°C en hiver (Oukabli, 2003). Les températures comprises entre 32 et 37°C sont très favorables au développement et à la maturité des fruits (Walali *et al.*, 2003). La taille de l'arbre et sa densité de ramification dépendent en outre du génotype, du teneur en l'humidité, des éléments nutritifs du sol où se trouvent d'autres caractéristiques environnementales. Il existe des arbres exceptionnellement élevés de 9 à 12 m de hauteur, mais atteint généralement une hauteur à maturité qui peut varier entre 3 et 10 mètres. L'âge moyen des arbres est généralement de 50 à 60 ans (Janick et Paull, 2008).

La figue est parmi les cinq fruits cités dans le coran sacré (Sheikh, 2016), c'est un fruit délicieux et nutritif. Pendant des siècles, ce fruit a été utilisé frais ou sec comme nourriture pour les humains et leurs animaux. Les figues ont été populaires non seulement en raison de leur goût agréable, mais peut-être aussi en raison de leurs propriétés médicinales (Veberic *et al.*, 2016).



Figure 01: *Ficus carica* L. (Chawla *et al.*, 2012).

I.2. Systématique

Le figuier appartient au genre *Ficus* qui regroupe plus de 800 espèces différentes, caractérisées par une très large diversité génétique (Meziant *et al.*, 2015). Selon Chawla *et al.* (2012) le figuier est classé comme suit:

Règne : Végétal

Super-embranchement : Spermatophytes

Embranchement : Phanérogames

Classe : Dicotylédones

Sous-classe : Hamamélidées

Ordre : Urticales

Famille : *Moracées*

Genre : *Ficus*

Espèce : *Ficus carica* L.

I.3. Morphologie

L'arbre de *Ficus carica* L. mesure généralement de 15 à 20 pieds de haut, avec de nombreuses branches étalées et un tronc de plus de 7 pieds de diamètre, le latex de la plante est blanc laiteux contient principalement de ficine (une enzyme de digestion des protéines), caoutchouc, résine, albumine, sucre, acide malique, catalase et de peroxydase. Le système racinaire de la plante est généralement peu profond et s'étend couvrant parfois 50 pieds de sol. Les feuilles du figuier sont larges, ovées ou presque 3-5 lobées, rugueuses et pubescentes en dessous. Les fruits sont axillaires, généralement en forme de poire, de taille et de couleur variables. Bien que considéré comme un fruit, la figue est en fait une fleur inversée en elle (Joseph et Raj, 2011 ; Chawla *et al.*, 2012). 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 (Dueñas *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 (oeil ou opercule) et un pédoncule (Figure 02) (Déborah et Stéphanie, 2008). La face interne de la peau est blanche et les akènes (en nombre de 30 à 1600 par fruit) sont attachés à la chair gélatineuse (Joseph et Raj, 2011).

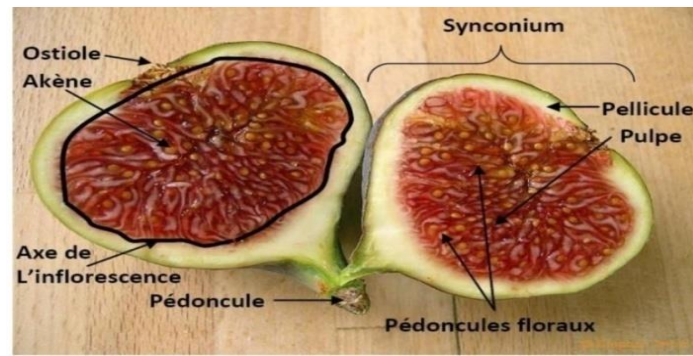


Figure 02 : Caractéristiques morphologiques de la figue (Déborah et Stéphanie, 2008).

I.4. Composition phytochimique de *Ficus carica* L.

Des études phytochimiques sur *Ficus carica* ont révélé la présence de nombreux composés bioactifs comme les composés phénoliques, les phytostérols, les anthocyanines, les triterpénoïdes, les coumarines et les composés volatils comme les hydrocarbures, les alcools aliphatiques et quelques autres classes de métabolites secondaires de différentes parties de *Ficus carica* (Mawa *et al.*, 2013).

Parmi les composés phénoliques les plus prédominants dans la figue principalement dans la peau ; l'acide gallique et l'acide chlorogénique (Çalışkan et Polat, 2011 ; Arvaniti *et al.*, 2019).

Salomon *et al.* (2006) ont rapporté que la peau des figues est une source majeure d'anthocyanines comme la cyanidine-3-rhamnoglucoside et la cyanidine-3-glucoside.

Les tanins existent presque dans chaque partie du figuier (écorce, bois, feuilles, fruits et racines).

Ils sont divisés en deux groupes, les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Cowan, 1999).

Les flavonols sont présents sous forme glycosylée (glucose, rhamnose, xylose, acide glucuronique...), et ils s'accumulent au niveau des feuilles et des fruits (Robards et Antolovich, 1997). Les flavonoïdes présents dans la figue sont la rutine, la catéchine et l'épi-catéchine (Veberic *et al.*, 2008).

Les couleurs naturelles jaune, orange-rouge de nombreux fruits résultent des caroténoïdes. Dans les figues, les caroténoïdes ont été positivement identifiés comme la lutéine, la cryptoxanthine, le lycopène, β -carotène et α -carotène. La principale source de caroténoïdes est la peau du fruit, alors que la pulpe n'en contient qu'une petite quantité (Veberic *et al.*, 2016).

I.5. Production de figues

I.5.1. Production mondiale

La production mondiale des figues a atteint 1 315 588 tonnes en 2019 dont plus de 90% proviennent du bassin Méditerranéen et du Moyen Orient. Les quatre 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 (310 000t), suivie par l'Égypte (225 295t), le Maroc (153 472t) et Iran (130 328t) (FAO, 2019). Dans la même année, l'Algérie détient la cinquième plus grande production mondiale. Elle représente de 114 092t (Figure 03).

Selon FAO (2019), la superficie récoltée mondiale de figuier a été estimée à 289 818ha dont 62 969ha reviennent au Maroc et 52 116ha à la Turquie. En Algérie, les plantations de figuier couvrent une superficie globale de 39 438ha.

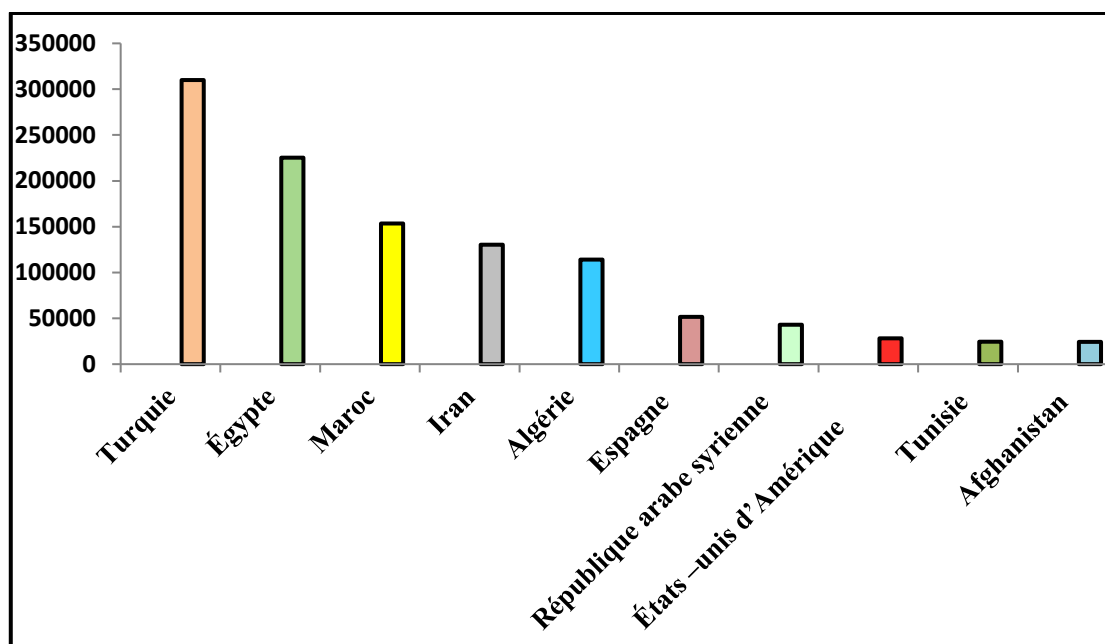


Figure 03: Production de figes ; 10 principaux producteurs (FAO, 2019).

I.5.2. Production nationale

En Algérie, les figuiers sont cultivés dans tout le pays (côtier, steppe et les zones sahariennes). La production algérienne de figes se concentre principalement dans les montagnes de Kabylie (Bejaïa et Tizi-Ouzou représentent respectivement 27% et 13% de la production nationale totale) (Mahmoudi *et al.*, 2018).

I.6. Propriétés thérapeutiques

Au cours des dernières années, la composition phénolique de sources naturelles a été la centre d'intérêt dans de nombreuses recherches scientifiques en raison de leur effets positifs sur la santé humaine attribués principalement à leurs activité antioxydantes (Bucic-Kojic *et al.*, 2011). La figue contient une bonne quantité de polyphénols, de flavonoïdes et anthocyanines (Perez *et al.*, 2003 ; Solomon *et al.*, 2006). Ces précieux antioxydants peuvent protéger les lipoprotéines contre l'oxydation et produisent une augmentation significative de la capacité antioxydante au niveau du plasma (Vinson *et al.*, 2005).

La capacité antioxydante des figues est fortement corrélée à leur teneur en composés phénoliques. Les feuilles, les racines, les fruits et le latex de la plante sont connus pour leurs propriétés positives sur la santé, y compris l'inhibition de l'acétylcholinestérase, l'activité antifongique, antihelminthique et activités anti-cancérigènes (**Arvaniti et al., 2019**).

Les fruits de figue ont été considérés comme antipyrétiques, anti-inflammatoires, diurétiques et utilisés pour le traitement des maladies du foie et de la rate, le saignement du nez, la toux irritative, la faiblesse et la paralysie. Ils stimulent aussi la croissance des cheveux (**Al-Snafi, 2017**).

Ficus carica est émollient, calmant, rafraîchissant et nutritif. Ces fruits comestibles étaient traditionnellement utilisés pour traiter les hémorroïdes, les piqûres d'insectes, la goutte, les ulcères et les infections cutanées comme les verrues et les virus (**Al-Snafi, 2017**) et aide à la régénération cellulaire grâce à sa richesse en vitamines et minéraux (**Guvenc et al., 2009**).

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

Chapitre II :
Les antioxydants du
figuier

II.1. Systèmes oxydants / antioxydants

La découverte d'espèces chimiques radicalaires présentes normalement dans l'organisme a bouleversé notre compréhension des mécanismes biologiques. Ces radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable ; mais la production peut devenir excessive ou résulter de phénomènes toxiques exogènes et l'organisme va devoir se protéger de ces excès par différents systèmes antioxydants (**Favier, 2003**).

Dans les circonstances quotidiennes normales, des radicaux libres sont produits en permanence en faible quantité comme les médiateurs tissulaires ou les résidus des réactions énergétiques ou de défense, et cette production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense, d'ailleurs adaptatifs par rapport au niveau de radicaux présents. Dans ces circonstances normales, on dit que la balance antioxydants / pro-oxydants est en équilibre. Si tel n'est pas le cas, que ce soit par déficit en antioxydants ou par suite d'une surproduction énorme de radicaux, l'excès de ces radicaux est appelé « stress oxydant » avec comme conséquence, l'apparition de dégâts souvent irréversibles pour la cellule (**Favier, 2003 ; Baudin, 2020**).

Pour se protéger de ce type d'agression, notre organisme produit des enzymes comme superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase et glutathion réductase, ou fait appel à une source exogène apportée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en minéraux comme Sélénium (Se), Manganèse (Mn), cuivre (Cu) et des vitamines comme la vitamine A, C et E et d'autres composés ayant une activité antioxydante comprennent les caroténoïdes, flavonoïdes, glutathion et l'acide urique...etc (**Irshad et Chaudhuri, 2002**). Ces systèmes antioxydants ont la capacité soit de réguler parfaitement la production des espèces réactives oxygénées (ERO) (**Pincemail et al., 2002**), ou bien en limitant leur propagation en agissant comme des piègeurs de radicaux libres pour donner finalement des composés stables (**Favier, 2003**).

Donc les antioxydants ce sont des molécules capables d'interagir sans danger avec les radicaux libres et mettre fin à la réaction en chaîne avant que les molécules vitales ne soient endommagées (**Flora, 2007**).

II.2. Défense antioxydants de figuier

Plusieurs études ont révélé la présence des substances chimiques comme des composés phénoliques, flavonoïdes, anthocyanines, stérols, coumarines, triterpènes, caroténoïdes dans les diverses parties de figuier. Ces substances sont bénéfiques pour la santé humaine parce qu'ils exercent une activité antioxydante par différentes voies : agents réducteurs, donateurs

d'hydrogène, extracteurs de radical libre, destructeur de l'oxygène singulier...etc (Çalışkan et Polat, 2011).

II.2.1. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique (Figure 04) portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide (Boizot et Charpentier, 2006). Ces composés sont très diversifiés et peuvent être classés en nombreuses classes et sous-classes selon leur nombre de phénols présents et par les composants structurels qui relient ces anneaux ensemble : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanines, les tanins... etc (Manach *et al.*, 2004).

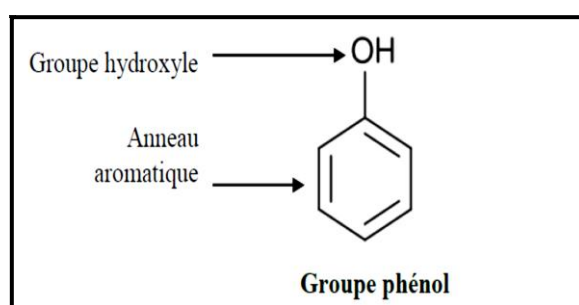
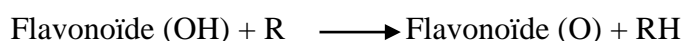


Figure 04 : Structure de phénols (Sobiesiak, 2017).

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 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).

Les flavonoïdes constituent la plus grande classe de polyphénols avec une énorme diversité structurelle et fonctionnelle (Wen *et al.*, 2020). La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est leur activité antioxydante et leur capacité à piéger les radicaux libres : radicaux hydroxyles (OH•), anions superoxydes (O₂⁻) et radicaux peroxylipidiques, selon la réaction suivante :



Les flavonoïdes inactivent et stabilisent les radicaux libres grâce à leur groupement hydroxyle (C3-OH) fortement réactif. Ils sont également capables de chélater les ions métalliques (Ghedira, 2005). Leur capacité antioxydante est renforcée avec l'augmentation du nombre de groupements hydroxyles (Nijveldt *et al.*, 2001 ; Amić *et al.*, 2003).

