

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

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie Physico-chimique

Mémoire

Réalisé par : M^{elle} ZEMOURI Salima

En Vue de l'obtention du Diplôme de magister en Biologie

Option : Biochimie Appliquée aux Substances Végétales Bioactives

Thème

*Comparaison de l'activité antioxydante d'extraits de
deux variétés de figues sèches : effets des conditions
d'extraction*

Devant le Jury :

Président : M^{me} BENABDESSELAM F. M. conférences A (UAMB)

Rapporteur : M^{elle} LOUAILECHE H. Professeur (UAMB)

Examineurs : M^{me} ZAIDI R. Professeur (UAMB)

M^r AISSAT K. M. conférences A (UAMB)

Année Universitaire: 2010/2011

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui de près ou de loin m'ont aidé.

J'adresse mes plus sincères remerciements à ma promotrice madame le professeur LOUAILECHE H. pour m'avoir guidé durant toute l'année pratique, pour sa disponibilité, ses encouragements, ses nombreux conseils, je la remercie aussi en tant que mon enseignante de graduation, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie madame le Docteur BENABDESSELAM F, Maître de conférences, à la faculté des sciences de la nature et de la vie, à l'université de Béjaia, de m'avoir fait l'honneur de juger ce travail et de présider le jury.

Je remercie également Madame le professeur ZAIDI R. et Monsieur le Docteur AISSAT K., Maître de conférences, à la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université de Béjaia, pour avoir accepté de donner de leur temps pour évaluer ce travail.

Un grand merci pour monsieur le professeur ATMANI D., doyen de la Faculté des sciences de la nature et de la vie et responsable de notre formation de post-graduation pour la qualité de ses cours en année théorique et pour ses nombreux conseils.

Je tiens également à remercier tous les membres du laboratoire de Biochimie alimentaire.

Je suis particulièrement reconnaissante à monsieur BACHIR BEY M. et madame ARKOUB L. pour leur aide durant toute la préparation du mémoire.

Une pensée particulière à monsieur ALIOUI A. pour sa disponibilité au quotidien, ses encouragements, et particulièrement pour son aide dans l'analyse statistique.

Dédicaces

À mes très chers parents pour leur soutien sans faille, et plus particulièrement pour leur patience, leurs encouragements et pour leur affection quotidienne. Merci d'être présents en toutes circonstances; je vous dédie ce travail.

À ma sœur et mes frères ainsi que tous les membres de la famille.

À toutes les mains qui m'ont été tendues.

Sommaire

Glossaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	01

Synthèse bibliographique

I. L'équilibre stress oxydatif/antioxydants	03
I.1. Les radicaux libres et les espèces réactives oxygénées (ERO)	03
I.2. Le stress oxydatif cellulaire	03
I.3. Principales sources endogènes des ERO	03
❖ La chaîne mitochondriale.....	03
❖ La monoxyde synthétase.....	05
❖ Les microsomes	05
❖ La xanthine oxydase/deshydrogénase	05
❖ NADPH oxydase	05
I.4. Principales sources exogènes des ERO	06
❖ Les métaux lourds	06
❖ Les rayonnements	06
I.5. Evaluation du stress oxydatif.....	06
I.6. Principaux systèmes de défense antioxydants	07
I.6.1. Système enzymatique	07
❖ La superoxyde dismutase (SOD).....	07
❖ La catalase	07
❖ La famille des glutathions peroxydases (GPx)	07
I.6.2. Système non enzymatique	08
II. La figue.....	09
II.1. Description	09
II.2. Classification	09
II.3. Reproduction et maturité	11
II.4. Différents types de figuiers	11

II.5. Production et mise en valeur de la figue	12
II.6. Composition et valeur nutritive de la figue	13
II.7. Propriétés thérapeutiques de la figue	14
III. Les antioxydants de la figue.....	15
III.1. Les composés phénoliques.....	15
III.1.1. Les acides phénoliques.....	16
III.1.2. Les flavonoïdes	18
III.1.2.1. Les flavonols.....	18
III.1.2.2. Les flavanols	19
III.1.2.3. Les anthocyanes.....	19
III.1.3. Les tanins	22
III.2. Les caroténoïdes	23

Matériel et méthodes

I. Echantillonnage.....	24
II. Taux d'humidité.....	25
III. Préparation des extraits	25
III.1. Dosage des antioxydants	25
III.1.1. les composés phénoliques totaux.....	25
III.1.2. Les flavonoïdes	25
III.1.3. Les tanins condensés.....	26
III.1.4. Les anthocyanines	26
III.1.5. Les caroténoïdes.....	27
III.2. L'activité antioxydante	27
III.2.1. Le pouvoir réducteur.....	27
III.2.2. L'activité antiradicalaire	27
III.2.3. L'inhibition de peroxyde d'hydrogène.....	28
❖ Effet de la température d'extraction	28
IV. Analyse statistique	28

Résultats et discussion

I. Teneur en eau des figues sèches.....	29
---	----

II. Effet du solvant d'extraction sur les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante des extraits de figes sèches	29
II.1. Les antioxydants	29
II.1.1. Les polyphénols totaux	29
❖ Composés phénoliques des extraits à l'acétone 70%	32
II.1.2. les flavonoïdes	33
❖ Flavonoïdes des extraits au méthanol 30%	35
II.1.3. Les tanins condensés	35
❖ Proanthocyanidines des extraits à l'acétone 70%	37
II.1.4. Les anthocyanines	38
II.1.5. Les caroténoïdes	38
II.2. Activité antioxydante	39
II.2.1. Le pouvoir réducteur	39
❖ Pouvoir réducteur des extraits à l'acétone 70%	41
II.2.2. L'activité antiradicalaire	42
❖ L'activité antiradicalaire des extraits à extraits à l'acétone 50%	42
II.2. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène	44
II.3. Relation activité antioxydante et teneurs en composés phénoliques	44
❖ La variété Azenjelle	46
❖ La variété Taamriout	47
III. Effet de la température d'extraction sur les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante des extraits de figes sèches	48
III.1. Les antioxydants	49
III.1.1. Les polyphénols totaux	49
III.1.2. Les flavonoïdes et les tanins condensés	50
III.2. Activité antioxydante	52
III.2.1. Le pouvoir réducteur et l' L'activité antiradicalaire	52
Conclusion	54
Références bibliographiques	56
Annexe	66

Glossaire

Antispasmodique: ce dit d'un médicament qui calme les spasmes (contraction pathologique des muscles lisse des viscères).

Apoptose : mort cellulaire programmée.

Athérosclérose : maladie dégénérative des artères, très répandue, due à l'athérome et comportant un épaississement et un durcissement de leur paroi gênant la circulation sanguine.

Bilirubine : c'est un pigment jaune qui donne sa couleur jaune à l'urine et aux selles. Dans les globules rouges, c'est plus précisément la dégradation de l'hémoglobine qui transforme l'hème en bilirubine.

Drupe: c'est un fruit charnu à noyau, comme la cerise, l'abricot, la noix ou l'olive.

Emollient : se dit d'une substance, d'un procédé qui relâche, amollit les tissus.

Ischémie : est la diminution de l'apport sanguin artériel à un organe. Cette diminution entraîne essentiellement une baisse de l'oxygénation des tissus de l'organe en dessous de ses besoins (*hypoxie*), et la perturbation, voire l'arrêt de sa fonction.

Laxative : se dit d'une substance qui accélère le transit intestinal.

Mélanines: sont parmi les pigments principaux responsables de la coloration des téguments dans le règne animal. La couleur de la peau, des cheveux et des yeux chez l'homme dépendent principalement de son type et de sa concentration.

Neurotransmetteur: ou **neuromédiateurs**, sont des composés chimiques libérées par les neurones (et parfois par les cellules gliales) agissant sur d'autres neurones, appelé neurone postsynaptique, ou, plus rarement, sur d'autres types de cellules (comme les cellules musculaires et les cellules gliales comme les astrocytes).

Rhume opiniâtre : qui est durable dans son état; qui persiste.

Xénobiotique une substance qui est étrangère à l'organisme vivant.

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
I	Identité moléculaire et sources des ERO	4
II	La production mondiale de la figue en année 2009	12
III	Production de figues et culture du figuier dans la région de Bejaia	13
IV	Comparaison de la valeur nutritive entre la figue fraîche, la figue sèche et d'autres fruits	14
V	Caractéristiques morphologiques des échantillons de figues	24
VI	Teneurs en humidité des échantillons de figues	29
VII	Teneur en anthocyanines et en caroténoïdes des échantillons de figues	39
VIII	Matrice de corrélation entre les différents paramètres (antioxydants et activité antioxydante) de la variété Azenjelle	46
IX	Matrice de corrélation entre les différents paramètres (antioxydants et activité antioxydante) de la variété Taamriout	47
X	Sélection du meilleur solvant pour l'étude de l'effet de la température	48

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
1	Formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton et le cycle Haber-Weiss	6
2	Systèmes de défenses antioxydants	8
3	Coupe longitudinale au niveau de la figue	10
4	Classification botanique de la figue	10
5	Propriétés antiradicalaires des polyphénols	16
6	Structure de quelques acides phénoliques rencontrés dans la figue	17
7	Structure de base d'un flavonoïde	18
8	Structure de la rutine, constituant majoritaire des flavonols de la figue	19
9	Structure de base d'un flavanol	19
10	Structure des anthocyanidines	20
11	Structure de cyanidine-3-rhamnoglucoside l'anthocyanine le plus dominant dans la figue	20
12	Flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques	21
13	Piégeage des ERO par les flavonoïdes	22
14	Structure d'un tanin hydrolysable et d'un tanin condensé	23
15	Teneurs en composés phénoliques des extraits de figues de la variété Taamriout	31
16	Teneurs en composés phénoliques des extraits de figues de la variété Azenjelle	31
17	Teneurs en flavonoïdes des extraits de figues de la variété Taamriout	34
18	Teneurs en flavonoïdes des extraits de figues de la variété Azenjelle	34
19	Teneurs en proanthocyanidines des extraits de figues de la variété Taamriout	36
20	Teneurs en proanthocyanidines des extraits de figues de la variété Azenjelle	36
21	Pouvoir réducteur des extraits de figues de la variété Taamriout	40

22	Pouvoir réducteur des extraits de figues de la variété Azenjelle	40
23	Activité antiradicalaire des extraits de figues de la variété Taamriout	43
24	Activité antiradicalaire des extraits de figues de la variété Azenjelle	43
25	Inhibition du peroxyde d'hydrogène par les extraits de figues de la variété Taamriout	45
26	Inhibition du peroxyde d'hydrogène par les extraits de figues de la variété Azenjelle	45
27	Effet de la température sur les teneurs en polyphénols des extraits de figues	49
28	Effet de la température sur les teneurs en flavonoïdes des extraits figues	51
29	Effet de la température sur les teneurs en proanthocyanidines des extraits de figues	51
30	Effet de la température sur le pouvoir réducteur des extraits de figues	53
31	Effet de la température sur l'activité antiradicalaire des extraits de figues	53

Introduction

Introduction

L'oxygène indispensable à notre vie peut contribuer à la production dans notre organisme, de dérivés toxiques dont les radicaux libres qui induisent des modifications oxydatives au niveau des lipides, de l'ADN et des protéines. A des degrés variables, ils sont impliqués dans le vieillissement des tissus biologiques ainsi que dans de nombreuses pathologies comme les maladies cardiovasculaires, les cancers, des complications du diabète ou encore des affections neurologiques dégénératives (**Pincemil *et al.*, 2007**).

Des études épidémiologiques ont révélé que la consommation des fruits et légumes est associée avec la diminution du risque des maladies cardiovasculaires et des cancers (**Wang *et al.*, 2008**).

La figue (*Ficus carica* L.) est largement consommée en méditerranée, fraîche, sèche ou en confiture. Dans la médecine traditionnelle, la figue est utilisée pour ses propriétés laxatives, antispasmodiques et pour renforcer les systèmes cardiovasculaire et respiratoire.

Ces propriétés bénéfiques de la figue sont en relation avec son activité antioxydante due à la présence de composés phénoliques (**Vinson *et al.*, 2005**).

Les polyphénols sont les antioxydants les plus abondants dans notre régime alimentaire et sont très répandus dans les fruits. Comme antioxydants, les composés phénoliques peuvent protéger les constituants cellulaires contre les dommages oxydatifs et donc limiter les risques de plusieurs maladies dégénératives associées au stress oxydatif (**Scalbert *et al.*, 2005 ; D'Archivio *et al.*, 2007**).

En plus de leurs propriétés antioxydantes, plusieurs études indiquent que les composés phénoliques possèdent un spectre très large de propriétés biochimiques et peuvent ainsi avoir un effet positif sur le système cardiovasculaire ; ils préviennent l'oxydation des lipoprotéines et le développement du cancer (**Lattanzio, 2003 ; Ciešlik *et al.*, 2006 ; Klimczak *et al.*, 2007**).

Le taux d'extraction des composés phénoliques à partir des végétaux dépend de la méthode d'extraction et du solvant utilisé. L'eau et ses mélanges avec l'éthanol, le méthanol et l'acétone sont les plus utilisés pour l'extraction.

D'autres facteurs dont la température, la taille des particules, le rapport solide-liquide, la durée de l'extraction, etc. peuvent également affecter l'efficacité de l'extraction.

La présente étude comprend deux parties principales ; la première est une synthèse bibliographique comportant des rappels sur l'équilibre stress oxydatif/antioxydants, description de la figue et les antioxydants présents dans ce fruit.