Les flavonols sont une sous classe majeure de flavonoïdes et sont impliqués dans le développement et la pigmentation de végétaux (**Zhang, 2019**). Dans l'étude menée par **Slatnar et al., (2011)**, quatre composés du groupe du flavonols ont été identifiés à savoir : le kaempferol-3-O-glucoside, la rutine, la quercétine-3-O-glucoside et lutéoline-8-C-glucoside. Ces composés sont considérés comme des modèles antioxydants, notamment dans la protection contre l'oxydation des LDL et contre les dommages oxydatifs de L'ADN (**Lean et al., 1999**).

Les tanins sont des substances naturelles polyphénoliques avec structures complexes et hydrosolubles de la masse moléculaires compris entre 500 et 3 000Da (**Bate-Smith, 1954 ; Haslam, 1989**). On distingue aujourd'hui deux classes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Okuda et Ito, 2011**).

Les tanins sont doués d'un pouvoir antioxydantes important. Les tanins hydrolysables inhibent la peroxydation des lipides et les tanins condensés inhibent la formation des superoxydes (**Derbel et Ghedira, 2005**). La capacité antiradicalaire des tanins des dimères ou trimères des procyanidine 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 (**Cheyrier, 2005 ; Gramza et Korczak, 2005**).

Les anthocyanines (anthos grecques : fleurs et kyaneos : bleu foncé) représentent une sous-classe des composés phénoliques. Ce sont des glycosides hydrosolubles d'anthocyanidines, qui sont en grande partie responsables de la couleur jaune pâle, orange, rouge, violette et bleue attrayante d'un large éventail de tissus végétaux, principalement des fleurs, des feuilles et des fruits (**Nassour et al., 2020**).

Les propriétés antioxydantes des anthocyanines résultent de leurs structures chimiques, particulièrement de la présence des groupements hydroxyles en position 3 du cycle C et en position 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**). Un autre effet important des anthocyanines sur d'autres molécules cibles concerne leur rôle protecteur de l'ADN avec la formation de complexe ADN-anthocyanine rendant l'ensemble moléculaire plus stable pour la protection contre les dommages causés par le radical hydroxyle OH (**Sarma et sharma, 1999**).

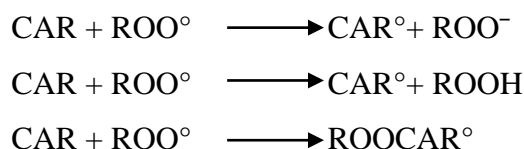
II.2.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont omniprésents dans la nature et compte plus de 600 caroténoïdes identifiés et caractérisés. L'élément structurel « noyau » des caroténoïdes est un squelette polyène constitué d'une série de liaison C=C conjuguées. Cette particularité est principalement

responsable à la fois de leur propriétés pigmentantes et de la capacité antioxydante (**Young et Lowe, 2018**).

Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes sont associées à leurs propriétés d'excellents piègeurs d'espèces radicalaires particulièrement vis-à-vis de la lipoperoxydation des phospholipides membranaires grâce à leurs structures (**Packer et al., 1981**).

Les caroténoïdes peuvent piéger les radicaux libres selon trois réactions : transfert d'électron, abstraction d'hydrogène et addition (**El-Agamey et al., 2004**).



II.2.3. Les vitamines

Les vitamines ce sont des substances vitales pour l'organisme, elles sont biologiquement actives. Leur teneur qualitative et quantitative est varié entre les différentes parties de figuier (**Benamara et Agougou, 2003**). Les figues sont riches en vitamines hydrosolubles C et B (**Farahnaky et al., 2009**). Les vitamines liposolubles sont aussi présentes dans la figue avec une dominance des vitamines E et K (**Lim, 2012**).

La vitamine E s'oxyde en radical tocophéryl dans la suppression de la peroxydation des lipides (**Dutta-roy, 1999**). Il neutralise les radicaux peroxyde, alkyle et alcoyle (**Lecerf et al., 1994 ; Herrera et Barbas, 2001**).

La vitamine C est un composé organique hydrosoluble impliqué dans de nombreux processus biologiques (**Ahmed et al., 2016**). La conséquence globale des activités antioxydantes de l'acide ascorbique est le contrôle bénéfique de la peroxydation lipidique des membranes y compris celles environnantes. Comme dans les organites intracellulaires, l'attaque des radicaux libres intracellulaires sur la matière nucléaire non lipidique peut également être diminuée (**Bendich et al., 1986**). L'ascorbate réagit avec les ERO, les étouffant et favorisant la conversion en radical semi-hydroascorbate, qui est une espèce chimique peu réactive, réduisant ainsi efficacement le risque de cancer en supprimant les radicaux libres et le stress oxydatif (**Pizzino et al., 2017**).

L'ascorbate joue un rôle crucial dans le transport des électrons, les réactions d'hydroxylation et le catabolisme oxydatif des composés aromatiques (**Ahmed et al., 2016**). Il est aussi un donneur d'hydrogène aux radicaux tocophéroxydes pour régénérer le tocophérol (**Thiebault et Sprumont, 1997**).

II.3. Mécanisme antioxydant des composés phénoliques

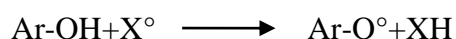
Les composés phénoliques sont des antioxydants qui assurent aux cellules de notre organisme une protection contre les méfaits causés par le vieillissement ou l'exposition prolongée à différents éléments tels que les infections, les rayons UV, la pollution ou la fumée de cigarette. Les antioxydants seraient ainsi impliqués dans la prévention des maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives, le diabète, l'ostéoporose et les cancers (Droge, 2002).

Les composés phénoliques peuvent agir selon divers mécanismes :

II.3.1. Piégeage des radicaux libres

Les radicaux libres peuvent apparaître lors du métabolisme oxydatif de l'oxygène, de l'anoxie, de l'inflammation et l'auto-oxydation des lipides. Ils peuvent attaquer des cibles bioactives dont les protéines (altérant ainsi les récepteurs cellulaires et les enzymes), les glucides, les lipides et les acides nucléiques favorisant la survenue de mutations délétères à l'origine de divers cancers (Lee *et al.*, 2004 ; Ghedira, 2005).

Les composés phénoliques inactivent les radicaux libres oxydants comme le superoxyde, les peroxydes (ROO•), les alkoxydes (RO•) et l'hydroxyle par transfert d'hydrogène grâce aux groupements hydroxyles fortement réactifs en produisant des radicaux intermédiaires stables ou peu actifs (Figure 05) (Nijveldt *et al.*, 2001).



X• : Représente l'une des ERO mentionnées ci-dessus ; Ar-O• : radical aryloxyde qu'il s'agit d'un noyau catéchol, peut réagir avec un autre radical pour former une o-quinone plus stable.

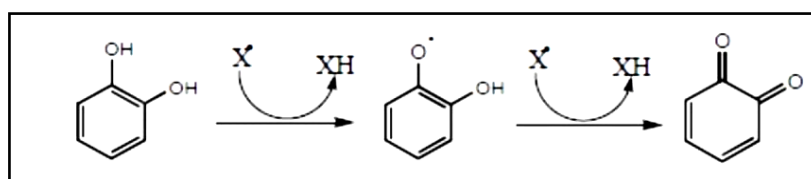


Figure 05 : Piégeage des ERO (X•) par un noyau catéchol (Fiorucci *et al.*, 2007).

Les radicaux intermédiaires sont relativement stables en raison de la résonance et donc une nouvelle réaction en chaîne n'est pas facile à initier (Dai et Mumper, 2010).

Les composés phénoliques possèdent une structure chimique idéale pour le piégeage des radicaux libres (Figure 06), parce qu'ils possèdent :

- ❖ Des groupes phénoliques hydroxyles qui sont susceptibles de donner un atome d'hydrogène au radical libre.

- ❖ Un système aromatique stabilisé par la résonance (Dai et Mumper, 2010).

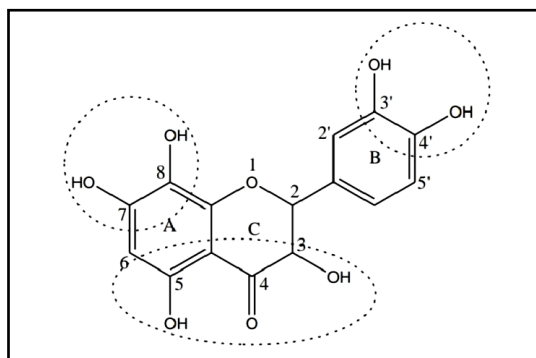


Figure 06 : Structure de base des flavonoïdes avec leurs sites de piégeage des radicaux libres (Amić *et al.*, 2003).

II.3.2. Chélation des ions métalliques

Les composés phénoliques contribuent à l'inhibition de la formation des radicaux libres par la chélation des métaux tels que le fer (Fe^{2+}) et le cuivre (Cu^+), qui sont essentiels pour de nombreuses fonctions physiologiques. Ils entrent notamment dans la composition des hémoprotéines et de cofacteurs d'enzymes du système de défense antioxydant (Fe^{2+} pour la catalase et Cu^+ pour la superoxyde dismutase) (Delattre *et al.*, 2003 ; Dai et Mumper, 2010).

Les composés phénoliques abondants dans l'alimentation, notamment les flavonoïdes, séquestrent ces ions métalliques au niveau de différents sites (Figure 07) (Delattre *et al.*, 2003 ; Dai et Mumper, 2010).

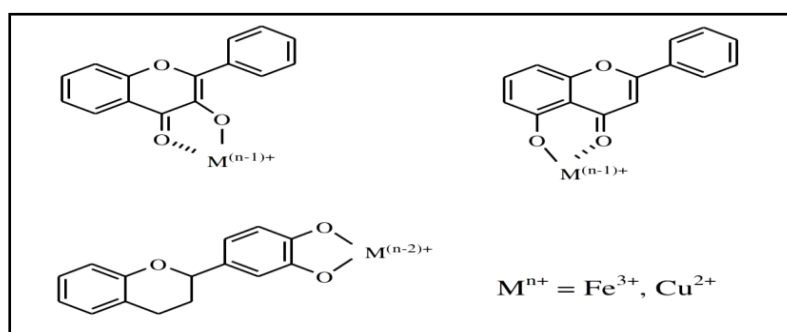


Figure 07 : Sites de chélation des ions métalliques par les flavonoïdes (Dai et Mumper, 2010).

Cependant, le fer (Fe^{2+}) et le cuivre (Cu^+) peuvent aussi être responsables de la production du radical $\text{OH}\cdot$ par la réduction de H_2O_2 lors de la réaction de Fenton dans les milieux biologiques.



En outre, l'autoxydation des ions Fe^{2+} et Cu^+ est une source de $\text{O}_2\cdot^-$ et de H_2O_2 . Ainsi, complexer les ions du fer et du cuivre sous une forme qui bloque leur activité redox est un

mécanisme d'action antioxydant (Cillard et Cillard, 2006 ; Dai et Mumper, 2010).

II.3.3. Inhibition enzymatique

Les composés phénoliques sont responsables de l'inhibition de très nombreuses enzymes, qui sont impliquées directement dans le stress oxydatif cellulaire, exemple de la glutathione S-tranférase, les lipoxygénases, les nitrique oxyde synthéases (NOS) et la xanthine oxydase (Macheix *et al.*, 2005 ; Ghedira, 2005). Ce dernier est considéré comme une source biologique importante du radical superoxyde lors de l'oxydation de l'hypoxanthine en acide urique ; elle catalyse la conversion de l'hypoxanthine en xanthine, et de la xanthine en acide urique (Nijveldt *et al.*, 2001).

Les modes d'inhibition peuvent être différents selon le flavonoïde et l'enzyme étudiés (Macheix *et al.*, 2005 ; Ghedira, 2005), qui peut être procédé directement par formation de complexe inhibiteur-enzyme et / ou par piégeage directe des ERO (Hanasaki *et al.*, 1994).

Partie pratique






I. Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Echantillonnage

Le présent travail a été réalisé aux laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohamed Seddik Ben yahia - Jijel. L'étude a été menée sur cinq échantillons de figes *Ficus carica* L. (Tableau I) à l'état frais qui ont été récoltés de cinq sites différents dans la région de Jijel : Chekfa, M'zayer, Ouled Askar, Milia et Djemaa Bni Hbib (Figure 08). La cueillette a lieu fin Août d'une manière aléatoire. Les figes rigides et des bons états ont été nettoyés et destinées à la congélation jusqu'à leur utilisation.

Tableau I : Caractéristiques des variétés de figes

| Variété | Caractéristiques | Figue fraîche |
|-----------------|--|---|
| Chekfa | Forme : arrondie, col long, avec un pédoncule très remarquable Taille : grande taille Couleur : vert clair |  |
| M'zayer | Forme : arrondie, col court, avec un pédoncule remarquable Taille : moyenne taille Couleur : jeune |  |
| Ouled Askar | Forme : arrondie, col court, avec un pédoncule remarquable Taille : moyenne taille Couleur : vert clair |  |
| Milia | Forme : arrondie, col court, avec un pédoncule très remarquable Taille : grande taille Couleur : vert foncé |  |
| Djemaa Bni Hbib | Forme : piriforme, aplati à la base, col long, avec un pédoncule très remarquable Taille : petite taille Couleur : vert foncé |  |

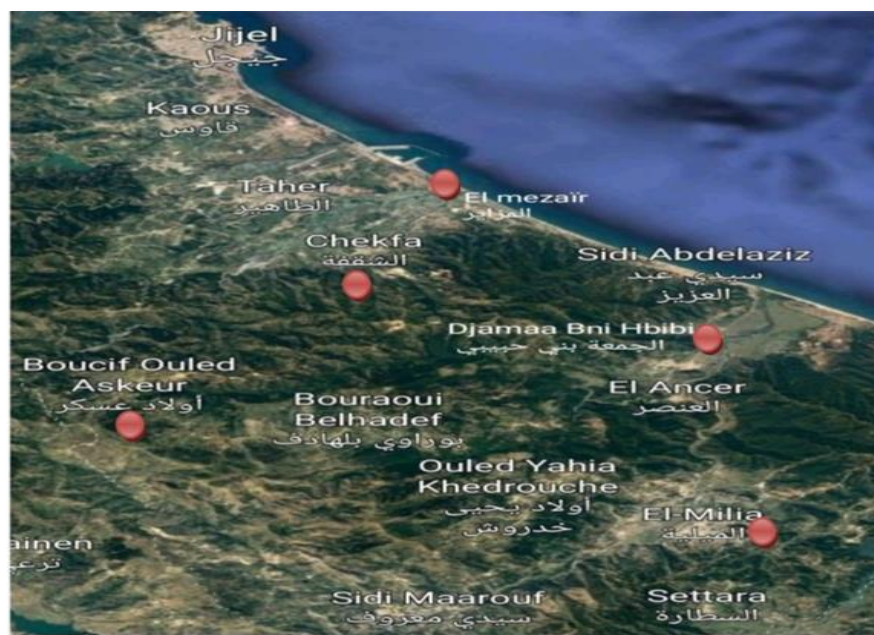


Figure 08 : Localisation géographique des stations de récolte de figues (Google earth).

I.2. Extraction des composés phénoliques

La préparation des échantillons est d'une importance capitale pour toute analyse fiable. Il existe de nombreuses étapes permettant d'extraire les substances bioactives d'un végétal, comme la mouture, le broyage, l'homogénéisation et macération. Parmi ces dernières, l'extraction est la principale étape permettant la récupération et l'isolement des substances phytochimiques provenant des matériaux végétaux (Stalikas, 2007).

Dans la présente étude, l'extraction des composés phénoliques a été effectuée par macération en utilisant l'acétone 70% selon la méthode décrite par Romani *et al.* (2006). Six grammes de broyat de chaque variété des figues ont été mélangés avec 300ml d'acétone 70% (V/V). Après 3 jours d'agitation, les mélanges ont été filtrés sur papier filtre Whatman puis centrifugés à 3000 rpm pendant 20 min. Les surnageants ont été récupérés puis conservés au réfrigérateur à +4°C jusqu'à leur utilisation (Figure 09).

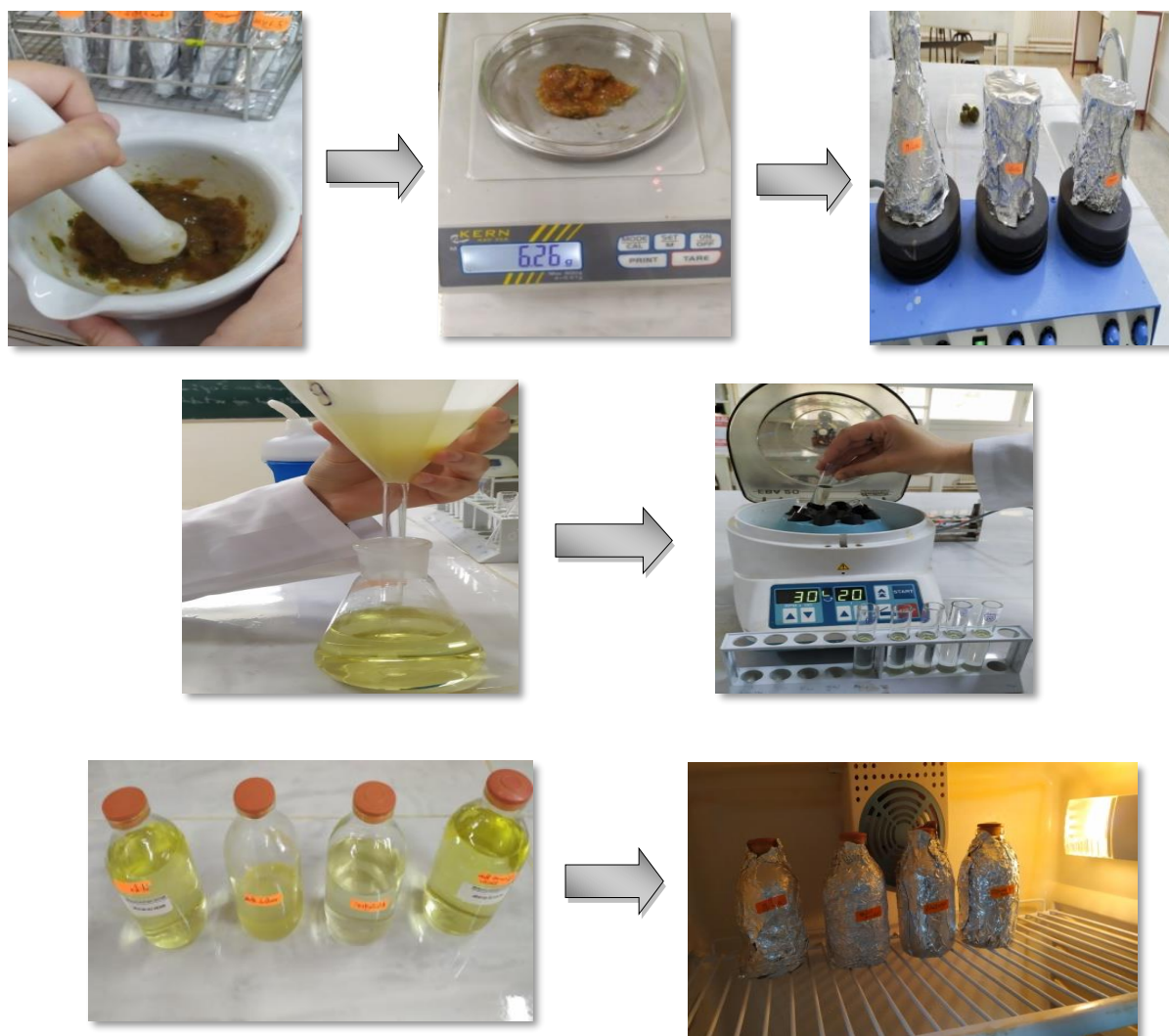


Figure 09 : Les étapes de l'extraction des composés phénoliques.

I.3. Dosage des antioxydants

I.3.1. Les composés phénoliques totaux

Les composés phénoliques réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes métalliques (W_8O_{23} / Mo_8O_{23}), de couleur bleue dont l'intensité est proportionnelle à la quantité des polyphénols présents dans l'échantillon avec un maximum d'absorption entre 725 et 760 nm (**Ribéreau-Gayon, 1982**).

Le dosage des composés phénoliques a été réalisé selon la méthode de **Ribarova et Atanassova (2005)**. Pour cela, 200 μ l d'extrait ont été additionnés à 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu et laissés reposer trois minutes à l'obscurité. Par la suite, 800 μ l de carbonate de sodium (7,5%) ont été ajoutés à l'ensemble. Après 30 minutes d'incubation à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 750 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent

d'acide gallique par 100g de MF (mg EAG / 100g MF), en se référant à une courbe d'étalonnage de l'acide gallique ($y=0,16x + 0,02$; $R^2=0,997$).

Toutes les mesures ont été répétées trois fois.

I.3.2. Les flavonoïdes et les flavonols

La méthode repose sur le principe du dosage direct par le trichlorure d'aluminium. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement OH libre susceptible de donner en présence de chlorure d'aluminium un complexe jaunâtre par chélation de l'ion Al^{3+} ; l'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la quantité de flavonoïde présente dans l'extrait (Figure 10) (Ribéreau-Gayon, 1968).

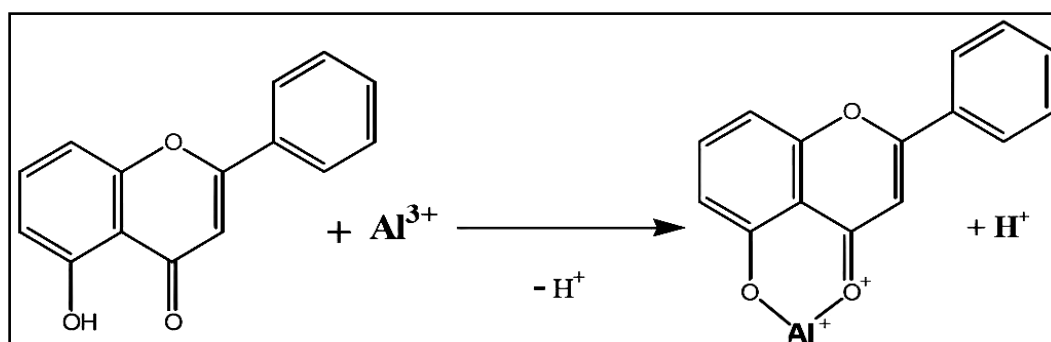


Figure 10 : Réaction du chlorure d'Aluminium avec les flavonoïdes (Ribéreau-Gayon, 1968).

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de **Djeridane *et al.* (2006)**. Brièvement, 1ml d'extrait est additionné à 1 ml de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 2 %. Après 15 min d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 420 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine par 100g MF (mg EQ / 100g MF), par référence à une courbe d'étalonnage de la quercétine ($y= 0,19X-0,05$; $R^2=0,991$).

Les flavonols sont également dosés en utilisant le chlorure d'aluminium à 2 %. Pour cela, 500 μ l d'extrait ont été ajoutés à 500 μ l d'eau distillée, 500 μ l de chlorure d'aluminium (2%) et 500 μ l d'acétate de sodium (50g/l). Après 30 min d'incubation, l'absorbance a été mesurée à 440 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine par 100g MF (mg EQ / 100g MF) ($y=7,325X+0,03$; $R^2=0,991$).

I.3.3. Les tanins condensés (proanthocyanidines)

Ce dosage est basé sur la formation des complexes tanins / protéines peuvent être dosés en utilisant le chlorure ferrique, qui forme avec eux un complexe donnant une coloration violette, mesurable par spectrophotométrie à 510 nm (**Hagerman et Butler, 1978**).

La teneur en proanthocyanidines des extraits de figue est déterminée selon la méthode décrite par **Wilfred et Nicholson (2006)**. Pour cela, 200 μ l d'extrait ont été ajoutés à 2 ml de sulfate de fer.

Les résultats sont exprimés en mg équivalent cyanidine par 100g MF (mg EC/100g MF), sont calculés selon la formule suivant :

$$C = \text{Abs} * \text{MM} * \text{FD} * 1000 / \epsilon * L$$

Où :

Abs : Absorbance à 530 nm ;

MM : Masse molaire de la cyanidine (287,24 g/mol) ;

FD : Facteur de dilution ;

L : trajet optique ;

ε : Coefficient d'extinction molaire de la cyanidine ($\epsilon = 34\,700 \text{ Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

I.3.4. Les anthocyanines

Les anthocyanines sont des pigments très sensibles au pH ; une bonne extraction de ces composés exige l'utilisation d'un solvant acidifié (HAMADOU, 2018).

La teneur en anthocyanines des figues est déterminée selon la méthode décrite par Ganjewala *et al.* (2008). Une extraction appropriée a été réalisée : 1g de broyat de figues a été mélangé avec 10 ml de mélange méthanol / Hcl (V/V). Après 10 min d'agitation, l'extrait a été centrifugé à 5000 rpm pendant 20 min. Le surnageant a été récupéré et 5ml de surnageant ont été mélangés avec 5ml de mélange méthanol / Hcl (V/V) puis l'absorbance est mesurée à 530 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine-3-glucoside par 100g MF (mg EQ3-G/100g MF), sont calculés en se référant à la formule suivante :

$$C = \text{Abs} * \text{MM} * \text{FD} * 100 / \epsilon * L$$

Où :

Abs : Absorbance à 530 nm ;

MM : Masse molaire de la quercétine-3-glucoside (464.6g/mol) ;

FD : Facteur de dilution ;

L : trajet optique ;

ε : Coefficient d'extinction molaire de la quercétine-3-glucoside (38 000 L/mol.cm).

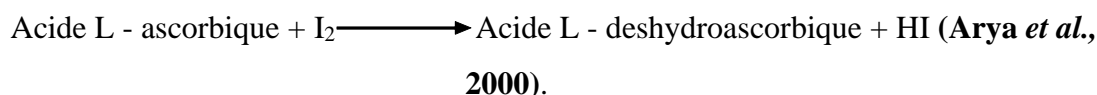
I.3.5. Les caroténoïdes

La majorité des caroténoïdes sont lipophiles, solubles dans les solvants organiques mais insolubles dans l'eau. La classe des carotènes se solubilise facilement dans l'éther de pétrole, l'hexane et le toluène ; la classe des xanthophylles sont solubles dans le méthanol (Rodriguez-Amaya et Kimura, 2004).

La teneur en caroténoïdes est réalisée selon la méthode décrite par **Sass-Kiss et al. (2005)**. 0,5 g de broyat de figes est additionné à 10 ml du mélange hexane / acétone / éthanol (2/1/1). Après 10 min d'agitation le mélange a été filtré et après séparation des deux couches, la phase supérieure a été récupérée (Phase 1). Par la suite, 5 ml d'hexane ont été ajoutés à la phase inférieure pour une deuxième extraction et après 10 min d'agitation la phase supérieure est 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 MF ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MF}$) en se référant à une courbe d'étalonnage ($y = 286,1X$; $R^2=0,997$).

I.3.6. L'acide ascorbique

Ce dosage est basé sur l'oxydation de l'acide ascorbique par l'iode en milieu acide.



Le dosage de l'acide ascorbique a été déterminé par la méthode colorimétrique décrite par **Arya et al. (2000)**, en utilisant l'iode comme révélateur et l'amidon comme un indicateur coloré. 10 g de broyat de figes ont été dissouts dans 100 ml d'eau distillée et bien homogénéisés puis filtrés. Après, 3ml d'acide sulfurique à 0,1 N et quelques gouttes d'amidon à 0,5% ont été ajoutés à 50 ml de filtrat, puis bien homogénéisé. L'acide ascorbique est titré par une solution d'iode à 0,05% jusqu'à l'apparition de la couleur bleue. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide ascorbique par 100g de MF (mg d'acide ascorbique /100g MF).

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

$$Y=N*20*4,4\text{mg acide ascorbique / litre}$$

Soit :

N : nombre de ml d'iode versés ;

Y: la quantité de l'acide ascorbique dans l'échantillon (mg/l).

I.4. Etude de l'activité antioxydante

Les composés phénoliques de plusieurs fruits ont la capacité d'exercer une activité antioxydante due à la présence des flavonoïdes (**Vinson et al., 2005**). Cette activité 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 (**Manach et al., 2005** ;

Balasundram *et al.*, 2006). De nombreuses méthodes sont utilisées actuellement pour évaluer cette activité.

I.4.1. Mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH

Le DPPH est un radical libre stable violet en solution. Il présente une absorbance caractéristique dans un intervalle compris entre 512 et 517 nm. Sa couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine (jaune) par un composé à propriété anti-radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (Figure 11). L'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons (**Sanchez-Moreno, 2002**).

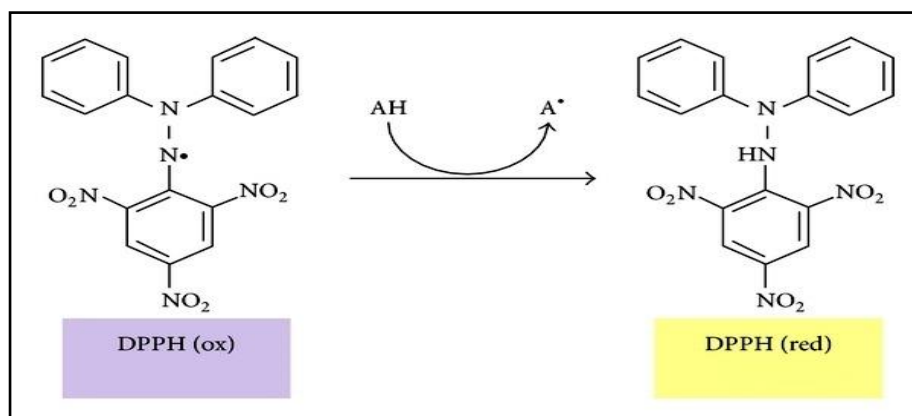


Figure 11 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (**Teixeira *et al.*, 2013**).