La deuxième partie de ce travail est une étude expérimentale qui a pour objectif d'optimiser quelques conditions d'extraction des composés phénoliques de la figue sèche selon les deux étapes suivantes:

- En première étape, l'évaluation de l'effet de la concentration et de la nature du solvant (méthanol, éthanol et acétone) sur l'extraction des composés phénoliques totaux, des flavonoïdes et des proanthocyanidines de deux variétés de figues sèches (Taamriout et Azenjelle) ainsi que la comparaison de la capacité antioxydante (pouvoir réducteur, activité anti-radicalaire et inhibition du peroxyde d'hydrogène) des différents extraits.
- En deuxième étape, après avoir sélectionné le meilleur solvant, l'étude de l'effet de la température (25°C-80°C) sur l'extraction des composés phénoliques ainsi que l'activité antioxydante des extraits de figues sèches obtenus.

*Synthèse
bibliographique*

I. L'équilibre stress oxydatif/antioxydants

I.1. Les radicaux libres et les espèces réactives oxygénées (ERO)

La matière vivante est composée d'atomes assemblés par des liaisons covalentes établies par mise en commun des électrons de spins opposés. Tout apport d'énergie suffisant est susceptible d'entraîner la rupture de ces liaisons et donc, donner naissance à des entités chimiques qui possèdent un électron non apparié, dit célibataire, sur une orbitale externe. Ces entités chimiques (atomes ou molécules) sont appelées radicaux libres (**Cheeseman et Slater, 1993; Halliwell et Gutteridge, 2000**).

Le champ magnétique créé par la rotation, ou spin, de cet électron n'est donc pas compensé par la rotation en sens inverse d'un électron apparié. La présence d'un électron célibataire confère aux radicaux libres une grande réactivité (demi-vie courte). Cette instabilité rend difficile leur mise en évidence au niveau des différents milieux biologiques ; leurs constantes de vitesse réactionnelles sont très élevées et variables selon leur nature (**Fulbert et Cals, 1992; Bonnefont-Rousselot et al., 2003; Levesque, 2006**)(tableau I).

Le terme ERO inclut les radicaux libres de l'oxygène (radicaux superoxyde, hydroxyle, monoxyde d'azote), et aussi certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires dont la toxicité est importante tels que le peroxyde d'hydrogène et le peroxydinitrite (**Marfak, 2003**).

I.2. Le stress oxydatif cellulaire

Le stress oxydatif est le déséquilibre entre la génération des ERO et la capacité du corps à les neutraliser et à réparer les dommages oxydatifs, soit par déficit en antioxydants ou suite à une surproduction de radicaux libres (**Boyd et al., 2003; Favier, 2003; Pincemail et Defraigne, 2004**).

I.3. Principales sources endogènes des ERO

❖ La chaîne mitochondriale

Le principal site de production des radicaux libres est la membrane mitochondriale au cours du transfert des électrons dans la chaîne respiratoire. En effet, 95 à 98% de l'oxygène utilisé par la cellule est réduit, avec l'intervention du coenzyme Q, en eau dans

la mitochondrie et 2 à 5% de cet oxygène qui transite au sein de cette dernière devient de l'anion superoxyde suite à sa réaction avec un radical semi-ubiquinone. Cela représente une quantité non négligeable de composés potentiellement toxiques produits quotidiennement au sein des cellules de l'organisme (Boveris *et al.*, 1972; Favier, 2003; Nouette-Gaulain *et al.*, 2007).

Tableau I : Identité moléculaire et sources des ERO (Lawler et Powers, 1998)

ERO	Sources principales	Cellules
Anion superoxyde ($O_2^{\circ -}$)	Chaîne respiratoire, xanthine oxydase, NAD(P)H oxydase	Muscle squelettique, endothélium vasculaire, leucocytes
Monoxyde d'azote (NO°)	La NO synthétase	Muscle squelettique, endothélium vasculaire,
Peroxynitrite ($ONOO^-$)	Combinaison de l'anion superoxyde et le monoxyde d'azote	Tous les tissus
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)	Chaîne respiratoire, xanthine oxydase, superoxyde dismutase	Tous les tissus
Acide hypochloreux (HOCl)	Myéloperoxydase	Leucocytes
Radical hydroxyle (OH°)	Réaction de Fenton et cycle de Haber-Weiss catalysés par le fer	Tous les tissus
Radicaux lipidiques [alkoxyde (RO°) et peroxyde (ROO°)]	Peroxydation des lipides catalysée par le radical hydroxyle (OH°)	Tous les tissus
Peroxydes lipidiques et aldéhydes	Peroxydation des lipides	Tous les tissus

❖ **La monoxyde d'azote synthétase**

Responsable de la synthèse du monoxyde d'azote. La production du monoxyde d'azote se fait par oxydation de L-arginine en L-citrulline. Le monoxyde d'azote produit joue un rôle central dans de très nombreuses fonctions biologiques (facteur de relaxation musculaire, régulateur important de la production de molécules messagères intracellulaires, neurotransmetteur, etc.). Cependant, la cellule produit en permanence l'anion superoxyde et ce dernier peut se combiner avec le monoxyde d'azote pour donner le peroxynitrite (ONOO^-) qui provoque une nitrosilation des protéines et des lésions fonctionnelles des cellules (**Bonnefont-Rousselot *et al.*, 2002; Bishop et Anderson, 2005; Husmann *et al.*, 2007**).

❖ **Les microsomes**

Au niveau du réticulum endoplasmique, le cytochrome P450 (hydroxylases) joue un rôle important dans la détoxification et l'activation métabolique d'une large variété de xénobiotiques et de composés néfastes. Il est responsable du métabolisme de 50-60% de médicaments administrés, incluant les antibiotiques, les immunosuppresseurs, etc. (**Li *et al.*, 2007**).

❖ **La xanthine oxydase/deshydrogénase**

C'est une enzyme soluble qui génère les ERO (l'anion superoxyde et le peroxyde d'hydrogène) en réduisant l'hypoxanthine en xanthine et la xanthine en acide urique. Cette enzyme est présente dans le sang, les cellules endothéliales des capillaires, et de façon très importante dans le foie et les intestins. La localisation cellulaires de la xanthine oxydase est faible en conditions basales, mais jouerait un rôle important lors de l'ischémie-reperfusion (**Servais, 2004; Salvayre et Salvayre, 2005**).

❖ **NADPH oxydase**

C'est une enzyme membranaire des cellules phagocytaires (polynucléaires et macrophages). Cette enzyme normalement dormante est activée lorsque la cellule phagocytaire est stimulée. Elle est spécialisée dans la production du radical superoxyde. Cette production est à l'origine de la synthèse de molécules comme le peroxyde d'hydrogène et

l'acide hypochloreux impliqués dans la destruction du matériel phagocyté. Cette voie de production de dérivés réactifs de l'oxygène est particulièrement stimulée au cours des processus infectieux et participant certainement au stress oxydatif (**Bonnefont-Rousselot et al., 2002; Salvayre et Salvayre, 2005; Beaudeau et al., 2006**).

I.4. Principales sources exogènes des ERO

❖ Les métaux lourds

Ils génèrent des radicaux hydroxyles, très réactifs, à partir du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) par la réaction de Fenton ou le cycle Haber-Weiss (**figure 1**)

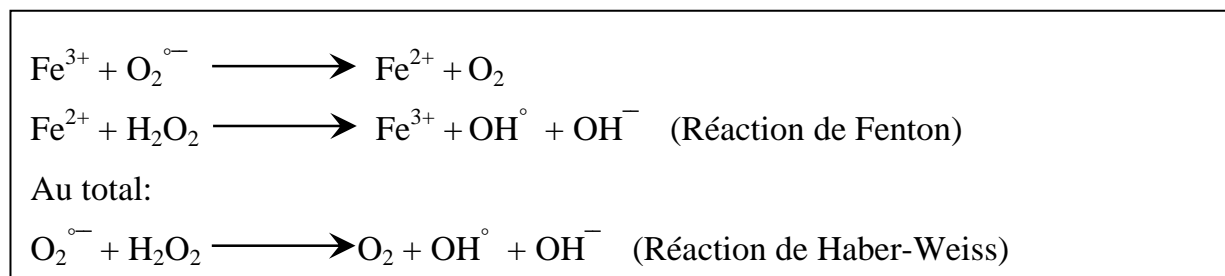


Figure 1 : Formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton et le cycle Haber-Weiss (**Martinez-Cayula, 1995**)

❖ Les rayonnements

Ils sont capables de générer des radicaux libres, soit en scindant la molécule d'eau, lorsque il s'agit de rayons ionisants X ou gamma, soit en activant des molécules photosensibilisantes, lorsqu'il s'agit des rayons UV qui vont par ce mécanisme produire l'anion superoxyde et de l'oxygène singulet (**Favier, 2003**).

I.5. Evaluation du stress oxydatif

Le stress oxydatif peut être évalué selon quatre approches principales faisant appel à la mesure (**Bonnefont-Rousselot et al., 2001; Duranteau, 2008**):

- Des radicaux libres qui peut se faire directement par la méthode de Résonance Paramagnétique Electronique (RPE),
- Des systèmes antioxydants (enzymatiques et non enzymatiques),

- Des métabolites issus des réactions radicalaires (l'attaque des radicaux libres sur les principales cibles moléculaires biologiques: peroxydation lipidique, oxydation des protéines et des acides nucléiques),
- De l'activité des systèmes de réparation de ces dommages

I.6. Principaux systèmes de défense antioxydants

Un antioxydant est défini comme étant une substance, qui présente à de faibles concentrations par rapport à un substrat, peut significativement retarder ou inhiber l'oxydation de ce dernier (**Pincemail *et al.*, 2002**). Les systèmes de défense antioxydants peuvent être divisés en deux groupes majoritaires: les antioxydants enzymatiques et les antioxydants non enzymatiques (**figure 2**).

I.6.1. Système enzymatique

❖ La superoxyde dismutase (SOD)

C'est une enzyme très stable qui existe sous trois formes : cytoplasmique (Cu/Zn-SOD); mitochondriale Mn-SOD) et extracellulaire (Cu/Zn-SOD). Elle est impliquée dans la neutralisation de l'anion superoxyde (O_2^{\ominus}) en le transformant en peroxyde d'hydrogène, évitant ainsi la formation de dérivés plus toxiques comme le peroxy-nitrite ou le radical hydroxyle (**Kankofer, 2002; Gardès-Albert *et al.*, 2003; Afonso *et al.*, 2007**).

❖ La catalase

C'est une enzyme intracellulaire localisée essentiellement au niveau du peroxy-some. Elle catalyse la conversion du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène (**Salvayer et Salvayer, 2005; Schreibelt *et al.*, 2007**).

❖ La famille des glutathions peroxydases (GPx)

Six types de glutathions peroxydases ont été identifiés au niveau des différents tissus et organes. Cette enzyme contient du sélénium (Se) indispensable à son activité catalytique ; elle réduit le peroxyde d'hydrogène et les peroxydes organiques comme les peroxydes lipidiques et les peroxydes protéiques et cela par l'oxydation de deux molécules de glutathion (**Kankofer, 2002; Berger, 2006; Schreibelt *et al.*, 2007**).

I.6.2. Système non enzymatique

Ce groupe d'antioxydants comprend de nombreuses substances endogènes dont le glutathion, l'acide urique, la bilirubine, les hormones sexuelles, la mélanine, l'acide lipoïque et le coenzyme Q (Gueye, 2007). D'autres composés apportés par les aliments jouent aussi le rôle de piègeurs de radicaux libres dont la l'acide ascorbique, la vitamine E, les composés phénoliques, les caroténoïdes, etc.

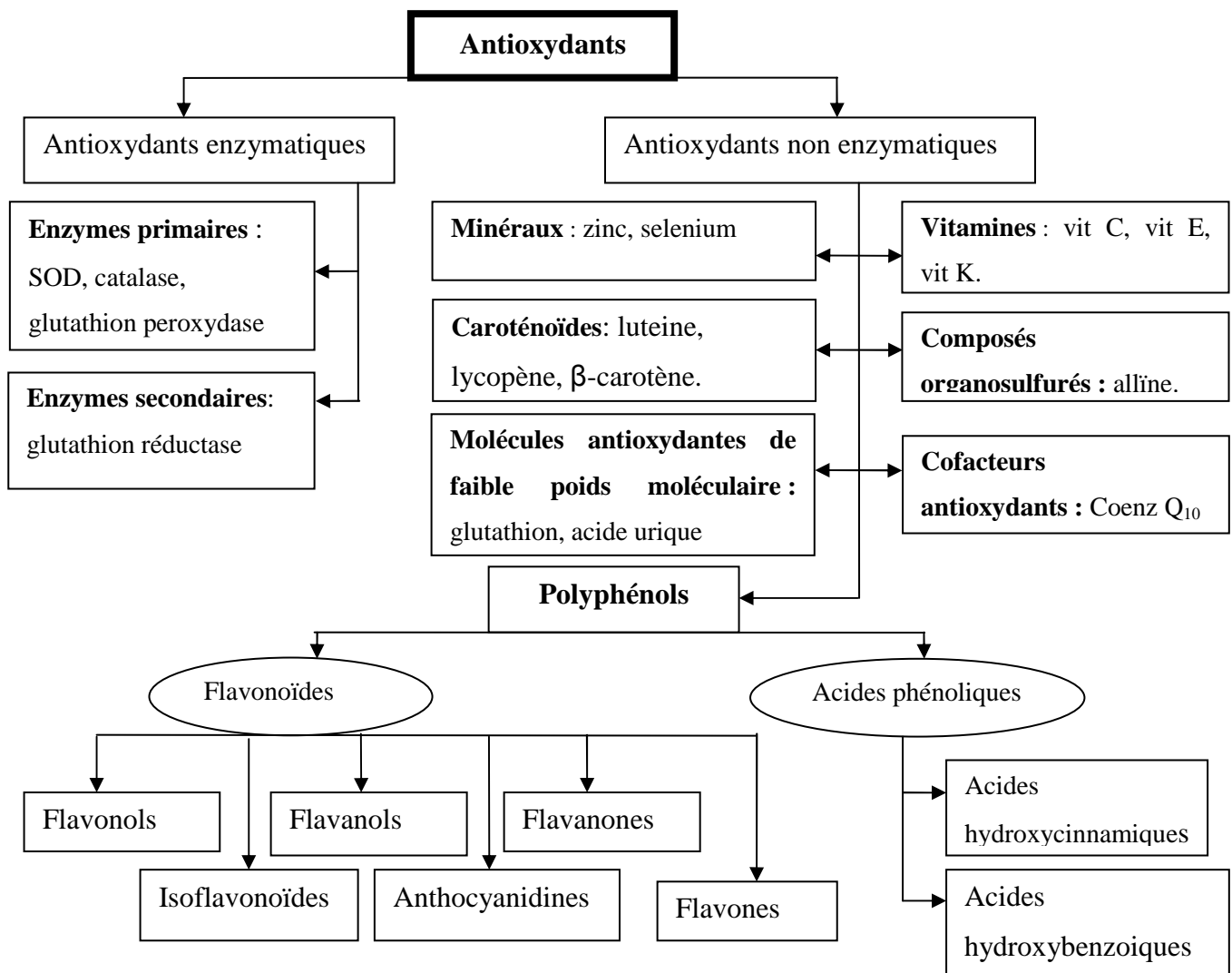


Figure 2: Systèmes de défenses antioxydants (Ratnam *et al.*, 2006)

II. La figue

II.1. Description

Le figuier est l'un des arbres les plus anciennement cultivés appelé: *Ficus carica* L. connu sous le nom commercial: Figue. C'est un arbre indigène de larges régions allant de la Turquie au nord de l'Inde cultivé naturellement dans la majorité des pays méditerranéens où les conditions idéales pour une culture intensive sont présentes (**Yancheva et al., 2005; Kim et al., 2007**). Il est également cultivé dans les pays ayant un climat pareil à celui de la méditerranée comme la Californie, l'Australie et le sud d'Amérique (**Irget et al., 2008**). Le figuier est un arbre bas s'étendant largement, six à huit mètres de haut. L'écorce grise lisse, branches vertes, émettant un suc laiteux blanc en cas de blessure (**Boussard et Cuisance, 1986; Bayer et al., 2005**).

Botaniquement, le fruit du figuier « la figue » est considérée comme un sycone; une forme de fruit très remarquable et qui reste seule dans son arrangement particulier des fleurs en forme de poire verdâtre à brun violet jusqu'à 8 centimètre de long (**Gausсен et al., 1982; Tupac Otero et Ackerman, 2002**). Ces fleurs qui n'ont pas encore arrivé à une totale perfection et développement en drupes sont réellement concentrées à l'intérieur d'un réceptacle creux avec une petite ouverture à l'apex appelée ostiole fermée par de petites écailles (**figure 3**) (**Owino et al., 2004; Dueñas et al., 2007**). La peau de la figue est mince, tendre, blanchâtre, pâle, jaune, rose, rouge ou pourpre dépendant de la variété. A maturité, la figue est un fruit sucré, doux, délicieux et juteux (**Lansky et al., 2008**).

II.2. Classification

Le figuier (*Ficus carica* L.) appartient au genre *Ficus* qui est constitué d'environ 800 espèces, il est l'un des 40 genres de la famille des Moraceae (3000 espèces) (**figure 4**). Les espèces du genre *Ficus* ont une grande importance du point de vue commercial surtout le figuier qui est caractérisé par la présence de plusieurs variétés ce qui signifie une grande diversité génétique (**Lansky et al., 2008**).

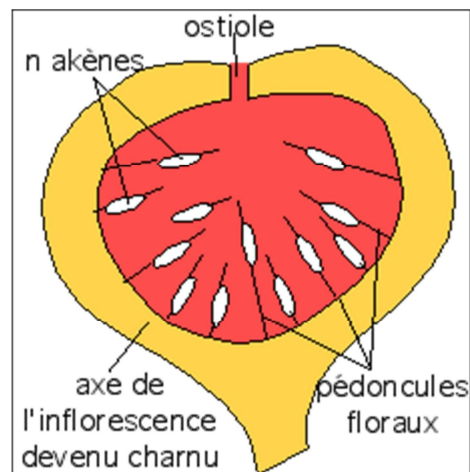


Figure 3: Coupe longitudinale au niveau de la fige (Deysson, 1979)

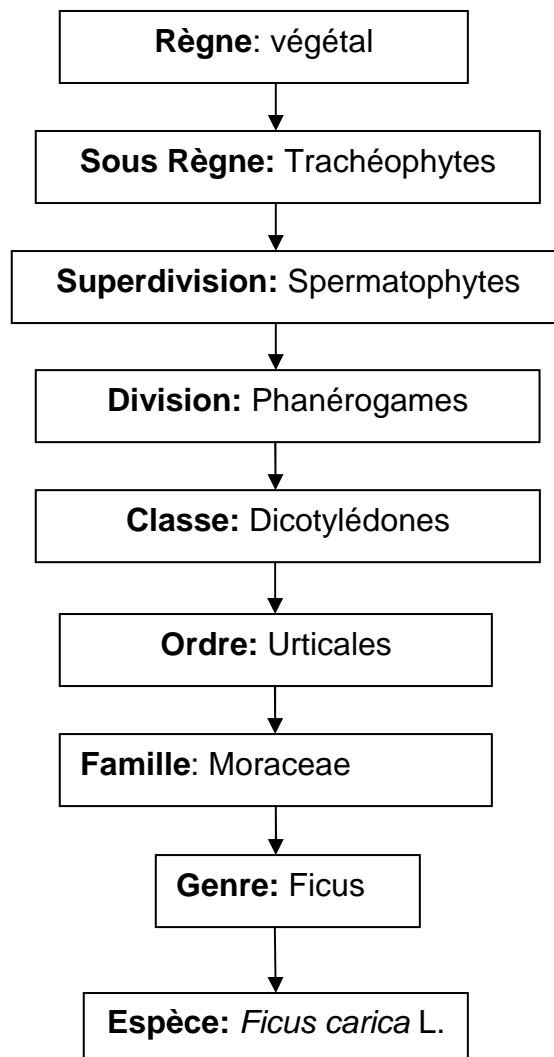


Figure 4: Classification botanique de la fige (Gaussen *et al.*, 1982)

II.3. Reproduction et maturité

Chaque espèce du genre *Ficus* dépend d'une symbiose complexe avec une espèce spécifique de guêpe de la famille des Agaonidae (l'hyménoptère *Blastophaga psenes* L. chez *Ficus carica* L.) sur laquelle dépend la pollinisation. D'une autre part, la guêpe dépend de la figue pour sa reproduction parce que ces larves se nourrissent par les galles des fleurs de la figue (Valizadeh *et al.*, 1987; Cook et Rasplus, 2003).

Les guêpes pollinisatrices sont attirées par le figuier par un stimulus olfactif et n'en pas visuel (Hossaert-Mckey *et al.*, 1994).

Selon Grison-Piger *et al.* (2002), 99 composés ont été identifiés dans une étude sur les composés volatiles dégagés de 20 espèces du genre *Ficus* pour attirer les guêpes pollinisatrices. Les composés sont essentiellement des terpenoïdes, des composés aliphatiques, et des produits à partir de la voie de l'acide shikimique. La guêpe peut traverser jusqu'à 14 Kilomètres pour arriver à son arbre; le signal est chimique. Cette relation entre figue et guêpe est considérée comme un exemple de co-évolution due à la précision morphologique, physiologique et la coadaptation au comportement (Michaloud *et al.*, 2005).

II.4. Différents types de figuiers

Les figuiers sont classés en (Kjellberg *et al.*, 1983; Kjellberg et Valdeyron, 1984; Valizadeh *et al.*, 1987) :

❖ **Caprifiguier (dokkar)** ou figuier mâle ou encore figuier sauvage : ses fruits sont impropres à la consommation, assurent la survie du pollinisateur symbiotique (le blastophage), et sont utilisés pour la fécondation des figuiers comestibles.

❖ **Figuier bifère (bakor)**: fructifie deux fois par an. Le fruit hiverne à l'état latent sous forme de petits bourgeons et mûrit en juin-juillet ce qui donne la première série, la seconde apparaît au début du mois de juin pour mûrir en août-septembre.

❖ **Figuier unifère (figue d'automne)**: ses figues se forment au printemps et mûrissent en août-septembre. Ses figues se développent sur les pousses de l'année, les premières formées arrivent à temps pour être caprifiées tandis que celles dont la

formation a débuté tardivement viennent après l'époque de maturité des dokkars et n'étant pas caprifiées ne parviennent généralement pas à maturité.

II.5. Production et mise en valeur de la figue

La plantation mondiale du figuier couvre une surface de 426 244 hectares et la production mondiale est d'environ 1 056 820 tonnes et elle est très concentrée en méditerranée surtout en Turquie (**Pasqual et Ferreira, 2007; Çalışkan et Polat, 2008**). L'Algérie est l'un des pays méditerranéens producteurs de figues avec un taux de 63 883 tonnes en 2009 (**tableau II**). La culture du figuier en Algérie se concentre en Kabylie; le figuier est considéré comme un arbre symbole de cette région surtout la wilaya de Béjaia qui compte seule 47 variétés avec une production de 104 523 quintaux en 2008 (**tableau III**).

Tableau II: La production mondiale de la figue année 2009 (**FAO, 2009**)

Pays	Production en tonnes	Pays	Production en tonnes
Turquie	210 152	Afghanistan	20 000
Egypte	170 000	Grèce	18 000
Iran	88 000	Italie	17 000
Algérie	63 883	Japon	16 500
Maroc	61 606	Portugal	16 500
Etats-Unis	47 800	Albanie	16 000
Syrie	41 086	Azerbaïdjan	10 565
Espagne	40 000	Inde	10 500
Brésil	23 225	Libye	9 800
Tunisie	22 000	Iraq	8 000

Tableau III: Production de figes et culture du figuier dans la région de Bejaia (Chambre d’agriculture de la wilaya de Bejaia, 2008)

Année	Nombre total de figuiers	Production en quintaux			
		En figes fraîches		Rendement Qx/ha	En fige sèche
		Consommation à l'état frais	Soumise au séchage		
2004/2005	1 256 260	97 611	44 039	12,768	28 831
2005/2006	1 202 209	116 600	58 000	15,06	23 200
2006/2007	1 135 869	79 102	45 828	11,57	19 234
2007/2008	1 092 889	104 523	56 411	15.16	26 370

II.6. Composition et valeur nutritive de la fige

Comme un aliment saisonnier, la fige représente un constituant important du régime alimentaire méditerranéen. La fige présente une composition très diversifiée. Elle contient une faible quantité de lipides et est une excellente source de minéraux, vitamines et fibres alimentaires. La fige sèche présente une meilleure qualité nutritionnelle en la comparant soit avec la fige fraîche ou avec d'autres fruits (**tableau IV**).

L'analyse qualitative des glucides de la fige a révélé la présence des sucres libres essentiellement le glucose, le fructose, une faible quantité de saccharose et des traces de galactose et d'arabinose (**Golubev et al., 1987**).

L'analyse des lipides de quelques variétés de figes a permis d'identifier environ 30 groupes de constituants lipidiques dont les triglycérides, les stérols libres et estérifiés, les mono et digalactosyl-diglycérides, les cérébrosides, les phosphatidyl glycerols, les acides gras libres (surtout les acides stéarique, linoléique, linoléique, oléique et palmitique) (**Kolesnik et al., 1987; Guvenc et al., 2009**).

La fige contient environ 17 acides aminés dont les acides aspartique et glutamique (**Solomon et al., 2006**). **Guvenc et al. (2009)** ont identifié, dans certaines variétés, des vitamines lipophiles (tocophérols α , δ , γ , vitamines D2, D3 et K). En plus de

ces constituants, la figue est très riche en acides organiques tels que les acides oxalique, malique, citrique, shikimique et fumarique (**Oliveira et al., 2009**).

Tableau IV: Comparaison de la valeur nutritive entre la figue fraîche, la figue sèche et d'autres fruits (**Couplan, 1998**)

Constituant	La figue		La pomme	Le raisin	L'abricot
	Fraîche	Sèche			
Eau (g/100g)	76	8	80	81	86
Protides (g/100g)	1.2	5.2	0.4	0.7	1.4
Glucides (g/100g)	20	79	18	18	11
Lipides (g/100g)	0.4	2	0.3	0.6	0.4
Calories (kcal/100g)	80	270	76	70	48
Calcium (mg/100g)	83	265	6	11	14
Phosphore (mg/100g)	29	100	13	13	19
Fer (Fe) (mg/100g)	2.6	5.1	0.4	0.3	0.6
Sodium (mg/100g)	5	15	1	2	1
Potassium (mg/100g)	280	1000	110	184	295
Magnésium (mg/100g)	17	59	5	6	8
Vitamine A (UI/100g)	120	150	40	100	2535
Vitamine B1 (mg/100g)	0.08	0.2	0.03	0.1	0.3
Vitamine B2 (mg/100g)	0.06	0.1	0.02	0.06	0.04
Vitamine PP(mg/100g)	0.4	1.7	0.1	0.3	0.6
Vitamine C (mg/100g)	5	2.5	8	10	10

II.7. Propriétés thérapeutiques de la figue

Les figues sont utilisées comme aliment et comme médicament. Les figues sont émoullientes, adoucissantes et relâchantes. La décoction de figues convient pour les maladies inflammatoires et elle est utilisée pour adoucir la toux et les rhumes opiniâtres (**Clement, 1979**).