L'activité anti-radicalaire est mesurée selon la méthode de **Brand-Williams *et al.* (1995)**. Pour cela, 100 μ l d'extrait ont été mélangés avec 2,9 ml de solution méthionique de DPPH à 0,025g/l. Après 30 min d'incubation à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 517 nm. Les échantillons et le contrôle sont préparés dans les mêmes conditions opératoires. Les résultats sont exprimés en pourcentage selon la formule :

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

Où :

Ac : Absorbance du contrôle ;

Ae : Absorbance de l'extrait.

I.4.2. Mesure du pouvoir réducteur de fer

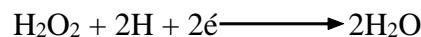
Le pouvoir réducteur est défini comme étant la capacité d'un antioxydant à transférer un électron ou à libérer un atome d'hydrogène (**Turksitha *et al.*, 2018**). Le principe de cette méthode est basé sur la réduction de Fe^{3+} (fer ferrique) en Fe^{2+} (fer ferreux) par les antioxydants contenus dans l'extrait (**Irshad *et al.*, 2012** ; **Turkistha *et al.*, 2018**) ; en présence d'un agent chromogène : le ferricyanure de potassium $[K_3Fe(CN)_6]$ en milieu acidifié par l'acide

trichloracétique (**Ribeiro et al., 2008**). La forme réduite donne une couleur verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (**Balasundram et al., 2005**).

Le pouvoir réducteur est mesuré selon la méthode de **Gülçin et al. (2002)** qui consiste à mélanger 1ml d'extrait avec 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et de 2,5 ml de ferricyanure de potassium (1%). Après incubation à 50°C pendant 20 min, 2,5 ml d'acide trichloracétique (10%) a été ajouté au mélange et les tubes ont été centrifugés à 3000 rpm pendant 10 min. Par la suite, 2,5 ml du surnageant ont été récupérés et combinés avec 2,5 ml d'eau distillée et de 0,5 ml de chlorure ferrique (FeCl₃) à 0,1%. L'absorbance est mesurée à 700 nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent acide ascorbique/100g MF, en se référant à une courbe d'étalonnage ($y = 17,587x$; $R^2 = 0,9908$).

I.4.3. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

Cette activité est basée sur l'étude du potentiel antioxydant des extraits envers le peroxyde d'hydrogène. Le principe de la réaction est l'inhibition du peroxyde d'hydrogène par un antioxydant selon la réaction (**Wettasinghe et Shahidi, 2000**) :



La capacité des extraits à piéger le peroxyde d'hydrogène est déterminée par la méthode rapportée par **Atmani et al. (2009)**. Pour cela, 1,5 ml d'extrait de figes ont été ajoutés à 1 ml de la solution du peroxyde d'hydrogène (40 mM) préparée dans le tampon phosphate (0,1 M, pH 7,4). Après incubation pendant 10 min, l'absorbance a été enregistrée à 230 nm. Le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A_c - A_e) / A_c] \times 100$$

Où :

A_c : Absorbance du contrôle ;

A_e : Absorbance de l'extrait.

I.5. Analyse statistique

Les résultats des différentes évaluations sont donnés sous forme de moyenne ± écart-types. Toutes les déterminations ont été réalisées en triple exemplaire et les données ont été analysées par ANOVA suivie d'une multiple comparaison de Tukey-Kramer HSD (Logiciel JMP, Version 7,0) avec un niveau de signification de 0,05.

II. Résultats et interprétations

II. Résultats et interprétation

II.1. Etude phytochimique

❖ Teneurs en polyphénols totaux

Les résultats des dosages des polyphénols totaux des extraits des cinq variétés de figes fraîches exprimés en mg EAG/100g MF sont présentés dans la figure 12.

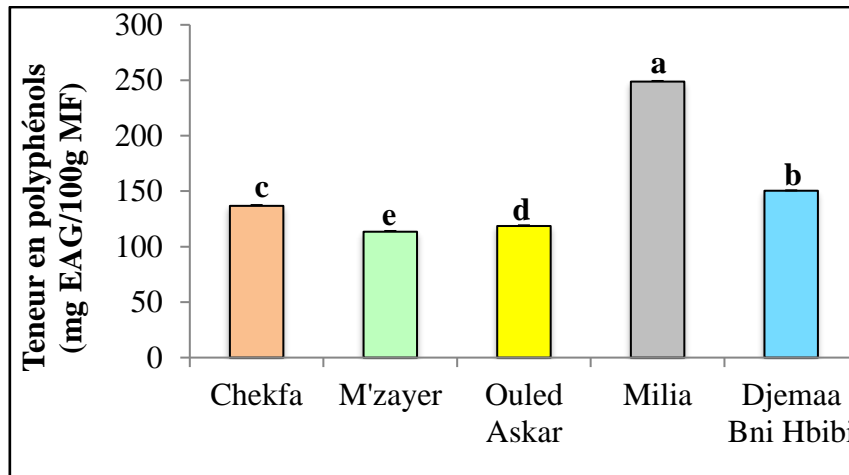


Figure 12 : Teneur en polyphénols de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

D'après le graphe, les teneurs en polyphénols totaux des extraits de cinq variétés de figes fraîches sont significativement différentes ($p < 0,05$), ils varient entre $113,47 \pm 0,65$ et $248,82 \pm 0,54$ mg EAG/100g MF. La variété de Milia est remarquablement la plus riche avec une teneur de $248,82 \pm 0,54$ mg EAG/100g MF. La plus petite quantité de polyphénols ($113,47 \pm 0,65$ mg EAG/100g MF) est celle obtenue avec la variété M'zayer.

❖ Teneurs en flavonoïdes

La figure 13 résume les résultats obtenus pour les cinq variétés de figes fraîches exprimés en mg EQ/100g MF.

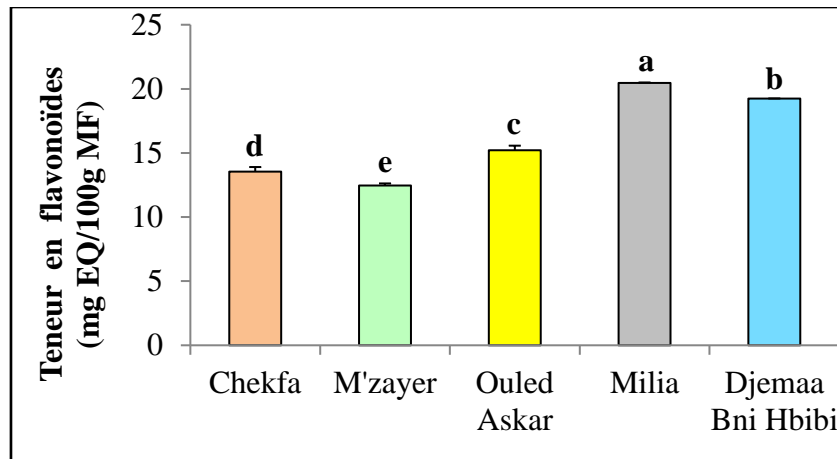


Figure 13 : Teneur en flavonoïdes de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les teneurs en flavonoïdes varient entre $12,46 \pm 0,16$ et $20,46 \pm 0,03$ mgEQ/100g MF. La figure 13 montre que les teneurs sont significativement différentes ($p < 0,05$) entre les cinq variétés où la variété Milia possède la plus forte teneur en flavonoïdes avec une valeur de $20,46 \pm 0,03$ mg EQ/100g MF alors que la variété M'zayer enregistre la teneur plus faible avec $12,46 \pm 0,16$ mg EQ/100g MF.

❖ Teneurs en flavonols

Les teneurs en flavonols des différentes variétés de figes étudiés exprimés en mg EQ/100g MF sont présentés dans la figure 14.

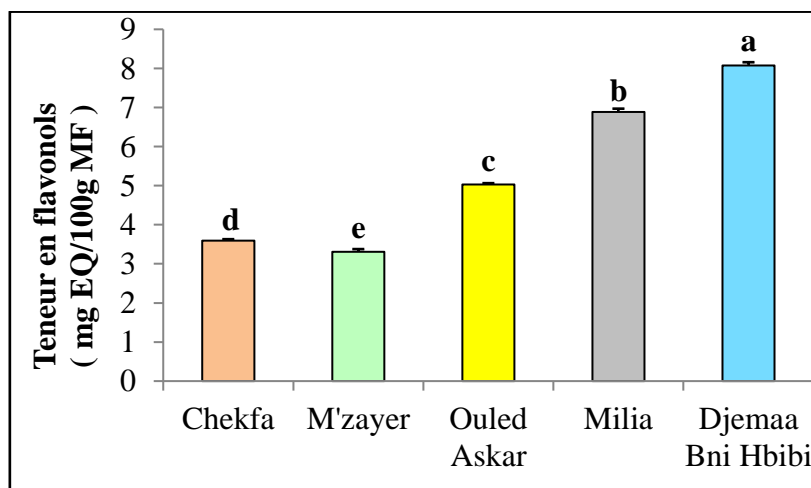


Figure 14 : Teneur en flavonols de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

D'après la figure 14, les teneurs en flavonols des extraits de cinq variétés de figes fraîches sont significativement différentes ($p < 0,05$), ils varient entre $3,30 \pm 0,06$ et $8,07 \pm 0,08$ mg EQ/100g MF. La variété Djemaa Bni Hbibbi possède la plus forte teneur en flavonols avec une valeur de $8,07 \pm 0,08$ mg EQ/100g MF alors que la variété M'zayer enregistre la teneur plus faible avec $3,30 \pm 0,06$ mg EQ/100g MF.

❖ Teneurs en tanins condensés

Les résultats du dosage des tanins condensés exprimés en mg EC/100g MF des différentes variétés sont consignés dans la figure 15.

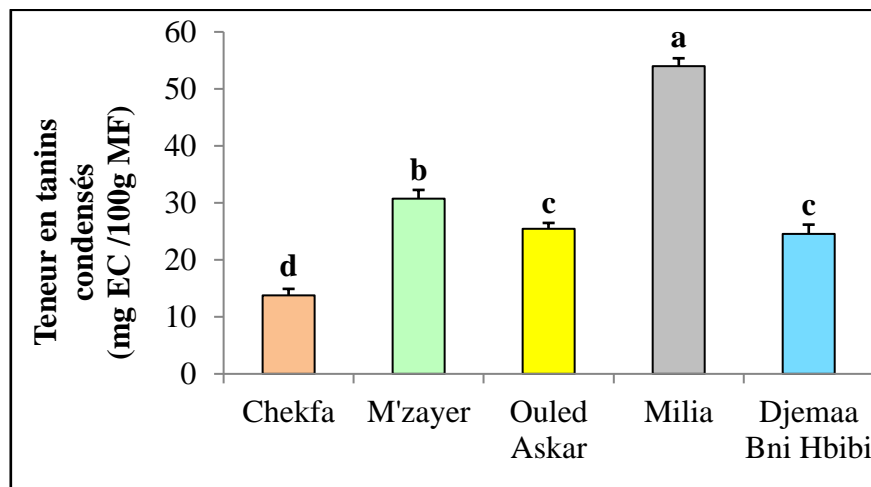


Figure 15 : Teneur en tanins condensés de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en tanins condensés varient entre $13,77 \pm 1,13$ et $53,98 \pm 1,38$ mg EC/100g MF. La variété de Milia représente la teneur la plus élevée qui est significativement différente ($p < 0,05$) des autres variétés. Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les variétés Ouled Askar et Djemaa Bni Hbibbi. La plus faible teneur en tanins condensés a été enregistrée pour la variété Chekfa.

❖ Teneurs en anthocyanines

Les résultats du dosage des anthocyanines exprimés en mg EQ-3-G/100g MF des extraits des cinq variétés de figes fraîches sont illustrés dans la figure 16.

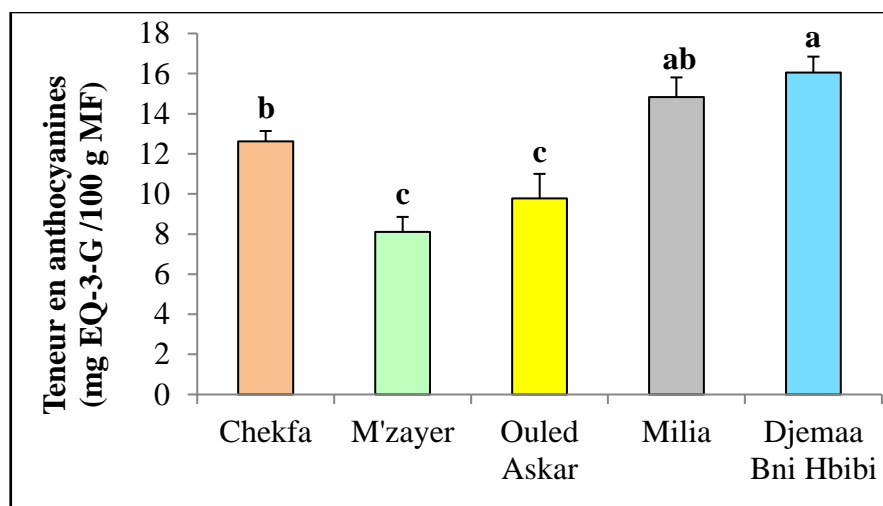


Figure 16 : Teneur en anthocyanines de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les résultats montrent que les teneurs en anthocyanines varient entre $8,10 \pm 0,74$ et $16,05 \pm 0,79$ mg EQ-3-G/100g MF. La variété Djemaa Bni Hbib est la plus riche en anthocyanines avec aucune différence significative ($p > 0,05$) de la variété de Milia. Les plus faibles teneurs ont été enregistrées pour les variétés de M'zayer et Ouled Askar et qui ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

❖ Teneurs en caroténoïdes

La figure 17 regroupe les résultats du dosage des caroténoïdes des différentes variétés de figes exprimés en $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MF}$.

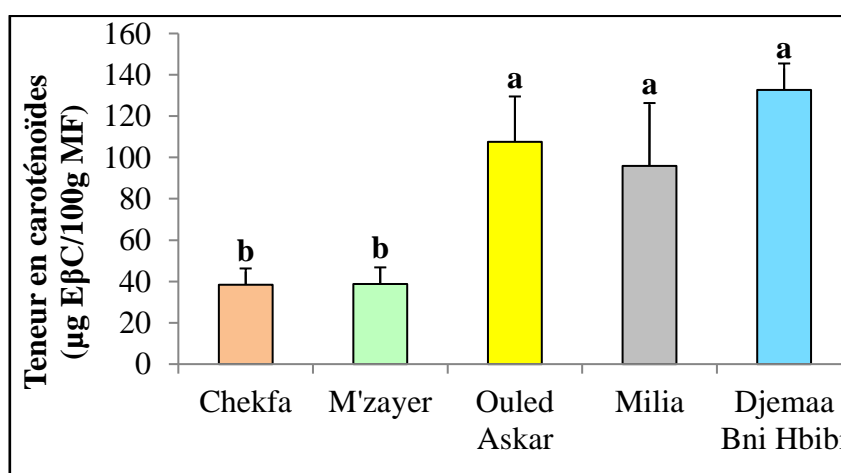


Figure 17 : Teneur en caroténoïdes de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les teneurs en caroténoïdes des extraits des échantillons analysés varie entre $38,44 \pm 7.84 \mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MF}$ pour la variété de Chekfa et $132,68 \pm 12.80 \mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MF}$ pour la variété de Djemaa Bni Hbib. Nos résultats révèlent que les teneurs en caroténoïdes ne montrent aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les variétés Djemaa Bni Hbib, Ouled Askar et Milia avec les meilleures teneurs, et les variétés de M'zayer et Chekfa qui enregistrent les plus faibles teneurs en caroténoïdes.