D'après **Vinson (1999)**, la figue comprend des composés à activité anticancérogène, spécifiquement les furocoumarines (angelicine, marmecine, psoralène, umbelliféone et bergaptène) et les benzaldéhydes. La figue est également connue pour ses propriétés laxatives modérées et peut être utilisée pour le traitement symptomatique de la constipation (**Yancheva et al., 2005**). Les antioxydants de la figue peuvent protéger les lipoprotéines contre l'oxydation et produisent une augmentation significative de la capacité antioxydante au niveau du plasma (**Vinson et al., 2005**). **Solomon et al. (2006)** ont prouvé que la richesse de la figue en polyphénols spécialement les anthocyanines (variétés noires) est à l'origine de son activité antioxydante élevée.

Gilani et al. (2008) ont testé l'extrait aqueux de figue sèche sur le plasma humain et les tissus intestinaux et les résultats ont prouvé que l'extrait contient des alcaloïdes, des flavonoïdes, des anthraquinones, des coumarines, des saponines et des terpènes et ces derniers exercent un effet antiplaquettaire et des effets spasmolytiques (ce qui explique l'utilisation de la figue dans le cas des perturbations intestinales). Ayant une valeur nutritionnelle très élevée, la figue aide la régénération cellulaire grâce à sa richesse en vitamines et minéraux (**Guvenc et al., 2009**).

III. Les antioxydants de la figue

III.1. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont largement distribués dans les plantes où ils agissent comme des attracteurs pour certains insectes, comme des piègeurs de radicaux libres et dans la défense contre les radiations ultra-violettes, les pathologies et les prédateurs. La teneur d'une plante en polyphénols dépend de plusieurs facteurs dont le degré de maturité, les facteurs environnementaux (pluviosité, ensoleillement, conditions de stockage, etc.) (**Manach et al., 2004**).

❖ Propriétés

Les composés phénoliques sont connus pour leur rôle protecteur contre le cancer, les maladies cardiovasculaires et la cataracte (**Hollman et al., 1996**). Ils peuvent moduler l'activité d'un grand nombre d'enzymes et de récepteurs cellulaires (**Manach et al., 2004**). Ces composés contiennent un grand nombre de doubles liaisons et de groupements

hydroxyles liés au cycle benzène. Cette particularité structurale donne à la fonction phénol un caractère plus acide que les autres groupements alcools: elle perd facilement un proton H^+ pour former l'ion phénoxy. Cette réactivité chimique confère aux composés phénoliques leur caractère antioxydant (**figure 5**) (**Lee et al., 2003; Berset, 2006**).

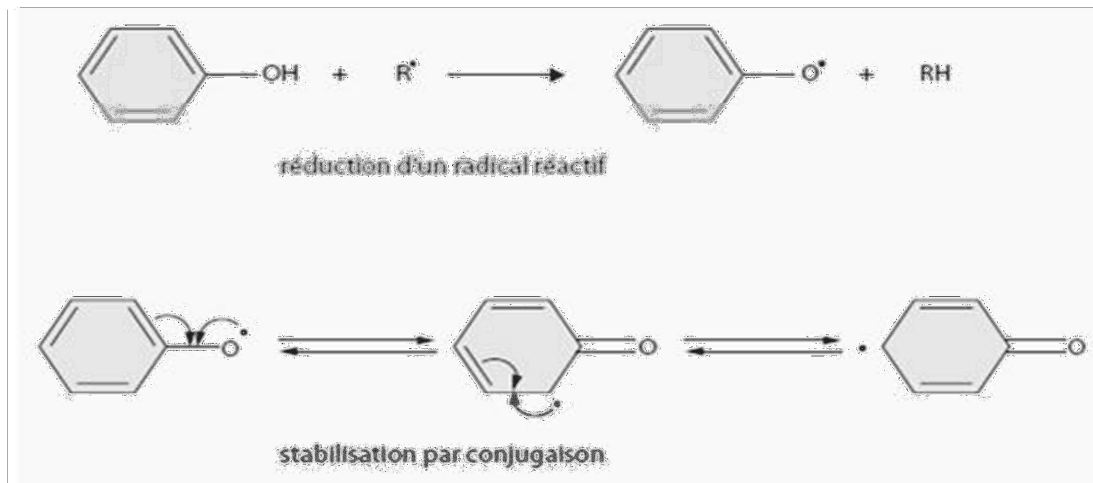


Figure 5: Propriétés antiradicalaires des polyphénols (**Rolland, 2004**)

L'analyse des composés phénoliques de la figure a révélé la présence surtout des deux classes suivantes:

- Les acides phénoliques
- Les flavonoïdes (flavanols, flavonols, anthocyanines)

III.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques présents dans les figes (formes libre, estérifiée et glycosidique) appartiennent à deux classes:

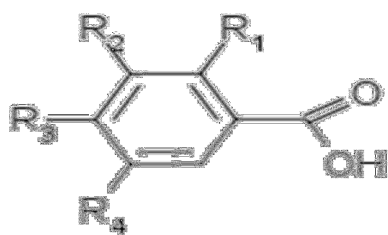
❖ **Les acides-phénols dérivés de l'acide benzoïque: composés en C₆-C₁:** l'acide gallique et dérivés. Ils existent fréquemment sous forme d'esters ou de glucosides et peuvent également être intégrés dans des structures complexes comme certains tanins.

❖ **Les acides-phénols dérivés de l'acide cinnamique: composés en C₆-C₃:** acide férulique, acide chlorogénique et dérivés. Ils représentent une classe très importante; ils sont rarement présents à l'état libre et existent généralement sous forme d'esters (avec le glucose, l'acide quinique et l'acide tartrique) (**Ribereau-Gayon, 1968; Berset, 2006**)

Veberic et al. (2008) ont identifié les composés majoritaires suivants (**figure 6**):

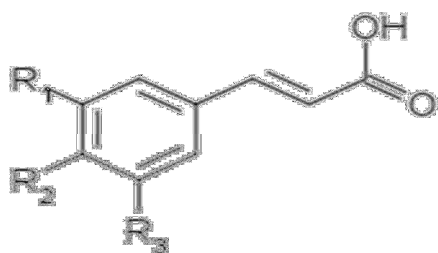
- L'acide gallique,
- L'acide chlorogénique (Acide 5-*O*-caffeoylquinique),
- L'acide syringique

Oliveira et al. (2009) ont identifié les acides férulique, chlorogénique (Acide 5-*O*-caffeoylquinique), et pour la première fois un dérivé de l'acide chlorogénique, l'acide 3-*O*-caffeoylquinique.



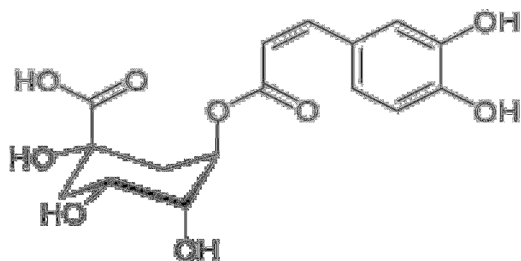
Acide gallique	$R_1=R_2=R_3=OH, R_4=H$
Acide syringique	$R_1=R_2=H, R_3=OH, R_4=OCH_3$

Acides hydroxybenzoïques



Acide férulique	$R_1=OCH_3, R_2=OH, R_3=H$
Acide caféique	$R_1=R_2=OH, R_3=H$
Acide coumarique	$R_1=R_3=H, R_2=OH$

Acides hydroxycinnamiques



Ester d'acide cinnamique (acide chlorogénique)

Figure 6: Structure de quelques acides phénoliques rencontrés dans la figure
(Handique et Baruah, 2002)

❖ Propriétés antioxydantes des acides phénoliques

L'activité antioxydante des acides phénoliques dépend du nombre et de la position des groupements hydroxyles; elle augmente avec le degré d'hydroxylation, comme dans le cas d'acide gallique trihydroxylé. Cependant, la substitution des groupement hydro-

xyles en positions 3 et 5 par les groupements méthoxyles réduit l'activité (**Tomas-Barberan et Clifford, 2000; Manach et al., 2005; Balasundram et al., 2006**).

III.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent une classe de polyphénols complexes dont la structure comprend deux noyaux aromatiques (cycles A et B) intercalés par un hétérocycle oxygéné (cycle C) (**figure 7**) (**Remesy et al., 1996**). La concentration des flavonoïdes augmente avec l'exposition au soleil, constituant de ce fait un écran protecteur contre les rayons UV et la thermo-dégradation (**Richter, 1993**). Les "signaux" qui sont libérés par une plante sous stress peuvent influencer la biosynthèse des flavonoïdes (**Simmonds, 2003**). Ils jouent un rôle dans la défense des plantes contre les microorganismes pathogènes, dans la fertilité des plantes et dans les interactions plantes-microorganismes.

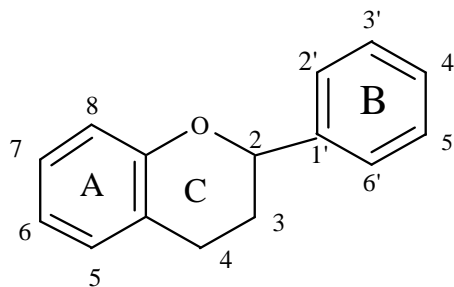


Figure 7: Structure de base d'un flavonoïde (**Coa et al., 1997**)

III.1.2.1. Les flavonols

Ce sont les flavonoïdes dominants dans les aliments; les plus représentatifs sont la quercitrine et le kaempferol. Ces composés sont présents sous forme glycosylée surtout avec le glucose et le rhamnose mais aussi le galactose, l'arabinose, le xylose et l'acide glucuronique (**Manach et al., 2004**). Selon **Del caro et Piga (2008)**, les variétés de figes noires sont plus riches en flavonols que les variétés de figes blanches. L'analyse par HPLC a révélé que le constituant majoritaire étant la rutine (quercétine-3-O-rutinoside) (**figure 8**). La rutine étant une forme glycosylée, elle est mieux absorbée par le corps humain que la forme non glycosylée (quercétine) (**Veberic et al., 2008**).

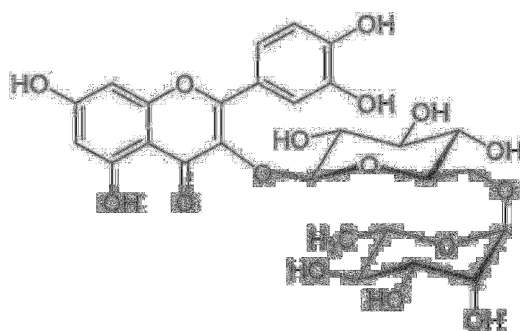


Figure 8: Structure de la rutine, constituant majoritaire des flavonols de la figue
(Ribereau-Gayon, 1968)

III.1.2.2. Les flavanols

Ils existent sous deux formes : monomérique (catéchine) et polymérique (proanthocyanidines) (Manach *et al.*, 2004). Les catéchines (figure 9) jouent un nombre important d'activités biologiques incluant le piégeage des radicaux libres. Les principaux composés présents dans les figes sont les catéchines et épicatechine.

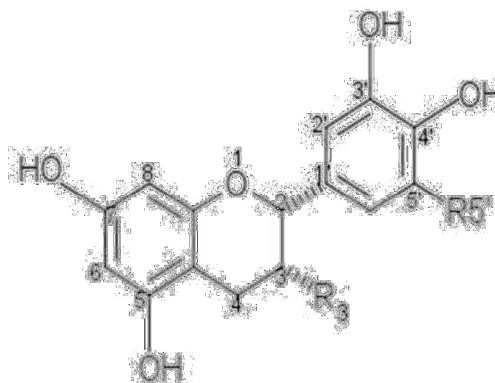


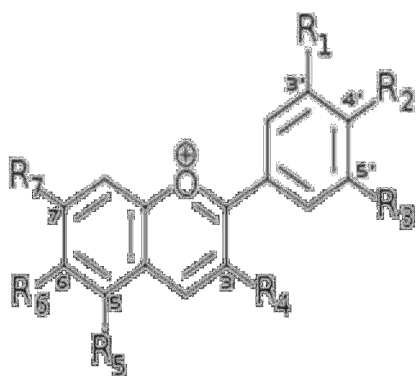
Figure 9 : Structure de base d'un flavanol (Ghedira, 2005)

III.1.2.3. Les anthocyanes

Ce sont des pigments responsables de couleur rouge, bleue et pourpre. Ils sont instables sous la forme aglycone (anthocyanidine) (figure 10); ils sont généralement glycosylés (anthocyanines) en position 3 par le glucose, le rutinose, le sophorose, le rhamnose, le galactose, l'arabinose et le xylose et estérifié avec plusieurs acides organiques (acides malique et citrique) et acides phénoliques. La glycosylation et l'estérification empêchent leur dégradation (Kong *et al.*, 2003; Derbel et Ghedira, 2005; Stanciu *et al.*, 2006).

L'analyse par RMN a permis de constater que dans les variétés de figes étudiées, l'anthocyanine dominant est la cyanidine-3-rhamnoglucoside (**figure 11**) Solomon *et al.* (2006).