❖ Teneurs en acide ascorbique

Les résultats de la teneur en acide ascorbique exprimés en $\text{mg}/100\text{g MF}$ des différentes variétés de figes étudiées sont illustrés dans la figure 18.

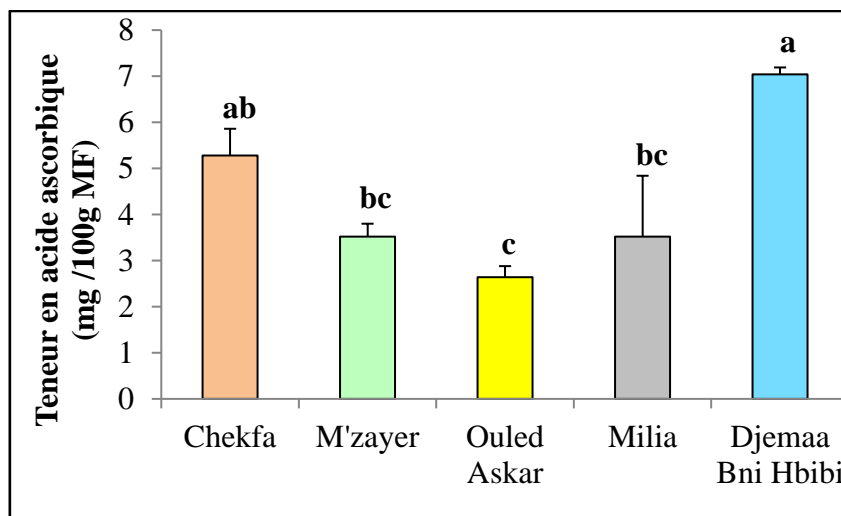


Figure 18 : Teneur en acide ascorbique de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

La teneur en acide ascorbique pour les différentes variétés est faible et ne dépasse pas $7,04 \pm 0,15 \text{ mg}/100\text{g MF}$. La plus haute teneur est notée pour la variété Djemaa Bni Hbib ($7,04 \pm 0,15 \text{ mg}/100\text{g MF}$) qui n'est statistiquement pas significativement différente ($p > 0,05$) de la variété de Chekfa qui contient environ $5,28 \pm 0,58 \text{ mg}/100\text{g MF}$. Les variétés M'zayer, Milia et Ouled Askar contiennent la plus faible teneur en acide ascorbique avec aucune différence significative ($p > 0,05$).

II.2. Résultats de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des variétés étudiées de la fige fraîche a été évaluée *in vitro* par trois méthodes différentes, le piégeage du radical libre DPPH, la chélation des ions métalliques du fer et le test de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène.

II.2.1. Activité antiradicalaire (DPPH)

L'activité antiradicalaire des extraits de cinq variétés de figes fraîches est estimée par l'utilisation de la méthode au diphényl-picrylhydrazyl (DPPH). Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 19.

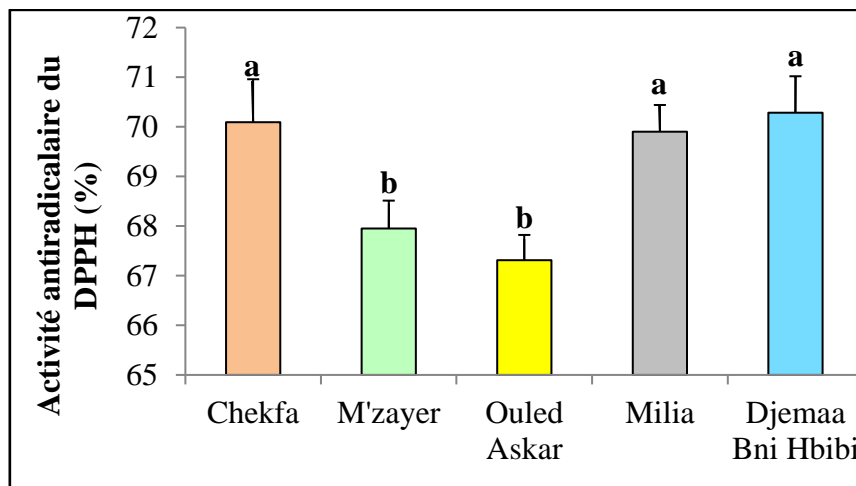


Figure 19 : Activité antiradicalaire DPPH des extraits de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits étudiés varient entre $67,31\% \pm 0,50$ et $70,28\% \pm 0,73$. D'après la figure 19, aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les pourcentages d'inhibition n'a été enregistrée pour les variétés Djemaa Bni Hbib, Chekfa et Milia qui présentent les meilleures activités antiradicalaires. En revanche, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été enregistrée pour les variétés M'zayer et Ouled Askar avec les plus faibles activités antiradicalaires.

II.2.2. Pouvoir réducteur du fer

Les résultats du pouvoir réducteur du fer des extraits de fige fraîche sont présentés dans la figure 20.

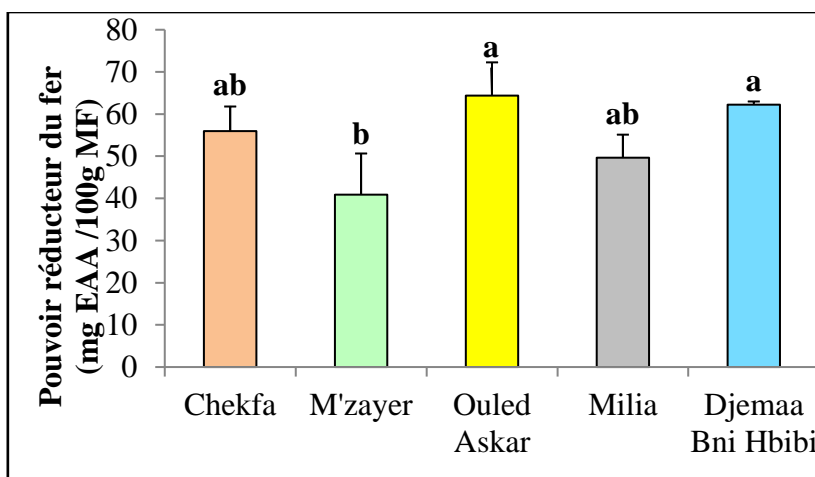


Figure 20 : Pouvoir réducteur du fer des extraits de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

Les teneurs de pouvoir réducteur du fer varient entre $40,88 \pm 9,76$ et $64,37 \pm 7,88$ mg EAA/100g MF. D'après la figure 20, les variétés Ouled Askar et Djemaa Bni Hbib qui sont significativement similaires ($p > 0,05$) montrent le meilleur pouvoir réducteur de fer. Ces deux variétés ne montrent aucune différence significative ($p > 0,05$) avec les variétés Chekfa et Milia. La variété M'zayer présente la plus faible pouvoir réducteur de fer qui est significativement différent ($p < 0,05$) des variétés Ouled Askar et Djemaa Bni Hbib.

II.2.3. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)

Les résultats de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène des extraits de figes fraîches sont représentés dans la figure 21.

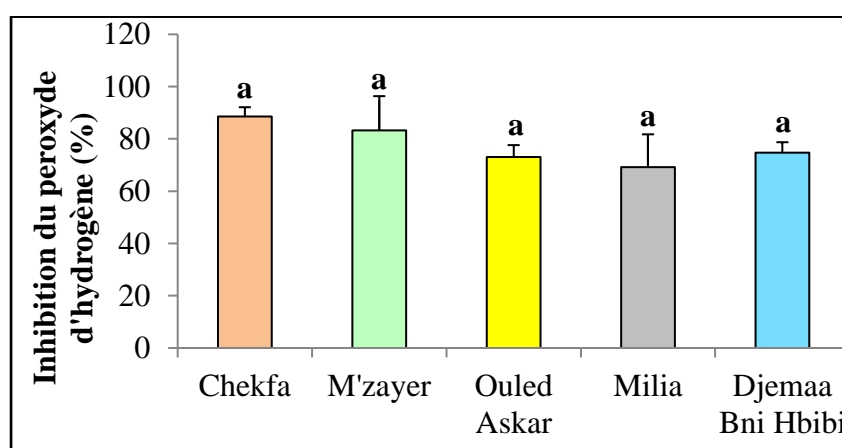


Figure 21 : L'inhibition du peroxyde d'hydrogène des extraits de cinq variétés.

Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant des lettres différentes présentent des différences significatives $a > b > c > d > e$.

D'après les résultats obtenus dans cette étude, les pourcentages de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène varient entre $69,19\% \pm 12,5$ et $88,57\% \pm 3,54$. Aucune différence significative dans les pourcentages d'inhibition du peroxyde d'hydrogène n'a été enregistrée entre les variétés.

III. Discussion

III. Discussion

Ce travail est fondé sur l'étude phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de cinq variétés de la figue fraîche (*Ficus carica* L.). Cette dernière pourrait constituer un supplément de composés phénoliques dans notre alimentation et une protection supplémentaire pour notre santé.

Dans la présente étude, l'extraction de composés phytochimiques a été réalisée à partir des échantillons de figues fraîches. Nous avons utilisé l'acétone 70% comme solvant d'extraction, et un dosage des composés phénoliques, des caroténoïdes et de vitamine C furent réalisés afin de choisir la meilleure variété. Nous avons évalué l'activité antioxydante de nos extraits en utilisant le test de DPPH, le pouvoir réducteur du fer et le test de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène.

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

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'extraction des composés phénoliques dont leur structure chimique, le temps et les conditions de stockage ainsi que la présence d'interférents, la taille des particules formant l'échantillon et le solvant d'extraction. La solubilité des composés phénolique est également affectée par la polarité du ou des solvants utilisés (Naczk et Shahidi, 2006).

L'extraction peut s'effectuer par plusieurs solvants tels que : l'eau, le méthanol, l'éthanol et l'acétone (Naczk et Shahidi, 2006). Par ailleurs, les solvants aqueux donnent les meilleures rendements d'extraction que les solvants absolus (Spignone *et al.*, 2007).

Les polyphénols sont estimés par plusieurs méthodes dont la méthode de Folin-Ciocalteu (Ribéreau-Gayon, 1982). Les résultats du dosage des polyphénols totaux montrent que la quantité en polyphénols totaux des extraits des figues fraîches ne sont pas stables et diffère d'une variété à une autre où elles sont variées entre $113,47 \pm 0,65$ et $248,82 \pm 0,54$ mg EAG/100g MF. En Algérie (Bejaïa), Meziant *et al.* (2015) ont détectés des teneurs nettement plus basses (57,7 et 89,3 mg EAG/100g MF) que les résultats obtenus dans notre étude. L'étude menée par Mahmoudi *et al.* (2018), sur neuf variétés des figues fraîches algériennes a montré que la teneur en polyphénols totaux varie entre 1,11 et 1,63 mg EAG/g MF. Ces teneurs sont supérieures à celles obtenues dans le travail de Aljane (2018) réalisé sur trente variétés de figues fraîches situées dans le Sud-est de la Tunisie, où il a trouvé des valeurs variantes entre 51,50 et 100,23 mg EAG/100g MF.

En ce qui concerne l'influence de la couleur sur la teneur en composés phénoliques de la figue (*Ficus carica* L.), une étude effectuée par Çalışkan et Polat (2011) menée sur cinq variétés de

figues fraîches a montré que les variétés avec peau vert contient une teneur en polyphénols (54,3 mg EAG/100g MF) plus élevé que les variétés avec peau jeune (49,2 mg EAG/100g MF). D'après nos résultats, la variété de Milia avec peau vert foncé a enregistré le plus haut niveau en polyphénols totaux par contre la variété M'zayer avec peau jeune a montré la plus faible teneur en polyphénols. Par ailleurs la teneur en composés phénoliques est fortement affectée par la couleur de la peau du fruit.

La détermination quantitative des flavonoïdes été effectuée par la méthode du trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$). Selon **Gómez-Caravaca et al. (2006)**, les flavonoïdes constituent la classe polyphénolique la plus importante.

Les résultats de la présente étude montrent que les teneurs en flavonoïdes varient entre $12,46 \pm 0,16$ et $20,46 \pm 0,03$ mg EQ/100g MF.

Des études réalisées par **Meziant et al. (2015)** sur six variétés de figues fraîches algériennes (Bejaïa) ont montré des teneurs qui varient entre 2.98 et 5.01 mg EQ/100g MF. Par ailleurs, **Petkova et al. (2019)** ont montré que le taux des flavonoïdes dans l'échantillon de figues fraîches de Bulgarie était de 11,4 mg EQ/100g MF. Ces résultats sont plus inférieurs que les résultats obtenus dans notre étude. D'après **Solomon et al. (2006)**, les teneurs en flavonoïdes de six variétés de figues fraîches étaient comprises entre 2,1 et 21,5 mg EQ/100g MF. L'étude menée par **Ribarova et al. (2005)** montre que la teneur en flavonoïde de figues fraîches est de 20.2 mg EQ/100g MF, ces teneurs sont plus proche de nos résultats. Autres études ont rapporté que la peau et la pulpe de figues fraîches avaient des niveaux plus élevés en flavonoïdes avec 149,456 et 254,25 mg EQ/g MF respectivement (**Mahmoudi et al., 2018**).

Les flavonols et en particulier la quercétine, sont largement répandus dans les plantes et sont présents en quantités considérables dans les fruits (**Perez-Vizcaino et Duarte, 2010**). Ils sont également dosés un utilisant le même réactif pour le dosage des flavonoïdes ($AlCl_3$). Nos résultats ont donnés des faibles teneurs en flavonols variant entre $3,30 \pm 0,06$ et $8,07 \pm 0,08$ mg EQ/100g MF.

Selon **Del Caro et Piga (2008)**, les flavonols sont quasiment absents dans la pulpe mais plutôt concentrés au niveau de la peau des figues fraîches. Les teneurs enregistrées sont de 145,10 mg EQ/100g MF dans la peau de la figue noire et seulement 69,74 mg EQ/100g MF dans la figue blanche. Cette étude peut expliquer la différence enregistrée entre nos variétés où la variété Djemaa Bni Hbibbi de peau vert foncé possède la meilleur teneur en flavonols. Selon d'autres études réalisées par **Vallejo et al. (2012)** sur dix-huit cultivars différents de figues fraîches, les

résultats ont montré que le quercétine-rutinoside était le principal composé de flavonols qui atteint environ de 16 mg EQ/100g MF.

La méthode utilisée pour évaluer la quantité des tanins condensés est basée sur la capacité des tanins à former des complexes avec des protéines, le complexe forme une solution colorée (**Hagerman et Butler, 1978**).

Nos résultats montrent que les teneurs en tanins condensés varient entre $13,77 \pm 1,13$ et $53,98 \pm 1,38$ mg EC/100g MF.

D'après **Mahmoudi et al. (2018)**, les teneurs des tanins condensés de neuf variétés de figes fraîches algériennes (Bouira) étaient comprises entre 0,388 et 18,468 μg EC/g MF pour la peau et 0,607 à 4,420 μg EC/g MF pour la pulpe, ces teneurs sont inférieures à nos résultats. L'étude menée par **Harzallah et al. (2016)** sur la fige en Tunisie a montré que la teneur totale en tanins condensés était de 75.98 mg EAT/g MF dans la peau, 65,87 mg EAT/g MF dans la pulpe et 60.35 mg EAT/g MF dans le fruit entier. Ces résultats sont plus importants que nos résultats.

La faible teneur en tanins est peut-être due à la composition chimique de la plante ou à la présence de composés phénoliques ayant une masse moléculaire inférieure à 500 Da qui sont de ce fait incapable de faire précipiter les protéines (**Lesschaeve et Noble, 2005**). Par contre la richesse en tanins peut être expliquée par l'augmentation de leur masse moléculaire, le degré de polymérisation et le nombre de groupements hydroxyles des composés phénoliques qui accroît l'affinité et favorise leur précipitation avec les protéines (**Cosme et al., 2008**).

Il faut noter que la procédure la plus commune pour extraire les anthocyanines est l'utilisation d'un solvant acidifié ; le méthanol/acide chlorhydrique (Hcl) (**Ganjewala et al., 2008**).

Notre expérience a montré des teneurs en anthocyanines des figes fraîches entre $24,31 \pm 0,74$ et $48,15 \pm 0,79$ mg EQ 3-G/100g MF.

Les teneurs en anthocyanines des figes varient significativement selon les variétés, la partie du fruit considérée (pulpe, peau) et la couleur de la peau (**Del Caro et Piga, 2008 ; Dueñas et al., 2008 ; Çalışkan et Polat, 2011**).

Selon **Del Caro et Piga (2008)**, les teneurs en anthocyanines sont de 92,92 mg EC 3-O-R /100g MF dans la peau de la fige noire et seulement de 0,49 mg EC 3-O-R/100g MF dans la pulpe, alors que la fige blanche ne contient que 1,76 mg EC 3-O-R/100g MF dans la pulpe. **Mahmoudi et al. (2018)**, montré des quantités importantes d'anthocyanines avec 159,608 μg EC 3-O-R/g MF pour les peaux et 144,725 μg EC 3-O-R/g MF pour les pulpes. D'autre étude menée par **Çalışkan et Polat (2011)** présentaient des profils en anthocyanines variables en fonction de la couleur de la peau du fruit. Les accessions de figes présentent une gamme attrayante de

diverses couleurs de peau de fruits, allant du noir foncé au jaune-vert. Les accessions foncées contenaient les niveaux les plus élevés d'anthocyanines (128.4 µg EC 3-O-R/g MF), tandis que les accessions vertes et jaunes contenaient les niveaux les plus bas (8.5 et 8.7 µg EC 3-O-R/g MF respectivement). **Aljane (2018)** a trouvé des valeurs d'anthocyanines variant entre 1,61 et 11.67 mg/100g MF. **Solomon et al. (2006)** ont rapporté que les différences en coloration des fruits peuvent résulter de l'expression différente des gènes responsables de la voie de biosynthèse des anthocyanines.

Plusieurs études ont montré que la différence des teneurs en composés phénoliques est expliquée par le fait que la qualité et la quantité de ces composés qui existe dans les fruits *Ficus carica* L. (**Naczak et Shahidi, 2006 ; Dai et Mumper, 2010**) sont influencées par l'origine géographique, les conditions environnementales (type de sol, climat, quantité de lumière solaire reçue) (**Meziant et al., 2015**) et celles de stockage après récolte, les variétés, les conditions d'extraction...etc (**Ebrahimi et al., 2008 ; Falleh et al., 2008 ; Bey et Louaileche, 2015**). La pluviométrie et la saison de récolte font également varier la concentration en composés phénoliques de la figue ; la teneur est plus élevée en deuxième saison de récolte (septembre) par rapport à la première saison (juin) (**Veberic et al., 2008**).

Les caroténoïdes sont des pigments insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants apolaires comme l'hexane (**Ouchemoukh et al., 2012**). La détermination quantitative des caroténoïdes est réalisée selon la méthode décrite par **Sass-Kiss et al. (2005)**.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que les teneurs en caroténoïdes de cinq variétés de figes fraîches varient entre $38,44 \pm 7,84$ et $132,68 \pm 12,80$ µg EβC /100g MF. Nos résultats sont inférieurs à ceux trouvés par **Petkova et al. (2019)** qui ont montré que la teneur en caroténoïdes dans la figue fraîche avant la congélation est de 3,5 µg /g MF, tandis que dans les figes congelées, leur contenu diminué d'environ 50 % à 1,7 µg /g MF. Cette étude explique que la teneur en caroténoïde est influencée par la congélation. Les résultats de l'étude **D'Allegra et al. (2015)** sur deux cultivars de figes fraîches en Italie, ont rapporté que la teneur en caroténoïde varie selon la couleur de la peau et de la pulpe où la meilleure teneur est concentrée dans la peau voilette foncée de la figue fraîche. Cette étude peut expliquer la différence dans la teneur en caroténoïdes de chaque variété constatée dans nos résultats.

D'autre l'étude menée par **Yemis et al. (2012)** sur deux variétés de figes fraîches en Turquie ont montré que la teneur en caroténoïdes était de 23, 71 et 29,65 µg /g MF.

Su et al. (2002) ont montré que les caroténoïdes présents dans les figes fraîches comprenaient la lutéine (0.08 mg/100g), carotène (0.04 mg/100g), le lycopène (0.32 mg/100g), le b- et a-

carotène (0.02 mg/100g), cryptoxanthine (0.01 mg/100g), où le lycopène était le caroténoïde le plus abondant. Selon **Arvanti et al. (2019)**, le β -carotène, zéaxanthine et la lutéine ont été identifiés comme les composés prédominants dans les figes fraîches.

Les caroténoïdes peuvent varier à la fois qualitativement et quantitativement en raison de nombreux facteurs tels que la variété, transformation, stockage, climat, site géographique de production (**Yemis et al., 2012**), stade de maturité où la baisse des caroténoïdes se produisent pendant le processus de maturation des figes (**Zidi et al., 2020**).

L'acide ascorbique est le composé qui désigne la vitamine C. Cette vitamine joue un rôle important contre le stress oxydatif, provoqué par les espèces réactives de l'oxygène (O_2^- , H_2O_2) (**Hodges et al., 2001**).

Les teneurs en acide ascorbique pour les variétés analysées dans notre expérience varient entre $2,64 \pm 0,24$ et $7,04 \pm 0,15$ mg/100g MF.

Quelques études sont intéressées à la quantification de l'acide ascorbique dans la fige. Selon l'étude menée par **HT et al. (2013)** sur trois variétés de figes fraîches égyptiennes, les concentrations de la vitamine C varient entre 2.16 et 6.71 mg/100g MF. Une autre étude réalisée par **Mahmoudi et al. (2018)** sur neuf variétés des figes fraîches algériennes a montré que les concentrations de la vitamine C dans les pulpes et les peaux variaient entre 1.33 et 10.67 mg /100g MF.

Le contenu en acide ascorbique peut être affecté par plusieurs paramètres comme le climat (plus l'intensité de lumière augmente, plus la teneur en acide ascorbique augmente), la méthode de récolte (des fruits endommagés à la récolte conduisent à une perte de l'acide ascorbique), le stockage et les transformations post-récolte (**Valente et al., 2011**).

Les composés phénoliques de plusieurs fruits ont la capacité d'exercer une activité antioxydante (**Vinson et al., 2005**), cette dernière a été évaluée par trois méthodes différentes : la méthode du test DPPH, le pouvoir réducteur de fer et le test de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2).

Nos résultats montrent que tous les extraits de figes fraîches analysées possèdent une activité antioxydante.

Le test au DPPH est généralement le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale libre et la simplicité de l'analyse (**Huang et Ingber, 2005 ; Bozin et al., 2008**).

Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH dans notre étude varient entre $67,31 \pm 0,50\%$ et $70,28 \pm 0,73\%$.

L'étude réalisée par **Aljan (2018)** montre que les pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH varient entre 11,36% et 64,737%. **Trifunski et al. (2015)** ont montré que l'activité antiradicalaire dans l'échantillon de figes fraîches de Roumanie était de 44%. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus dans notre étude.

Des études sur la relation entre la structure chimique des composés phénoliques et leur pouvoir piègeur des radicaux libres ont montré que l'activité antiradicalaire est dépendante du nombre, de la position et de la nature des substituant sur les cycles B et C (groupements hydroxyles, metaxylés, glycosylés) et le degré de polymérisation (**Karamac et al., 2005 ; Tabart et al., 2009**). Ces mêmes paramètres sont liés également à la polarité des composés ; l'activité est plus élevée quand la polarité plus forte (**Hatzidimitriou et al., 2007**).

Le pouvoir réducteur du fer de nos extraits de la fige a été mesuré selon la méthode **Gülçin et al. (2002)**, et déterminé par la mesure de l'absorbance à 700 nm. La réduction du fer est proportionnelle à l'augmentation de l'absorbance et de la concentration étudiée (**Balasundram et al., 2005**).

Nos résultats montrent que les teneurs de pouvoir réducteur du fer varient entre $40,88 \pm 9,76$ et $64,37 \pm 7,88$ mg EAA/100g MF.

L'étude menée par **Veberic et al. (2008)** sur trois cultivars des figes fraîches dans la région de Slovénie ont montré que le pouvoir réducteur des extraits varie entre 29,3 et 53,3 mg EAA/kg MF. L'activité de la réduction de fer de nos extraits est meilleure par rapport à ces résultats. Une autre étude réalisée par **Slatnar et al. (2011)** ont montré que le pouvoir réducteur des extraits de la fige fraîche varie entre 29.3 et 140 mg EAA/kg MF.

L'activité observée indiquerait la présence de composés donneurs d'électrons dans les extraits entraînant la réduction de Fe^{3+} (fer ferrique) en Fe^{2+} (fer ferreux) (**Ebrahimzadeh et al., 2010**).

Le peroxyde d'hydrogène est un agent oxydant faible. 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 (**Bey et Louaileche, 2015**).

L'étude statistique de nos résultats ne démontre aucune différence significative entre les cinq variétés étudiées avec des bons pourcentages d'inhibition du peroxyde d'hydrogène ($69,19 \pm 12,54\%$ et $88,57 \pm 3,54\%$). Ces résultats sont supérieurs par rapport à ceux trouvés dans l'étude réalisé par **Ersoy et al. (2015)** sur quatre cultivars qui ont rapporté des pourcentages d'inhibition du H_2O_2 entre 52.82% et 66.03%. Selon **Atmani et al. (2009)**, la capacité des extraits à piéger le

peroxyde d'hydrogène est déterminée par la présence des composés phénoliques, qui pourraient donner des électrons à peroxyde d'hydrogène en le neutralisant en molécule d'eau.

Des études menées sur les figes fraîches concernant la corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et les activités antioxydantes mesurée par plusieurs méthodes ont rapporté des résultats contradictoires. Certains auteurs (**Solomon *et al.*, 2006 ; Veberic *et al.*, 2008 ; Petkova *et al.*, 2019**) ont rapporté d'une corrélation positive entre la teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes et différentes méthodes analytiques dont le DPPH et la réduction de fer tandis que une corrélation négative a été observée par **Meziant *et al.* (2015)** dans des cultivars algériens.

Certains auteurs ont affirmé que les composés phénoliques ne pas les seuls facteurs responsables de l'activité antioxydante, mais que la présence d'autres composés phytochimiques (par exemple, caroténoïdes, terpènes, glucides réducteurs) peut influencer l'activité antioxydante totale (**Petruccelli *et al.*, 2018**). Les acides malique, citrique et ascorbique possèdent également une activité antioxydantes (**Meziant *et al.*, 2015**).

D'autres facteurs peuvent agir sur les propriétés antioxydantes d'un composé tels que des effets synergiques et antagonistes possibles entre des composants supplémentaires, des interactions entre l'environnement physique de l'échantillon et les composés phénoliques ou l'activité de composés phénoliques spécifiques qui n'ont pas été convenablement déterminés (**Petruccelli *et al.*, 2018**).

Les différences dans la région de culture des fruits et les mesures technologiques, le stade de maturation, les conditions avant et après la récolte et les divergences annuelles sont les facteurs les plus influents contribuant à la variation de l'activité antioxydante de la fige. De plus, l'activité antioxydante dépend des propriétés du solvant et des techniques d'extraction (**Veberic et Mikulic-Petkovsek, 2016**).

Conclusion

La figue est l'une des plus anciennes espèces de fruits domestiquées qui poussent généralement dans les zones climatiques chaudes et sèches. Les fruits des arbres de figuier sont largement utilisés. Ils sont une excellente source de nombreuses substances antioxydantes tel que les composés phénoliques, les caroténoïdes, les anthocyanines et la vitamine C qui caractérisent ce fruit et lui donne des propriétés thérapeutiques remarquables.

La présente étude a permis le dosage de ces substances antioxydantes ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante à partir de cinq échantillons de figes *Ficus carica* L. à l'état frais qui ont été récoltés de cinq sites différents dans la région de Jijel.

Les résultats de la présente étude révèlent que la variété a une influence sur la composition quantitative et qualitative en antioxydants. La variété de Milia est la plus riche en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés par rapport aux autres variétés qui présentent des teneurs moyenne. La variété de Djemaa Bni Hbib est la plus riche en flavonols, caroténoïdes, anthocyanines et en vitamine C.

L'activité antioxydante *in vitro* de cinq extraits de *Ficus carica* L. a été évaluée par trois méthodes distinctes, à savoir la méthode de piégeage des radicaux 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH), la méthode de pouvoir réducteur du fer et le test de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂).

Les résultats révèlent que la variété Djemaa Bni Hbib présente la meilleure activité antiradicalaire. Concernant la technique de réduction du fer, les résultats montrent une activité réductrice supérieure chez la variété Ouled Askar. Pour le test de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène, aucune différence significative entre les variétés n'a été enregistrée avec un pourcentage d'inhibition remarquablement important.