Dueñas *et al.* (2007) ont identifié 15 anthocyanines à partir de 5 variétés de figes. L'anthocyanine dominant est la cyanidine comme aglycone (85-99%), bien que la présence d'un peonidine et quelques dérivés pélargoniques (1-15%). Le rutinose est le sucre substituant usuel ainsi que le glucose.



Malvidine	$R_5=R_7=R_2=OH,$ $R_1=R_3 =OCH_3$	Mauve
Delphinidine	$R_5=R_7= R_1=R_3=OH$	Bleue- violette
Cyanidine	$R_5=R_7= R_1=OH$	Rouge
Pélargonidine	$R_5=R_7=R_2=OH$	Orange- rouge
Pétunidine	$R_5=R_7=R_2=R_3= OH,$ $R_1 =OCH_3$	Violette
Péonidine	$R_5=R_7=R_2=OH, R_1$ $=OCH_3$	Rose

Figure 10: Structure des anthocyanidines (Kong *et al.*, 2003)

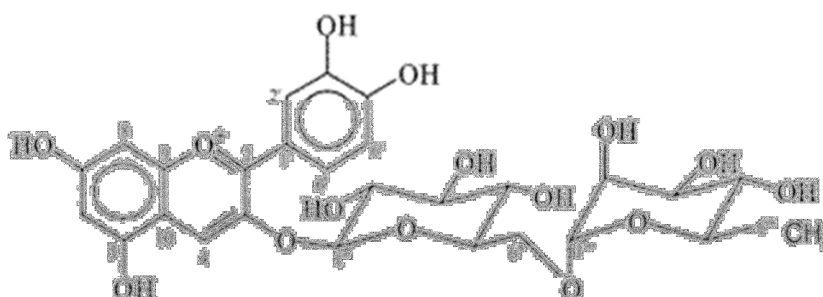


Figure 11: Structure de la cyanidine-3-rhamnoglucoside l'anthocyanine dominant dans la fige (Solomon *et al.*, 2006)

❖ Propriétés antioxydantes des flavonoïdes

1. Inhibition d'enzymes

Les flavonoïdes affectent l'activité de plusieurs systèmes enzymatiques. Les flavonoïdes dont la quercétine et la myristine peuvent inhiber les réactions enzymatiques impliquées dans le stress oxydant en agissant sur leurs enzymes. Ce sont des inhibiteurs enzymatiques à l'égard de l'aldolase réductase, de la phospholipase A₂ (capables de modifier le métabolisme arachidonique plaquettaire) et des enzymes de l'inflammation : la cycloxygénase et la lipoxygénase (Markaf, 2003; Manach *et al.*, 2004; Girotti-Charnu, 2006).

2. Chélation des métaux

Les flavonoïdes sont également capables de chélater les ions métalliques (figure 12) qui peuvent renforcer ces effets délétères par la production des radicaux hydroxyles. En tant qu'antioxydants, les flavonoïdes sont capables d'inhiber la carcinogénèse (Rice-Evan, 2001).

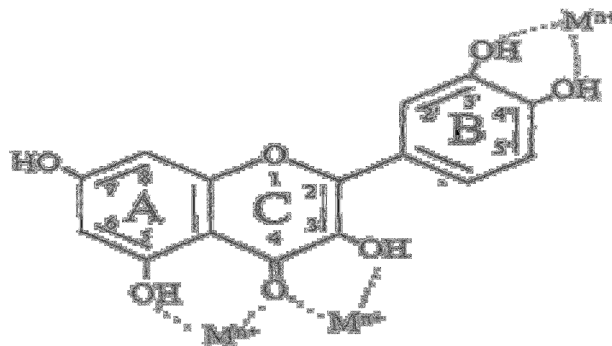
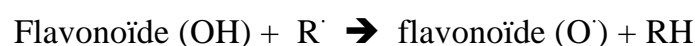


Figure 12 : Flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques (Rice-Evans, 1999)

3. Piégeage des radicaux libres

La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est leur activité antioxydante et leur capacité à piéger les radicaux libres; radical hydroxyle, anion superoxyde et radicaux peroxylipidiques, selon la réaction suivante (Ontoro *et al.*, 2005):



Les flavonoïdes inactivent et stabilisent les radicaux libres grâce à la présence d'un groupement hydroxyle en position C3 et C3' fortement réactifs (**figure 13**) (**Woodman et al., 2005**).

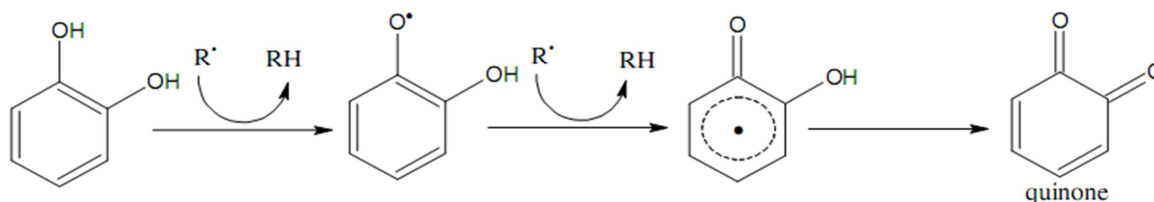


Figure 13: Piégeage des ERO par les flavonoïdes (**Marfak, 2003**)

III.1.3. Les tanins

Les tanins sont par définition des substances phénoliques qui présentent la propriété de se combiner avec les protéines ainsi qu'avec certains polyols (**Monties et al., 1980; Okuda, 2005**). Dépendamment de leur origine, leur chimie est largement variée, ayant une masse moléculaire allant jusqu'à 20 000 Daltons. Des concentrations élevées de tanins sont retrouvées approximativement dans toutes les parties de la plante; écorce, feuilles, fruit, bois, graines (**Khanbabaee et Van Ree, 2001; Haslam, 2007**). Les tanins sont classés en

❖ Les tanins hydrolysables

La structure de base des tanins hydrolysables est constituée d'un glucide, habituellement le glucose, dont les radicaux hydroxyles en positions 1, 2, 3, 4, et 6 forment des liaisons esters avec l'acide gallique. Les résidus d'acide gallique se lient entre eux pour former un polymère réticulé (**figure 14**) (**Nonaka et al., 1989; Guignard, 2000**). Les tanins hydrolysables sont classés en deux catégories:

- **Les gallotanins:** qui libèrent par hydrolyse, l'acide gallique et ses dérivés galloylés (depsides).
- **Les ellagitanins** qui libèrent par hydrolyse, l'acide gallique, et qu'accompagnent des acides tels que les acides éllagique, chébulique et valonique (**Monties et al., 1980; Guignard, 2000**).

❖ Les tanins condensés ou tanins catéchiques

Ce sont des polymères d'unités flavonoïdes liées par des liaisons carbone-carbone. Ces liaisons ne sont pas hydrolysables mais peuvent être oxydées par les acides forts libérant les anthocyanidines (Ribereau-Gayon, 1968 ; Monties *et al.*, 1980).

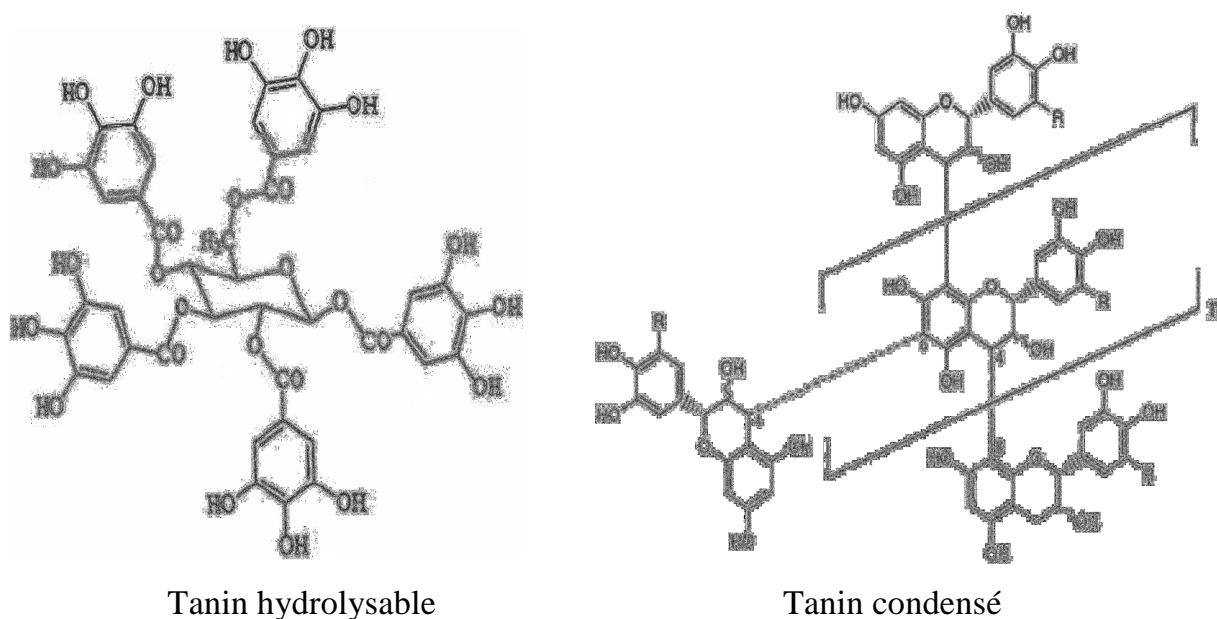
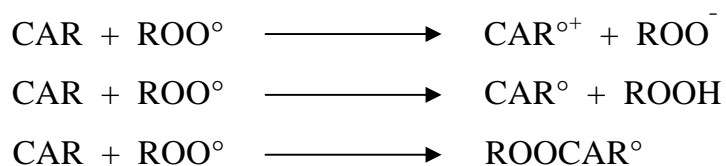


Figure 14: Structure d'un tanin hydrolysable et d'un tanin condensé (Guignard, 2000)

III.2. Les caroténoïdes

Le groupe des caroténoïdes comprend plusieurs centaines de molécules tétraterpéniques. Ils sont reconnus d'avoir un impact important sur la santé en agissant comme des antioxydants lipophiles. Les caroténoïdes sont des désactivateurs efficaces des molécules sensibilisées excitées électroniquement impliquées dans la génération de l'oxygène singulet et du radical peroxyde (Young *et al.*, 2001; Tapiero *et al.*, 2004.)

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







Matériel et méthodes

I. Echantillonnage

Les deux variétés de figes les plus soumises au séchage, Taamriout et Azendjelle, ont été sélectionnées pour la présente étude. Chaque variété est représentée par trois échantillons (environ un Kilogramme pour chaque échantillon). Les fruits ont été sélectionnés à un stade très avancé de maturité (absence de latex dans le pédoncule du fruit) et ne présentant pas de blessures ou d'affections. Ces figes ont été récoltées à la main, au cours de la première semaine du mois de septembre 2009, dans la région d'Ait Smail, Béjaïa puis soumises aux mêmes conditions de séchage traditionnel (séchage solaire) puis conservées dans des sacs en carton. Les caractéristiques morphologiques des deux variétés étudiées sont indiquées dans le tableau V.

Tableau V: Caractéristiques morphologiques des échantillons de figes

Variété	Caractéristiques		
Taamriout (Echantillons: T1, T2 et T3)	Fruit Pyriforme, col long, avec un pédoncule très remarquable, épiderme de couleur vert jaunâtre ayant une pulpe jaune	 Fruit frais	 Fruit séché
Azendjelle (Echantillons: A1, A2 et A3)	Fruit pyriforme légèrement aplati à la base, col court avec un pédoncule court, épiderme de couleur violet foncé	 Fruit frais	 Fruit séché

II. Taux d'humidité

Cinq grammes d'échantillon de figes sèches ont été soumis à une dessiccation à 105°C. Le taux d'humidité des figes est exprimé en pourcentage selon la formule :

$$\text{Humidité (\%)} = (P_1 - P_2) * 100 / (P_1 - P_3)$$

P₁ : poids initial de l'échantillon et du creuset

P₂ : poids final de l'échantillon et du creuset après séchage

P₃ : poids du creuset vide

III. Préparation des extraits

Un gramme de broyat de figes sèches est homogénéisé avec 50 ml du solvant d'extraction (méthanol 30%, 50% et 70%, éthanol 30%, 50% et 70%, et acétone 30%, 50% et 70%). Après agitation pendant 1 heure à 25°C au bain marie, le mélange est centrifugé à 4000 tpm pendant 15 minutes ; les surnageants récupérés et filtrés constituent les extraits.

III.1. Dosage des antioxydants

III.1.1. Les composés phénoliques totaux

La teneur des extraits en polyphénols totaux est déterminée selon le protocole rapporté par **Kahkõnen et al. (1999)**; 200µl d'extrait sont ajoutés à 200µl d'eau distillée puis mélangé avec 750 µl du réactif de Folin-Ciocalteu. Après 3 minutes, 400µl de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutées. Après incubation pendant 90 minutes, les absorbances sont mesurées à 740 nm.

La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par 100g de matière sèche (mg EAG/100g MS), par rapport à une courbe d'étalonnage (figure 1, annexe).

III.1.2. Les flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode décrite par **Djeridane et al. (2006)**; un volume d'extrait est additionné d'un même volume de chlorure d'aluminium (2%). Après incubation pendant 20 minutes, l'absorbance est mesurée à 380 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine/100g de matière sèche (mg EQ/100g MS), par référence à une courbe d'étalonnage (figures 2, annexe).

III.1.3. Les tanins condensés (proanthocyanidines)

La teneur en proanthocyanidines des extraits de figue est déterminée selon la méthode décrite par **Vermerris et Nicholson (2006)**.

Un volume de 2 ml de sulfate de fer est ajouté à 200 μ l d'extrait. Les tubes sont incubés à 95°C pendant 15 minutes. L'absorbance est mesurée à 530 nm.

Les résultats, exprimés en mg équivalent de cyanidine /100 g de matière sèche (mg EC/100g MS), sont calculés selon la formule:

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

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 ($\epsilon=34\ 700\ \text{L. mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)

III.1.4. Les anthocyanines

La teneur en anthocyanines des figues est déterminée selon la méthode décrite par **Ganjewala et al. (2008)**

Un gramme de broyat de figues sèches est additionné à 10 ml du mélange méthanol-acide chlorhydrique. Après 30 minutes d'agitation, l'extrait est centrifugé à 5000 tpm pendant 20 minutes; un volume de surnageant est additionné d'un volume du mélange méthanol-acide chlorhydrique. L'absorbance est mesurée à 530 nm.

Les résultats, exprimés en mg équivalent de quercétine-3-glucoside par 100g de matière sèche (mg EQ3G/100g MS), sont calculés en se référant à la formule:

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

Abs: Absorbance à 530nm **FD:** Facteur de dilution **L :** Trajet optique

MM : Masse molaire de la quercétine-3-glucoside =464,4 g/mol

ϵ : Coefficient d'extinction molaire de la quercétine-3-glucoside ($\epsilon=38\ 000\ \text{L. mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

III.1.5. Les caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes est déterminée selon la méthode de **Sass-Kiss *et al.* (2005)**; 10 ml du mélange hexane/acétone/éthanol (2/1/1) sont ajoutés à 0,5 ml du broyat de figes sèches. Après agitation pendant 30 minutes, la phase supérieure est récupérée et 5 ml d'hexane sont ajoutées pour une deuxième extraction. Le mélange des deux phases est 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 matière sèche ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MS}$) en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 3, annexe)

III.2. Activité antioxydante

III.2.1. Le pouvoir réducteur

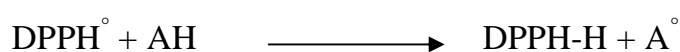
Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants présents dans l'extrait à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) du complexe ferricyanure en fer ferreux (Fe^{2+}). La forme réduite donne une couleur verte dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait.

Le pouvoir réducteur des extraits de figes est estimé par la méthode rapportée par **Elmastas *et al.* (2007)**; 1 ml d'extrait est mélangé avec 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5ml de ferricyanure de potassium (1%). Après incubation à 50°C pendant 20 min., 2,5 ml d'acide trichloracétique (10%) sont additionnés au mélange avant d'être centrifugé à 3000 tpm pendant 10 min. 2,5 ml du surnageant sont mélangés avec 2,5 ml d'eau et 0,5 ml de chlorure ferrique (0.1%). L'absorbance est mesurée à 700 nm.

Les résultats du pouvoir réducteur sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique/100g de matière sèche (mg EAG/100g MS), par rapport à une courbe d'étalonnage (figure 4, annexe).

III.2.2. L'activité antiradicalaire

La méthode au diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) est utilisée pour déterminer la capacité des extraits à céder des protons et/ou des électrons:



Cette activité est mesurée selon la méthode rapportée par **Peschel *et al.* (2006)**; 230 μl d'extrait sont additionnés de 1000 μl de DPPH. Le mélange est incubé pendant 30

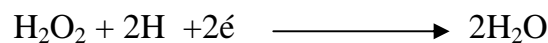
min. et l'absorbance est mesurée à 515 nm. Les résultats sont exprimés en pourcentage selon la formule :

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

A_t : Absorbance du témoin A_e : Absorbance de l'extrait

III.2.3. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène

Cette activité est basée sur l'étude du potentiel antioxydant des extraits avec 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)**; 1,5 ml d'extrait de figes sont ajoutés à 1 ml de la solution du peroxyde d'hydrogène (40 mM). Après incubation pendant 10 min, l'absorbance est mesurée à 230 nm. L'activité est calculée selon la formule suivante :

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

A_t : Absorbance du témoin A_e : Absorbance de l'extrait

❖ Effet de la température d'extraction

Après le dosage des antioxydants et l'étude de l'activité antioxydante des différents extraits, le meilleur solvant est sélectionné pour l'étude de l'effet de la température afin d'optimiser l'extraction des composés phénoliques de figes sèches. L'extraction est réalisée à quatre températures : 25°C, 40°C, 60°C et 80°C.

IV. Analyse statistique

Les données représentent la moyenne de trois essais. La comparaison des résultats est réalisée par l'analyse de la variance, ANOVA (STATISTICA 5.5) et le degré de signification des données est pris à la probabilité $P < 0,05$.

Le test de Newman et Keurlis est utilisé pour l'évaluation de l'effet du solvant, de l'effet de la température d'extraction et la comparaison entre les deux variétés de figes.

Résultats et discussion

I. Teneur en eau des figes sèches

La teneur en eau des échantillons de figes analysées varie de 22,69% (T2) à 29,53% (T3). Des différences significatives ($p < 0,05$) existent entre les échantillons des deux variétés (**tableau VI**). Cependant, la différence entre les deux variétés est non significative ($p < 0,05$). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par le département d'agriculture Américain rapportées par **Vinson *et al.* (2005)** : $11 \pm 5\%$; cela peut être dû au mode et à la durée de séchage appliqué aux figes. Le taux d'humidité dépend également des conditions climatiques de la région ainsi que les conditions de conservation des échantillons.

Tableau VI : Teneurs en humidité des échantillons de figes

Variété	Echantillon	Humidité (%)	
Taamriout	T1	$27,03 \pm 1,24^b$	$26,42 \pm 0,67^A$
	T2	$22,69 \pm 0,23^c$	
	T3	$29,53 \pm 0,54^a$	
Azenjelle	A1	$26,14 \pm 0,20^{a'b'}$	$26,57 \pm 1,15^A$
	A2	$28,7 \pm 0,24^{a'}$	
	A3	$24,87 \pm 3,01^{b'}$	

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c$, $a' > b' > c'$.
Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de la variété.

II. Effet du solvant d'extraction sur les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante des extraits de figes sèches

II.1. Les antioxydants

II.1.1. Les polyphénols totaux

L'objectif de l'étape d'extraction des composés phénoliques à partir de la matrice végétale est de libérer ces composés à partir des structures vacuolaires où ils se trouvent, par la rupture du tissu végétal ou par le phénomène de diffusion. La méthode d'extraction

doit permettre une extraction complète des composés désirés et éviter au maximum leurs modifications chimiques.

Les caractéristiques chimiques des solvants et la diversité structurale des composés phénoliques impliquent que chaque matériel a son système solvant spécifique et difficile à prédire.

Les composés majeurs des figes présentant une activité antioxydante sont les composés phénoliques. Par conséquent, il est nécessaire de les extraire efficacement lorsque les activités antioxydantes sont mesurées. Neuf mélanges de solvants ont été choisis pour extraire les composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes et tanins condensés) à partir des échantillons des deux variétés de figes sèches afin de mesurer leur activité antioxydante.

Les polyphénols sont des composés polaires (présence de plusieurs groupements hydroxyles), l'extraction doit être effectuée avec un solvant organique mélangé avec l'eau. Il n'existe pas un solvant qui permet d'extraire tous les composés phénoliques d'un échantillon, car la polarité de ces composés est variable. Les teneurs en composés phénoliques des extraits des deux variétés de figes sèches sont significativement affectées par le type du solvant ($p < 0,05$). Pour la variété Taamriout, la teneur la plus élevée en composés phénoliques (296 mg EAG/100g MS) est obtenue avec l'extrait à l'acétone 70%, alors que les teneurs les plus faibles sont obtenues avec les extraits au méthanol 50% (200 mg/100g MS) et 30% (202 mg/100g MS) et l'éthanol 30% (207 mg/100g MS) qui ne présentent pas de différence significative ($p < 0,05$) (**figure 15**). L'efficacité des solvants utilisés pour l'extraction des composés phénoliques à partir de la variété de figes blanches présente l'ordre décroissant suivant : acétone 70% > méthanol 70% = acétone 50% > éthanol 70% = acétone 30% > éthanol 50% > méthanol 50% = méthanol 30% = éthanol 30%.

Pour la variété Azenjelle, les teneurs les plus élevées en composés phénoliques sont obtenues avec les extraits à l'acétone 70% (349 mg EAG/100g MS) et 50% (347 mg EAG/100g) (**figure 16**). Les teneurs les plus faibles sont celles des extraits à l'éthanol 30% (266 mg EAG/100g MS), au méthanol 70% (270 mg EAG/100g) et 50% (273 mg EAG/100g). L'efficacité des solvants suit l'ordre décroissant suivant : acétone 70%

=acétone 50% > acétone 30% > éthanol 70% > éthanol 50% > méthanol 30% ≥ méthanol 50% ≥ méthanol 70% > éthanol 30%.

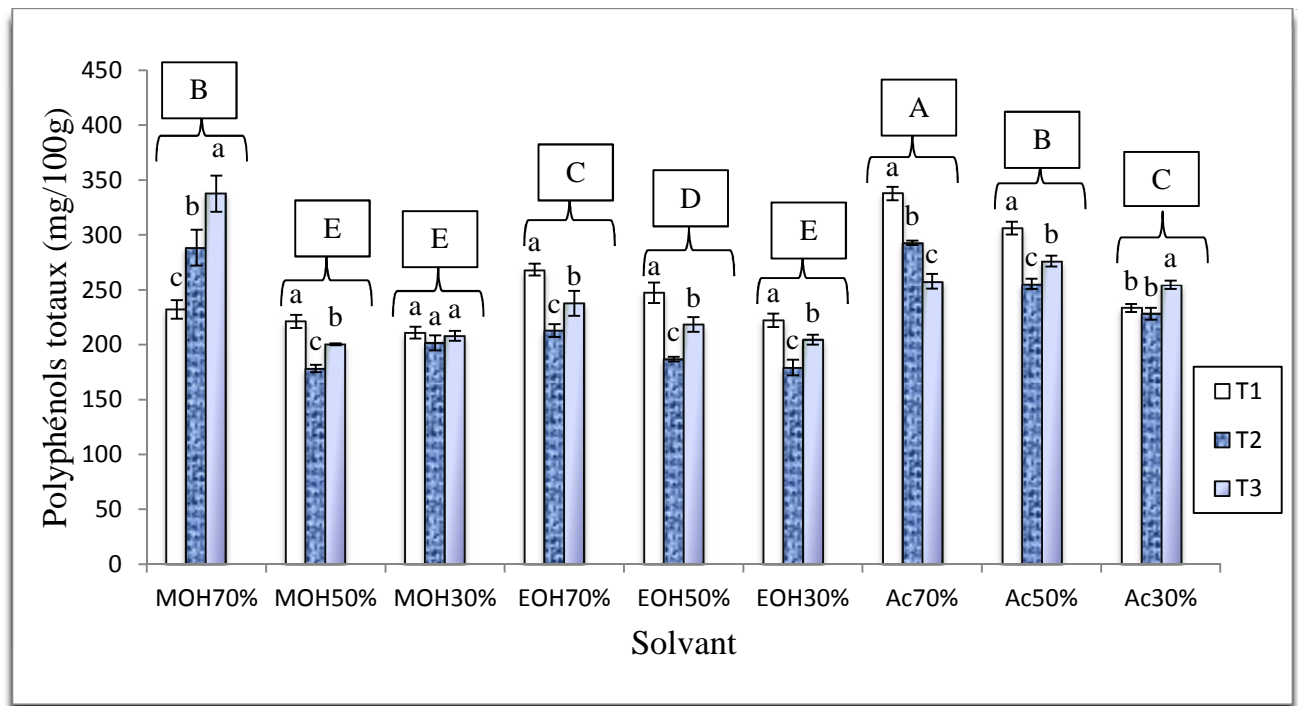


Figure 15: Teneurs en composés phénoliques des extraits de figes de la variété Taamriout

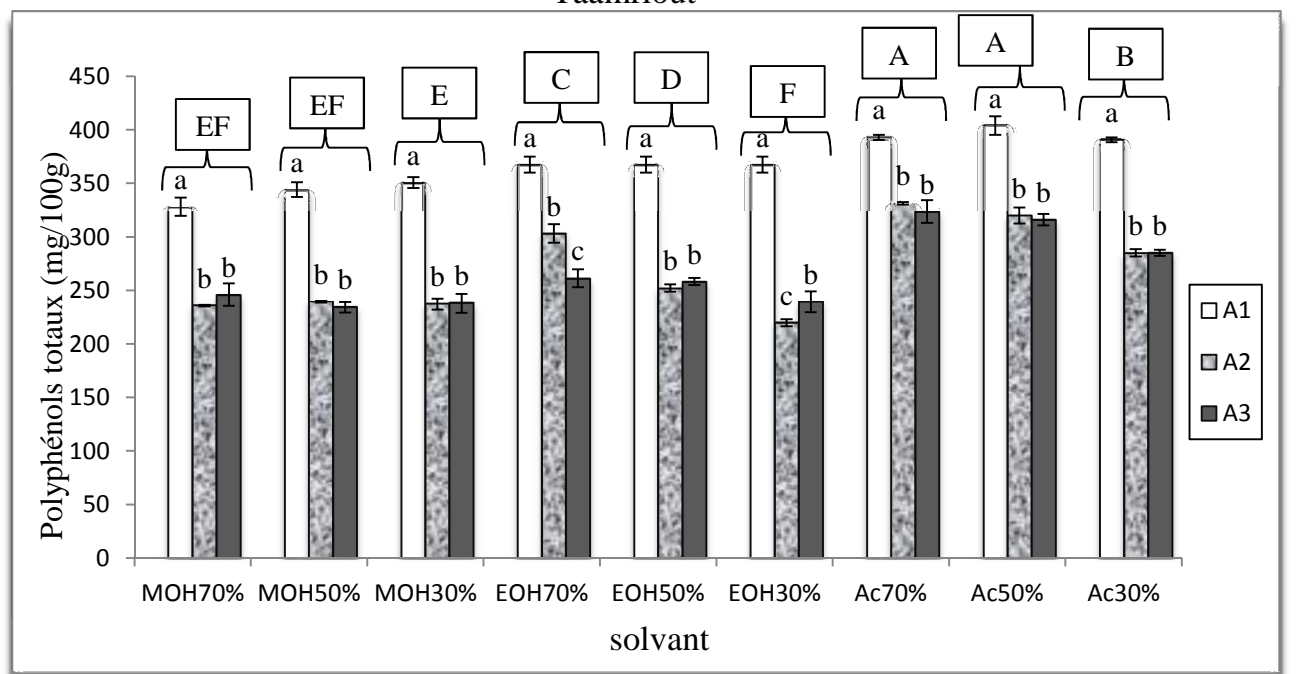


Figure 16: Teneurs en composés phénoliques des extraits de figes de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : a>b>c>d>e>f.