Ces résultats restent préliminaires et nécessitent des études complémentaires approfondies à différents niveaux. Nos perspectives d'avenir sont de :

- ❖ Caractériser les différentes classes de composés phénoliques par la technique d'HPLC.
- ❖ Evaluer l'activité antioxydante avec d'autres méthodes.
- ❖ Evaluer *in vivo* l'activité antioxydante de la figue fraîche.
- ❖ Etudier l'effet de la congélation sur la quantité et la qualité des antioxydants des figes fraîches.
- ❖ Evaluer d'autre activité biologique dont l'activité anticancéreuse, anti-inflammatoire... etc.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- Ahmed, K. S., Banik, R., Hossain, M. H., & Jahan, I. A. (2016).** Vitamin C (L-ascorbic acid) content in different parts of *Moringa oleifera* grown in Bangladesh. *American Chemical Science Journal*, 11(1), 1-6.
- Aljane, F. (2018).** Evaluation des composés phénoliques et des activités antioxydantes des figues (*Ficus carica* L.). *Bari-Chania-Montpellier-Zaragoza*.
- Allegra, A., Alfeo, V., Gallotta, A., & Todaro, A. (2015, August).** Nutraceutical content in 'Melanzana' and 'Dottato' fig fruit (*Ficus carica* L.). In *V International Symposium on Fig 1173* (pp. 319-322).
- Al-Snafi, A. E. (2017).** Nutritional and pharmacological importance of *Ficus carica*-A review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 7(3), 33-48.
- Amić, D., Davidović-Amić, D., Bešlo, D., & Trinajstić, N. (2003).** Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica chemica acta*, 76(1), 55-61.
- 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.
- Arya, S. P., Mahajan, M., & Jain, P. (2000).** Non-spectrophotometric methods for the determination of Vitamin C. *Analytica Chimica Acta*, 417(1), 1-14.
- Atmani, D., Chaher, N., Berboucha, M., Ayouni, K., Lounis, H., Boudaoud, H., ... & Atmani, D. (2009).** Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chemistry*, 112(2), 303-309.
- Bachir Bey, M., Richard, G., Meziat, L., Fauconnier, M. L., & Louaileche, H. (2017).** Effects of sun-drying on physicochemical characteristics, phenolic composition and *in vitro* antioxidant activity of dark fig varieties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13164.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- Balasundram, N., Tan, Y. A., Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Samman, S. (2005).** Antioxidant properties of palm fruit extracts. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 14(4), 319.

- Bate-Smith, E. C. (1954).** Leuco-anthocyanins. 1. Detection and identification of anthocyanidins formed from leuco-anthocyanins in plant tissues. *Biochemical Journal*, 58(1), 122.
- Baudin, B. (2020).** Stress oxydant et protections antioxydantes. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(522), 22-30.
- Benamara, S., & Agougou, A. (2003).** Production des jus alimentaires: Technologie des industries alimentaires. *Edition OPU office des oeuvres universitaires*.
- Bendich, A., Machlin, L. J., Scandurra, O., Burton, G. W., & Wayner, D. D. M. (1986).** The antioxidant role of vitamin C. *Advances in Free Radical Biology & Medicine*, 2(2), 419-444.
- Benettayeb, Z. É. (1993).** Biologie et écologie des arbres fruitiers.
- Bey, M. B., & 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 J. Phyto*, 4(1), 41-48.
- Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.
- Bouayed, J., Rammal, H., Younos, C., Dicko, A., & Soulimani, R. (2008).** Caractérisation et bioévaluation des polyphénols: nouveaux domaines d'application en santé et nutrition. *Phytothérapie*, 6(2), 71-74.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., & Igetic, R. (2008).** Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., *Alliaceae*). *Food chemistry*, 111(4), 925-929.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Bucić-Kojić, A., Planinić, M., Tomas, S., Jokić, S., Mujić, I., Bilić, M., & Velić, D. (2011).** Effect of extraction conditions on the extractability of phenolic compounds from lyophilised fig fruits (*Ficus carica* L.). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(3).
- Caliskan, O. (2015).** Mediterranean figs (*Ficus carica* L.) functional food properties. In *The Mediterranean Diet* (pp. 629-637). Academic Press.
- 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.

- Chawla, A., Kaur, R., & Sharma, A. K. (2012).** *Ficus carica* Linn. : A review on its pharmacognostic, phytochemical and pharmacological aspects. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological 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., ... & Kheldoun, A. (2006).** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. *INRAA/FAO/Juin*.
- Cillard, J., & Cillard, P. (2006).** Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *Oleagineux, corps gras, lipides*, 13(1), 24-29.
- Cosme, F., Ricardo-da-Silva, J. M., & Laureano, O. (2008).** Interactions between protein fining agents and proanthocyanidins in white wine. *Food Chemistry*, 106(2), 536-544.
- Cowan, M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564-582.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010).** Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.
- Déborah H. et Stéphanie O. (2008).** Fraîche ou séchée, la figue est dévoilée. Haute école de santé Genève, Filière Nutrition et diététique. 1-3.
- Del Caro, A., & Piga, A. (2008).** Polyphenol composition of peel and pulp of two Italian fresh fig fruits cultivars (*Ficus carica* L.). *European Food Research and Technology*, 226(4), 715-719.
- Delattre, J., Durand, G., & Jardillier, J. C. (2003).** *Biochimie pathologique: aspects moléculaires et cellulaire*. Flammarion médecine-sciences.
- Derbel, S., & Ghedira, K. (2005).** Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie*, 3(1), 28-34.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006).** Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660.
- Droge, W. (2002).** Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological reviews*, 82(1), 47-95.
- 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.

- Dutta-Roy, A. K. (1999).** Molecular mechanism of cellular uptake and intracellular translocation of α -tocopherol: role of tocopherol-binding proteins. *Food and chemical toxicology*, 37(9-10), 967-971.
- Ebrahimi, F., Mikaeili, M., Estrada, E., & Nazeran, H. (2008, August).** Automatic sleep stage classification based on EEG signals by using neural networks and wavelet packet coefficients. In *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 1151-1154). IEEE.
- Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. M. Nabavi, S. F., Bahramian, F., & Bekhradnia, A.R (2010).** Antioxidant and free radical scavenging activity of *H. officinalis* L. var. *angustifolius*, *V. odorata*, *B. hyrcana* and *C. speciosum*. *Pak J Pharm Sci*, 23(1), 29-34.
- El-Agamey, A., Lowe, G. M., McGarvey, 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.
- Ercisli, S., Tosun, M., Karlidag, H., Dzibur, A., Hadziabulic, S., & Aliman, Y. (2012).** Color and antioxidant characteristics of some fresh fig (*Ficus carica* L.) genotypes from Northeastern Turkey. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(3), 271-276.
- Ersoy, N., Gozlekci, S., Gok, V., & Yilmaz, S. (2015, August).** Fig (*Ficus carica* L.) fruit: some physical and chemical properties. In *V International Symposium on Fig 1173* (pp. 329-334).
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008).** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379.
- FAO. (2019).** (Organisation des nations unis pour l'alimentation et l'Agriculture).
- Farahnaky, A., Ansari, S., & Majzoobi, M. (2009).** Effect of glycerol on the moisture sorption isotherms of figs. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 468-473.
- Favier, A. (2003).** Le stress oxydant. *L'actualité chimique*, 108(10), 863-832.
- Fiorucci, S., Golebiowski, J., Cabrol-Bass, D., & Antonczak, S. (2007).** DFT study of quercetin activated forms involved in antiradical, antioxidant, and prooxidant biological processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 903-911.
- Flora, S. J. S. (2007).** Role of free radicals and antioxidants in health and disease. *Cellular and Molecular Biology*, 53(1), 1-2.
- 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.

- Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
- Gómez-Caravaca, A. M., Gómez-Romero, M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2006).** Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(4), 1220-1234.
- Gramza, A., & Korczak, J. (2005).** Tea constituents (*Camellia sinensis* L.) as antioxidants in lipid systems. *Trends in Food Science & Technology*, 16(8), 351-358.
- Gülçin, İ., Oktay, M., Küfrevioğlu, Ö. İ., & Aslan, A. (2002).** Determination of antioxidant activity of lichen *Cetraria islandica* (L) Ach. *Journal of ethnopharmacology*, 79(3), 325-329.
- Guvenc, M., Tuzcu, M., & Yilmaz, O. (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.
- Hagerman, A. E., & Butler, L. G. (1978).** Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 26(4), 809-812.
- HAMADOU, H. H., KALLO, M. S., MANZO, L. M., MOUSSA, I., ADAMOU, R., & IKHIRI, K. (2018).** Criblage phytochimique et dosage des polyphénols du *Detarium microcarpum* Guill. Et Perr. Utilisé dans le traitement des maladies parasitaires au Niger. *Afrique science*, 14(5), 390-399.
- Hanasaki, Y., Ogawa, S., & Fukui, S. (1994).** The correlation between active oxygens scavenging and antioxidative effects of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 16(6), 845-850.
- Harzallah, A., Bhouri, A. M., Amri, Z., Soltana, H., & Hammami, M. (2016).** Phytochemical content and antioxidant activity of different fruit parts juices of three figs (*Ficus carica* L.) varieties grown in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 83, 255-267.
- Haslam, E. (1989).** *Plant polyphenols: vegetable tannins revisited*. CUP Archive.
- Hatzidimitriou, E., Nenadis, N., & Tsimidou, M. Z. (2007).** Changes in the catechin and epicatechin content of grape seeds on storage under different water activity (aw) conditions. *Food Chemistry*, 105(4), 1504-1511.
- Herrera, E., & Barbas, C. (2001).** Vitamin E: action, metabolism and perspectives. *Journal of physiology and biochemistry*, 57(1), 43-56.
- Herrmann, K. (1976).** Flavonols and flavones in food plants: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 11(5), 433-448.

- Hodges, D. M., Forney, C. F., & Wismer, W. V. (2001).** Antioxidant responses in harvested leaves of two cultivars of spinach differing in senescence rates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(5), 611-617.
- HT, A. F., AA, A. N., HA, A. G., & HOA, O. (2013).** Physicochemical and Technological Studies on Some Local Egyptian Varieties of Fig (*Ficus carica* L.). *Alexandria Science Exchange Journal*, 34(April-June), 189-203.
- Huang, S., & Ingber, D. E. (2005).** Cell tension, matrix mechanics, and cancer development. *Cancer cell*, 8(3), 175-176.
- Irshad, M., & Chaudhuri, P. S. (2002).** Oxidant-antioxidant system: role and significance in human body.
- Irshad, M., Zafaryab, M., Singh, M., & Rizvi, M. (2012).** Comparative analysis of the antioxidant activity of *Cassia fistula* extracts. *International journal of medicinal chemistry*, 2012.
- Janick, J., & Paull, R. E. (Eds.). (2008).** *The encyclopedia of fruit and nuts*. CABI.
- Joseph, B., & Raj, S. J. (2011).** Pharmacognostic and phytochemical properties of *Ficus carica* Linn—An overview. *International journal of pharmtech research*, 3(1), 8-12.
- Karamac, M., Kosińska, A., & Pegg, R. B. (2005).** Comparison of radical-scavenging activities for selected phenolic acids. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(2), 165-170.
- Kowalczyk, E., Krzesiński, P., Kura, M., Szmigiel, B., & Blaszczyk, J. (2003).** Anthocyanins in medicine. *Polish journal of pharmacology*, 55(5), 699-702.
- 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.
- Lecerf, J. M., Luc, G., & Fruchart, J. C. (1994).** Vitamine E, antioxydants et athérosclérose. *La Revue de médecine interne*, 15(10), 641-649.
- Lee, J., Koo, N., & Min, D. B. (2004).** Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 3: 21–33.
- Lesschaeve, I., & Noble, A. C. (2005).** Polyphenols: factors influencing their sensory properties and their effects on food and beverage preferences. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 330S-335S.
- 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.

- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005).** *Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique.* PPUR presses polytechniques.
- 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.
- 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.
- Mawa, S., Husain, K., & Jantan, I. (2013).** *Ficus carica* L. (*Moraceae*): Phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
- Meziant, L., Saci, F., BACHIR BEY, M., & Louaileche, M. (2015).** Varietal influence on biological properties of Algerian light figs (*Ficus carica* L.). *Int. J. Bioinfo. Biomed. Eng*, 1, 237-243.
- Naczka, M., & Shahidi, F. (2006).** Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1523-1542.
- Nassour, R., Ayash, A., & Al-Tameemi, K. (2020).** Anthocyanin pigments: Structure and biological importance. *J. Chem. Pharm. Sci*, 13, 45-57.
- Nijveldt, R. J., Van Nood, E. L. S., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., & Van Leeuwen, P. A. (2001).** Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74(4), 418-425.
- Okuda, T., & Ito, H. (2011).** Tannins of constant structure in medicinal and food plants hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules*, 16(3), 2191-2217.
- 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 diversifié à exploiter. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA*, 106(4).