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet du solvant.

MOH : méthanol, EOH : éthanol, Ac : acétone

Ces résultats concordent avec ceux de **Alothman et al. (2009)** qui ont rapporté que l'acétone 70% est le solvant de choix pour l'extraction des composés phénoliques à partir de la banane par rapport à l'eau, l'acétone 50% et 90%, le méthanol 50%, 70% et 90%, l'éthanol 50%, 70% et 90. **Zhao et al. (2006)** ont rapporté que l'acétone 80% est le meilleur solvant pour l'extraction des composés phénoliques de l'orge en le comparant à l'éthanol 80%, le méthanol 80% et l'eau.

Dans une étude réalisée sur différents fruits, les extraits à l'acétone 70% présentent les teneurs en composés phénoliques les plus élevées par rapport aux extraits méthanoliques (**Lamien-Meda et al., 2008**). L'extrait à l'acétone 70% de *Ficus racemosa* est plus riche en polyphénols que l'extrait méthanolique (**Manian et al., 2008**).

L'acétone a l'avantage de précipiter les protéines et d'extraire faiblement les sucres. Les mélanges acétone/eau sont de bons solvants pour l'extraction des antioxydants polaires ; il semble qu'ils permettent la dissolution des complexes composés phénoliques-protéines.

Le taux d'extraction des composés phénoliques ne dépend pas seulement de la polarité des solvants mais également de la polarité des composés phénoliques.

Selon **Zhang et al. (2001)**, la faible teneur des extraits ayant des teneurs élevées en eau en composés phénoliques pourrait être due à la polyphénol oxydase qui oxyde les composés phénoliques. Cette enzyme est alors moins active dans les extraits à l'acétone 70%.

❖ Composés phénoliques des extraits à l'acétone 70%

Les teneurs en composés phénoliques des extraits des échantillons des deux variétés de figes présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Pour la variété Taamriout, les teneurs varient de 257,75 (T3) à 337,65 mg EAG/100g de MS (T1); pour la variété Azenjelle, les teneurs des extraits des échantillons A3 (323,57 mg /100g MS) et A2 (331,23 mg /100g MS) ne présentent pas de différence significative ($p < 0,05$). Cependant, l'extrait de l'échantillon A1 (392,77mg /100g MS) est significativement différent ($p < 0,05$) des extraits des deux autres échantillons.

La teneur moyenne en polyphénols totaux des extraits de la variété Azenjelle (349 mg EAG/100g MS; 266 mg EAG/100g PF) est significativement plus élevée que celle de la variété Taamriout (296 EAG/100g MS; 218 mg/100g PF).

Dans une étude réalisée sur sept variétés de figes sèches (Aberkane, Azeghzaw, Azenjelle, Bakor, Taamriout, Tahiounte, et Tanoukalette), **Boukhalfa (2007)** a obtenu des teneurs allant de 65,99 à 128,46 mg EAG/100g de PF. Les variétés Aberkane et Azenjelle ont les teneurs en composés phénoliques les plus élevées et les variétés Azeghzaw, Taamriout et Bakor ont les teneurs les plus faibles. La différence de la teneur en composés phénoliques de nos échantillons avec ceux analysés par cet auteur est probablement due à la méthode de séchage, d'extraction et de dosage.

Plusieurs études ont montré que les différences des teneurs en composés phénoliques totaux entre les échantillons peuvent être dues à la complexité de ce groupe de composés, aux méthodes d'extraction et d'analyse utilisées, au type et à la concentration du solvant (**Siriwoharn et al., 2004 ; Li et al., 2006**).

La composition phénolique des fruits est influencée par les facteurs intrinsèques (espèce, variété) et extrinsèques (conditions de culture) mais peut être également modifiée par le séchage du fruit qui peut détruire ou convertir les polyphénols en une forme non antioxydante (**Manach et al., 2004 ; Vinson et al., 2005**).

II.1.2. Les flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes des extraits des deux variétés de figes analysées sont significativement affectées par le type du solvant ($p < 0,05$).

Pour la variété Taamriout, les résultats indiquent que l'efficacité des solvants utilisés pour l'extraction présente l'ordre décroissant suivant : méthanol 30% > éthanol 30% > éthanol 50% = acétone 50% > éthanol 70% \geq méthanol 70% = acétone 70% \geq méthanol 50% > acétone 30%. Les teneurs varient de 63 mg EQ/100g MS (extrait à l'acétone 30%) à 92 mg EQ/100g MS (extrait au méthanol 30%) (**figure 17**).

Pour la variété Azenjelle, les résultats montrent que l'efficacité des solvants utilisés présente l'ordre suivant : méthanol 30% > éthanol 30% > éthanol 50% > acétone 50% > acétone 30% > méthanol 50% > acétone 70% = éthanol 70% = méthanol 70%.

Les teneurs varient de 87 mg EQ/100g MS (extrait au méthanol 70%) à 132 mg EQ/100g MS (extrait au méthanol 30%) (**figure 18**).

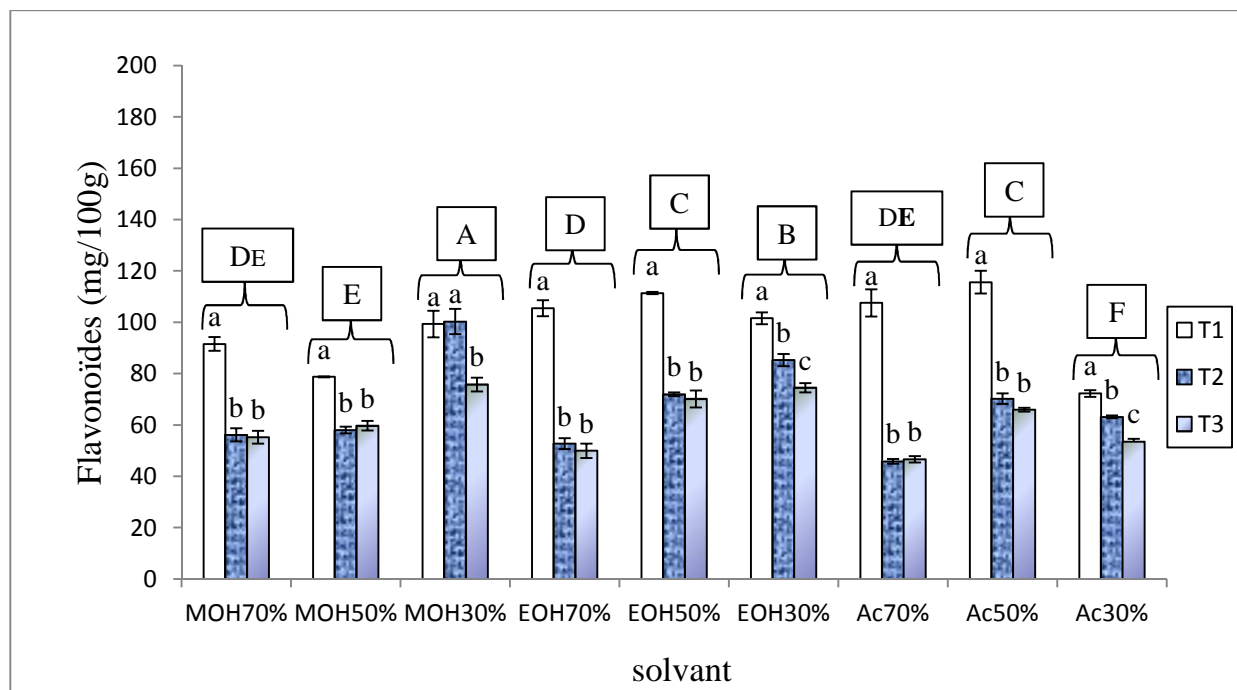


Figure 17 : Teneurs en flavonoïdes des extraits de figes de la variété Taamriout

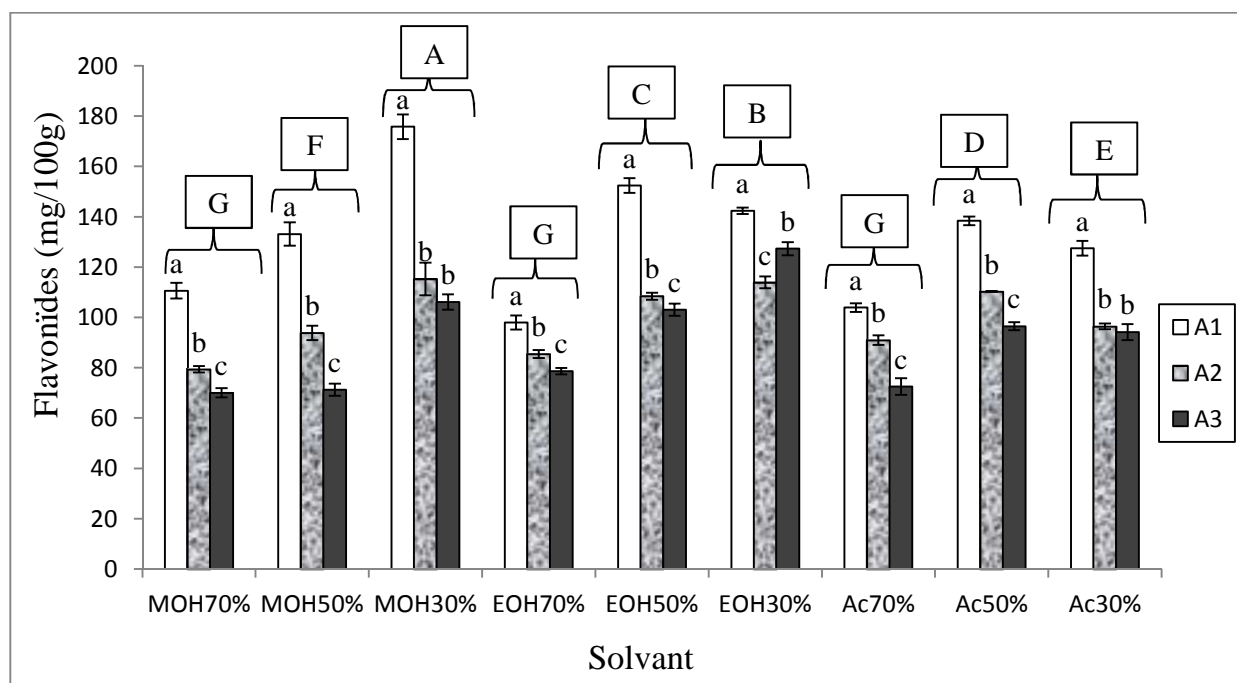


Figure 18: Teneurs en flavonoïdes des extraits de figes de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : a>b>c>d>e>f>g.

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de solvant.

MOH: méthanol, EOH: éthanol, Ac: acétone

Selon **Lapornik et al. (2005)**, la solubilité des flavonoïdes dans un solvant dépend du nombre et de la position de la liaison des glucides avec les flavonoïdes.

Dans la présente étude, les flavonoïdes ne suivent pas le même profil que les polyphénols totaux; cela peut être dû à la sélectivité des solvants qui est différente. L'analyse des résultats nous renseigne sur la nature des flavonoïdes des figes qui sont très polaires car les teneurs les plus élevées sont obtenues dans les extraits au méthanol 30% et les extraits à l'éthanol 30%, pour les deux variétés. Le mélange méthanol-eau est plus efficace pour l'extraction des composés liés à la matrice fibreuse surtout que la fige sèche est un aliment très riche en fibres.

❖ Flavonoïdes des extraits au méthanol 30%

Le test LSD réalisé pour les teneurs en flavonoïdes des extraits des échantillons analysés montre des différences significatives ($p < 0,05$) au sein de la même variété. Les extraits des échantillons T2 (100,28 mg EQ/100g MS) et A1 (175,76 mg EQ/100g MS) présentent les teneurs les plus élevées pour les variétés Taamriout et Azenjelle, respectivement.