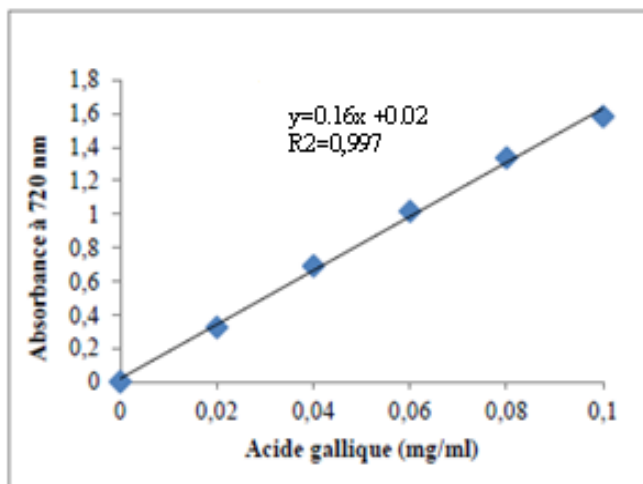
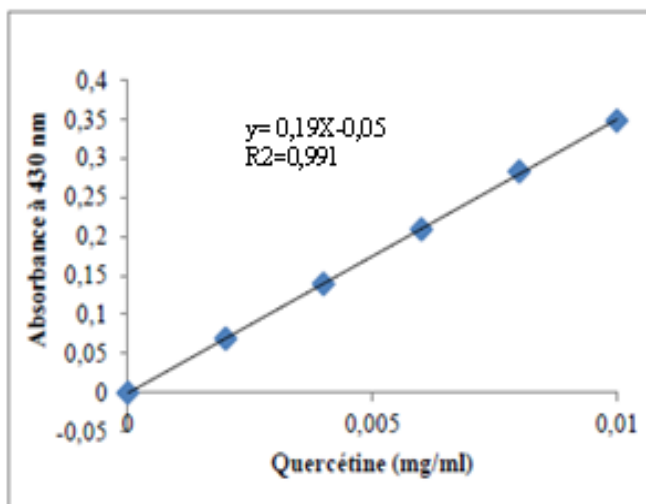
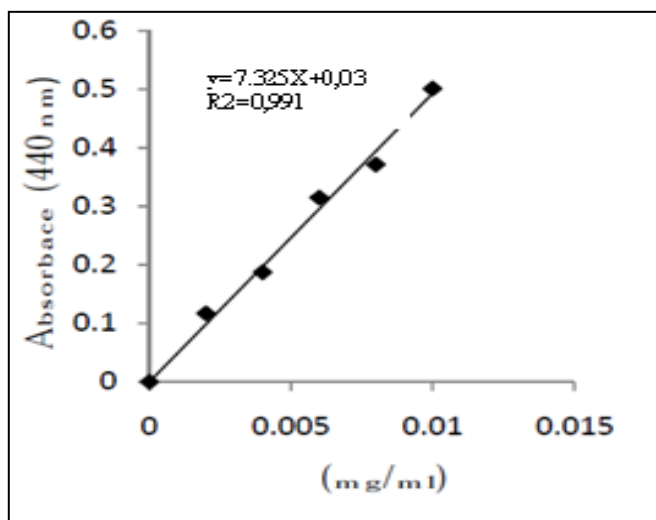
- Packer, J. E., Mahood, J. S., Mora-Arellano, V. O., Slater, T. F., Willson, R. L., & Wolfenden, B. S. (1981).** Free radicals and singlet oxygen scavengers: reaction of a peroxy-radical with β -carotene, diphenyl furan and 1, 4-diazobicyclo (2, 2, 2)-octane. *Biochemical and biophysical research communications*, 98(4), 901-906.
- Perez, C., Canal, J. R., & Torres, M. D. (2003).** Experimental diabetes treated with *Ficus carica* extract: effect on oxidative stress parameters. *Acta Diabetologica*, 40(1), 3-8.
- Perez-Vizcaino, F., & Duarte, J. (2010).** Flavonols and cardiovascular disease. *Molecular aspects of medicine*, 31(6), 478-494.
- Petkova, N., Ivanov, I., & Denev, P. (2019).** Changes in phytochemical compounds and antioxidant potential of fresh, frozen, and processed figs (*Ficus carica* L.). *International Food Research Journal*, 26(6), 1881-1888.
- Petrucelli, R., Ieri, F., Ciaccheri, L., & Bonetti, A. (2018).** Polyphenolic profiling and chemometric analysis of leaves from Italian *Ficus carica* L. varieties. Polyphenol compounds in common fig. *Eur. J. Hortic. Sci*, 83(2), 94-103.
- Pincemail, J., Bonjean, K., Cayeux, K., & Defraigne, J. O. (2002).** Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4), 233-239.
- Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., & Defraigne, J. O. (1999).** Méthodes d'évaluation du stress oxydatif chez l'homme: importance en matière de prévention. *Cancérologie*, 95, 1-4.
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., ... & Bitto, A. (2017).** Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2017.
- Ribarova, F., & Atanassova, M. (2005).** Total phenolics and flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the university of chemical technology and metallurgy*, 40(3), 255-260.
- Ribeiro, S. M. R., Barbosa, L. C. A., Queiroz, J. H., Knödler, M., & Schieber, A. (2008).** Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food chemistry*, 110(3), 620-626.
- Ribéreau-Gayon, P. (1968).** *Les Composés phénoliques des végétaux: par Pascal Ribéreau-Gayon...* Dunod.
- Ribéreau-Gayon, P. (1982).** The anthocyanins of grapes and wines. *Anthocyanins as food colors*, 6, 214-215.
- Robards, K., & Antolovich, M. (1997).** Analytical chemistry of fruit bioflavonoids A review. *Analyst*, 122(2), 11R-34R.

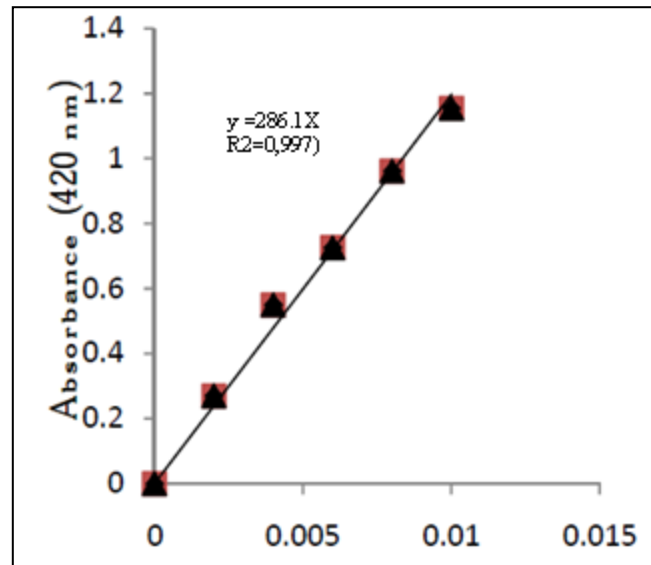
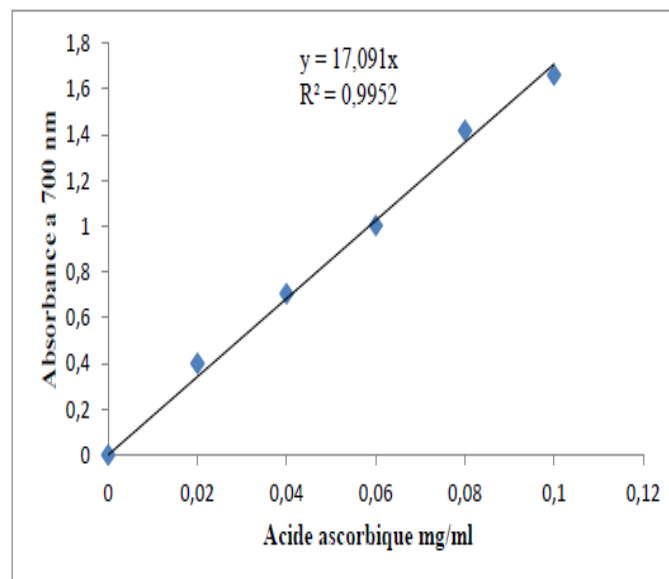
- Rodriguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. (2004).** *Harvest Plus handbook for carotenoid analysis* (Vol. 2). Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Romani, A., Ieri, F., Turchetti, B., Mulinacci, N., Vincieri, F. F., & Buzzini, P. (2006).** Analysis of condensed and hydrolysable tannins from commercial plant extracts. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(2), 415-420.
- Sánchez-Moreno, C. (2002).** Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food science and technology international*, 8(3), 121-137.
- Sarma, A. D., & Sharma, R. (1999).** Anthocyanin-DNA copigmentation complex: mutual protection against oxidative damage. *Phytochemistry*, 52(7), 1313-1318.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., & Toth-Markus, M. (2005).** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8-9), 1023-1029.
- Sheikh, B. Y. (2016).** The role of prophetic medicine in the management of diabetes mellitus: A review of literature. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 11(4), 339-352.
- Sirisha, N., Sreenivasulu, M., Sangeeta, K., & Chetty, C. M. (2010).** Antioxidant properties of *Ficus species*-a review. *International journal of pharmtech 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, organic acids, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11696-11702.
- Sobiesiak, M. (2017).** Chemical structure of phenols and its consequence for sorption processes. In *Phenolic compounds-natural sources, importance and applications*. IntechOpen.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., ... & Flaishman, M. A. (2006).** Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), 7717-7723.
- 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(1), 200-208.
- Stalikas, C. D. (2007).** Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, 30(18), 3268-3295.
- Su, Q., Rowley, K. G., Itsiopoulos, C., & O'Dea, K. (2002).** Identification and quantitation of major carotenoids in selected components of the Mediterranean diet: green leafy vegetables, figs and olive oil. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56(11), 1149-1154.

- Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J. O., & Dommes, J. (2009).** Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food chemistry*, 113(4), 1226-1233.
- Teixeira, E. I., Fischer, G., Van Velthuizen, H., Walter, C., & Ewert, F. (2013).** Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 206-215.
- Thiebault, C. M., & Sprumont, P. (1997).** *L'enfant et le sport: introduction à un traité de médecine du sport chez l'enfant*. De Boeck Supérieur.
- Trifunski, S. I., Munteanu, M. F. F., Ardelean, D. G., Orodan, M., Osser, G. M., & Gligor, R. I. (2015).** Flavonoids and polyphenols content and antioxidant activity of *Ficus carica* L. extracts from Romania. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, (128), 57-65.
- Tuksitha, L., Chen, Y. L. S., Chen, Y. L., Wong, K. Y., & Peng, C. C. (2018).** Antioxidant and antibacterial capacity of stingless bee honey from Borneo (Sarawak). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 563-570.
- Valente, T. N. P., Detmann, E., Queiroz, A. C. D., Valadares Filho, S. D. C., Gomes, D. I., & Figueiras, J. F. (2011).** Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 2565-2573.
- Vallejo, F., Marín, J. G., & Tomás-Barberán, F. A. (2012).** Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). *Food Chemistry*, 130(3), 485-492.
- Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2016).** Phytochemical composition of common fig (*Ficus carica* L.) Cultivars. In *Nutritional composition of fruit cultivars* (pp. 235-255). Academic Press.
- 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.
- Veberic, R., Jakopic, J., & Stampar, F. (2008).** Internal fruit quality of figs (*Ficus carica* L.) in the Northern Mediterranean Region. *Italian Journal of Food Science*, 20(2), 255-262.
- 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.
- Walali, L., Skiredj, A., & Alattir, H. (2003).** Fiches Techniques: L'amandier, l'olivier, le figuier le grenadier. *Transfert de technologie en agriculture (Maroc)*, 105, 1-4.
- Wen, W., Alseekh, S., & Fernie, A. R. (2020).** Conservation and diversification of flavonoid metabolism in the plant kingdom. *Current opinion in plant biology*, 55, 100-108.
- Wettasinghe, M., & Shahidi, F. (2000).** Scavenging of reactive-oxygen species and DPPH free radicals by extracts of borage and evening primrose meals. *Food chemistry*, 70(1), 17-26.

- Wilfred, V., & Nicholson, R. (2006).** Families of phenolic compounds and means of classifications. *Phenolic Compound Biochemistry". Springer*, 1-34.
- Yancheva, S. D., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Perl, A., & Flaishman, M. A. (2005).** Efficient Agrobacterium-mediated transformation and recovery of transgenic fig (*Ficus carica* L.) plants. *Plant Science*, 168(6), 1433-1441.
- Young, A. J., & Lowe, G. L. (2018).** Carotenoids antioxidant properties.
- Zhang, Z., Fan, S., Chen, Z., He, Y., Huang, M., Ding, L., ... & Zhang, X. (2019).** Biosynthesis of a Flavonol from a Flavanone by Establishing a One-pot Bienzymatic Cascade. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (150).
- Zidi, K., Kati, D. E., Benchikh, Y., Bey, M. B., Ouandjeli, D., & Yahiaoui, S. (2020).** The use of modified atmosphere packaging as mean of bioactive compounds and antioxidant activities preservation of fresh figs (*Ficus carica* L.) from rare cultivars. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 44(1), 149-164.

Annexes

Annexe 1 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux.**Annexe 2 :** Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.**Annexe 3 :** Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonols.

Annexe 4 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes.**Annexe 5** : Courbe d'étalonnage avec l'acide ascorbique pour l'évaluation du pouvoir réducteur de Fer.

| | |
|--|---|
| Réalisé par : BOUACHIR Manel BOULKRABAA Layla KEHOUL Nassima | Jury : Présidente : Dr. DERAÏ E. Examinatrice : Dr. KEBSA W. Encadrante : Dr. BOUTENNOUN H. Date de soutenance : 14/ 09 /2021 |
|--|---|

Thème

Contribution à l'étude de la composition phytochimique et l'activité antioxydante de quelques variétés de la figue fraîche (*Ficus carica* L.) de la région de Jijel

Résumé

Les figues sont distribuées dans le monde entier et fortement consommées à l'état frais et séché. Elles sont connues pour fournir de nombreux éléments alimentaires et composés phénoliques bénéfiques qui ont de bonnes propriétés antioxydantes. Notre travail vise à étudier la composition phytochimique et l'activité antioxydante de cinq variétés de la figue fraîche (*Ficus carica* L.) récoltées de la région de Jijel. L'étude phytochimique a montré des différences significatives entre les cinq variétés analysées pour les teneurs en antioxydant où la variété de Milia est la plus riche en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés tandis que la variété de Djemaa Bni Hbibbi est la plus riche en flavonols, caroténoïdes, anthocyanines et en acide ascorbique. L'activité antioxydante a été évaluée en utilisant les tests du DPPH, le pouvoir réducteur et l'inhibition du peroxyde d'hydrogène. Nos résultats ont montré que tous les extraits de figues fraîches analysés possèdent une activité antioxydante importante.

Mots clés : Figue fraîche, composés phénoliques, activité antioxydante, variété.

Abstract

Figs are distributed all over the world and strongly consumed fresh and dried. They are known to provide many beneficial nutrients and phenolic compounds which have good antioxidant properties. Our work aims to study the phytochemical composition and antioxidant activity of five varieties of the fresh fig (*Ficus carica* L.) harvested from the Jijel region. The phytochemical study showed significant differences between the five varieties analyzed for the antioxidant contents where the Milia variety is the richest in total polyphenols, flavonoids and condensed tannins while the Djemaa Bni Hbibbi variety is the richest in flavonols, carotenoids, anthocyanins and ascorbic acid. Antioxidant activity was assessed using tests for DPPH, reducing power and hydrogen peroxide inhibition. Our results show that all of the fresh fig extracts analyzed have significant antioxidant activity.

Key words: Fresh fig, phenolic compounds, antioxidant activity, variety.

المخلص

يتوزع التين في جميع أنحاء العالم ويتم استهلاكه بشكل كبير طازجًا ومجففًا. ومن المعروف أنه يوفر العديد من العناصر الغذائية والمركبات الفينولية المفيدة التي لها خصائص جيدة ضد الأكسدة. يهدف عملنا إلى دراسة التركيبة الكيميائية النباتية والنشاط المضاد للأكسدة لخمسة أصناف من التين الطازج (*Ficus carica* L.) التي تم جمعها من منطقة جيجل. أظهرت الدراسة الكيميائية النباتية اختلافات كبيرة بين الأصناف الخمسة التي تم تحليلها لمحتويات مضادات الأكسدة حيث يعد صنف الميلية هو الأغنى بالبوليفينولات الكلية، الفلافونويدات والتانينات المكثفة بينما صنف الجمعة بني حبيبي هو الأغنى بالفلافونول، الكاروتينات، الأنثوسيانين وحمض الأسكوربيك. تم تقييم نشاط مضادات الأكسدة باستخدام اختبار DPPH، قدرة إرجاع الحديد وتثبيط بيروكسيد الهيدروجين. أظهرت نتائجنا أن جميع مستخلصات التين الطازج التي تم تحليلها لها نشاط كبير كمضادات للأكسدة.

الكلمات المفتاحية: التين الطازج، مركبات الفينول، النشاط المضاد للأكسدة، الصنف.