Le test de Newman-keuls a montré que la teneur en flavonoïdes des extraits de la variété Azenjelle (132 mg EQ/100g MS; 97 mg EQ/100g PF) est significativement plus élevée que celle des extraits de la variété Taamriout (92 mg EQ/100g; 68 mg EQ/100g PF). Selon **Solomon et al. (2006)**, les teneurs en flavonoïdes de six variétés de figes fraîches varient de 2,1 (variété blanche= Kadota) à 21,5 mg équivalent catéchine/100g PF (variété noire= Misson). Selon **Boukhalfa (2007)**, les teneurs en flavonoïdes des extraits de figes sèches varient de 6,95 (variété Taamriout) à 48,92 mg EQ/100g de PF (variété Aberkane). La différence des teneurs en flavonoïdes de nos échantillons avec ceux analysés par cet auteur est probablement due aux méthodes de séchage, d'extraction et de dosage, le climat et les conditions de culture du fruit.

II.1.3. Les tanins condensés (proanthocyanidines)

Les solvants d'extraction affectent significativement les teneurs en proanthocyanidines. L'efficacité des solvants utilisés pour l'extraction des tannins condensés présente pratiquement le même ordre pour les deux variétés (**figures 19 et 20**).

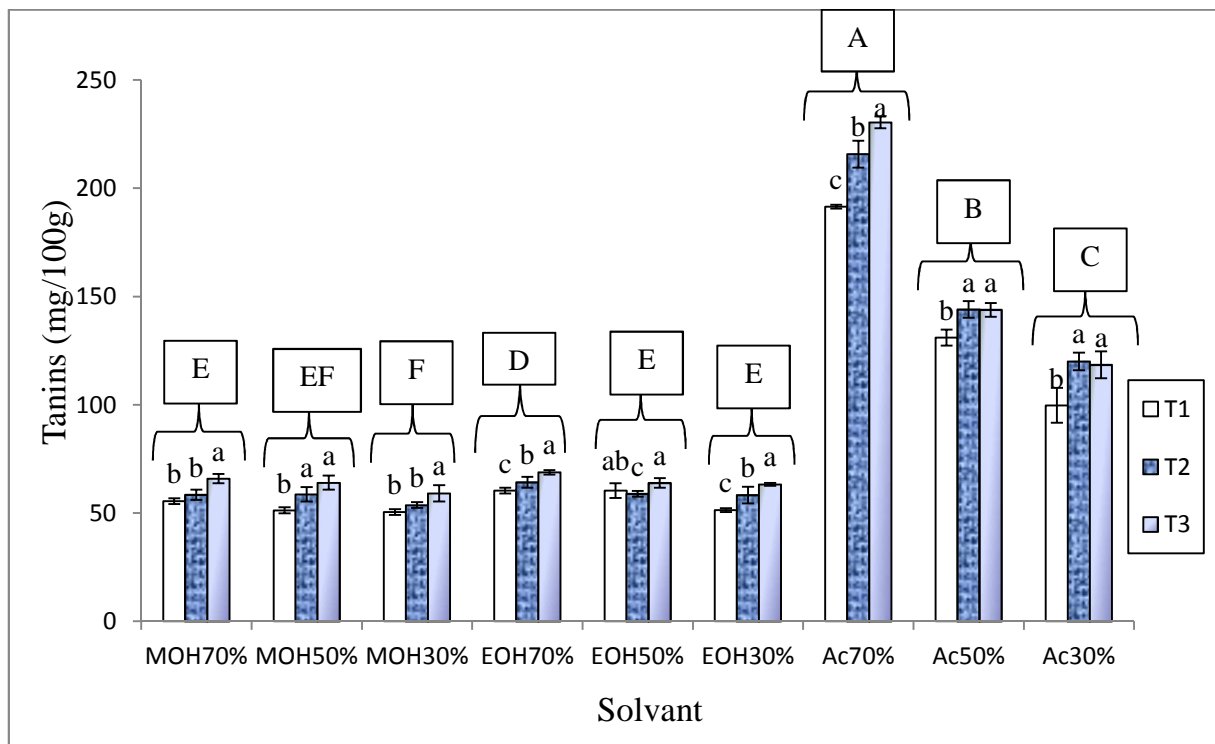


Figure 19: Teneurs en proanthocyanidines des extraits de figes de la variété Taamriout

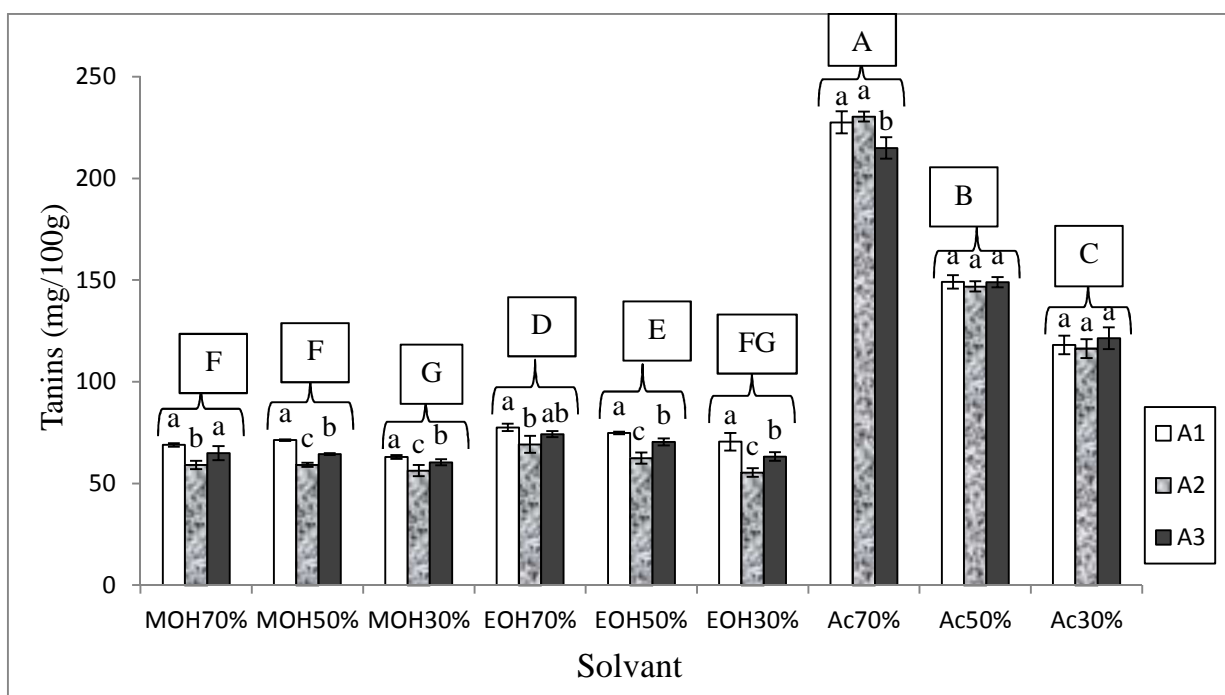


Figure 20: Teneurs en proanthocyanidines des extraits de figes de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c > d > e > f > g$.

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de solvant.

MOH: méthanol, EOH: éthanol, Ac: acétone

Pour la variété Taamriout l'ordre est: acétone 70% > acétone 50% > acétone 30% > éthanol 70% > éthanol 50% = méthanol 70% ≥ méthanol 50% = éthanol 30% > méthanol 30%. Pour la variété Azenjelle l'ordre est: acétone 70% > acétone 50% > acétone 30% > éthanol 70% > éthanol 50% > méthanol 50% = méthanol 70% ≥ éthanol 30% = méthanol 30%.

Ces résultats concordent avec ceux de **Naczki *et al.* (1992)** et **Chavan *et al.* (2001)** qui ont indiqué que le meilleur solvant pour extraire les tanins à partir des graines de colza et des petits pois est l'acétone 70%. Le poids moléculaire des tanins est très élevé; ces molécules sont plus solubles dans les solvants peu polaires comme l'acétone 70%.

Pour la variété Taamriout, la teneur la plus élevée est de 213 mg EC/100g de MS et la teneur la plus faible est de 54 mg EC/100g de MS. Pour la variété Azenjelle, la teneur la plus élevée est de 222 mg EC/100g de MS et la teneur la plus faible est 60 mg EC/100g de MS. Les extraits à l'acétone 50% et 30% présentent également des teneurs élevées en proanthocyanodines mais la variété Azenjelle est significativement plus riche que la variété Taamriout.

❖ Proanthocyanidines des extraits à l'acétone 70%

Le test de Newman-Keuls a montré que la teneur en tanins condensés des extraits de la variété Azenjelle (222 mg EC/100g de MS; 163 mg EC/100g de PF) est significativement plus élevée que celle des extraits de la variété Taamriout (212 mg EC/100g de MS; 156 mg EC/100g de PF).

Les teneurs en tanins condensés de certains échantillons analysés présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Pour la variété Taamriout, la teneur en proanthocyanidines des extraits des échantillons varie de 191,47 (T1) à 230,40 mg EC/100g MS (T3). Pour la variété Azenjelle, les teneurs des extraits des échantillons A1 (227,53 mg EC/100g) et A2 (230,33 mg EC/100g) ne présentent pas de différence significative ($p < 0,05$) Cependant, l'extrait de l'échantillon A3 (209,26 mg EC/100g) est significativement différent ($p < 0,05$) des extraits des deux autres échantillons.

Les différences constatées entre les échantillons d'une même variété, récoltée dans la même région, à la même période, séchés, conservés et analysés sous les mêmes

conditions, pourrait être attribuée principalement à l'effet du sol qui diffère d'un verger à l'autre.

II.1.4. Les anthocyanines

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

Les teneurs en anthocyanines des échantillons de figes analysées présentent des différences significatives ($p < 0,05$) (**tableau VII**); elles sont comprises entre 15,41 (T2) et 28,68 mg EQ3G/100g MS (T1), pour la variété Taamriout et entre 40,91 (A2) et 107,86 EQ3G/100g MS (A1) pour la variété Azenjelle. Comme son nom l'indique, la variété de figes noires est significativement plus riche en anthocyanines que la variété de figes blanches.

Les données de la littérature sur la teneur en anthocyanines des figes sèches sont limitées. Selon **Del Caro et Piga (2008)**, la peau et la pulpe de la fige fraîche noire contiennent 92,92 et 0,49 mg/100g de PF alors que la variété de fige fraîche blanche ne contient que 1,76 mg/100g de PF et seulement dans la pulpe. Les différences constatées entre les figes fraîches et les figes sèches peuvent être principalement dûes à l'effet du séchage.

La différence de couleur des deux variétés de figes est due à la différence dans l'expression de gènes qui contrôlent la synthèse des anthocyanines; une expression élevée est associée avec les variétés ayant une peau noire, sans oublier que les autres classes de polyphénols contribuent à la pigmentation (**Solomon et al., 2006**).

II.1.5. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules lipophiles. Leur extraction exige l'utilisation de deux phases: une phase apolaire pour solubiliser les caroténoïdes et une phase polaire pour éliminer les molécules hydrophiles dont les composés phénoliques. Les teneurs en caroténoïdes des échantillons de figes analysées varient entre 202,02 (T3) et 289,75 μg E β C/100g MS (A1) (**tableau VII**).

Tableau VII : Teneur en anthocyanines et en caroténoïdes des échantillons de figes

Variété	Echantillon	Anthocyanines (mg EQ3G/100g MS)		Caroténoïdes ($\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MS}$)	
Taamriout	T1	28,68 \pm 3,42 ^a	20,72 \pm 1,43 ^B	206,22 \pm 19,35 ^a	221,98 \pm 24,75 ^B
	T2	15,41 \pm 0,65 ^b		227,71 \pm 8,52 ^a	
	T3	18,07 \pm 0,22 ^b		202,02 \pm 10,73 ^a	
Azenjelle	A1	107,86 \pm 2,89 ^{a'}	68,39 \pm 1,51 ^A	289,75 \pm 19,16 ^{a'}	263,25 \pm 16,70 ^A
	A2	40,91 \pm 0,47 ^{c'}		259,17 \pm 15,00 ^{b'}	
	A3	56,41 \pm 1,17 ^{b'}		240,82 \pm 22,00 ^{a'b'}	

Le test Newman-keurles a révélé que la teneur moyenne en caroténoïdes de la variété Azenjelle (263 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g}$; 193 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g PF}$) est significativement ($p < 0,05$) plus élevée que celle de la variété Taamriout (222 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g MS}$; 163 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g PF}$). Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Boukhalfa (2007)** qui a obtenu des teneurs de 962,5 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g PF}$ pour la variété Azenjelle et 492,9 $\mu\text{g E}\beta\text{C}/100\text{g PF}$ pour la variété Taamriout. Ces différences peuvent être dues à l'origine géographique des échantillons, à la méthode d'extraction, etc.

L'accumulation des caroténoïdes dans les tissus est influencée par des paramètres physiologiques et génétiques, les conditions environnementales (pluviosité), ainsi que les conditions de culture.

II.2. Activité antioxydante

II.2.1. Le pouvoir réducteur

Tous les extraits analysés présentent la capacité de céder un électron et de réduire ainsi le fer ferrique (Fe^{3+}) du ferricyanure en fer ferreux (Fe^{2+}). Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique qui est connu d'avoir un pouvoir réducteur élevé.

Le pouvoir réducteur des extraits de figes étudiées présente des différences significatives ($p < 0,05$), selon le solvant, l'échantillon et/ou la variété (**figures 21 et 22**).

Pour la variété Taamriout, l'extrait à l'acétone 70% (117mg EAG/100g MS) présente le pouvoir réducteur le plus élevé. Les extraits à l'éthanol 30% (83 mg EAG/100g MS) et 50% (84 mg EAG/100g MS) ont les pouvoirs réducteurs les plus faibles.

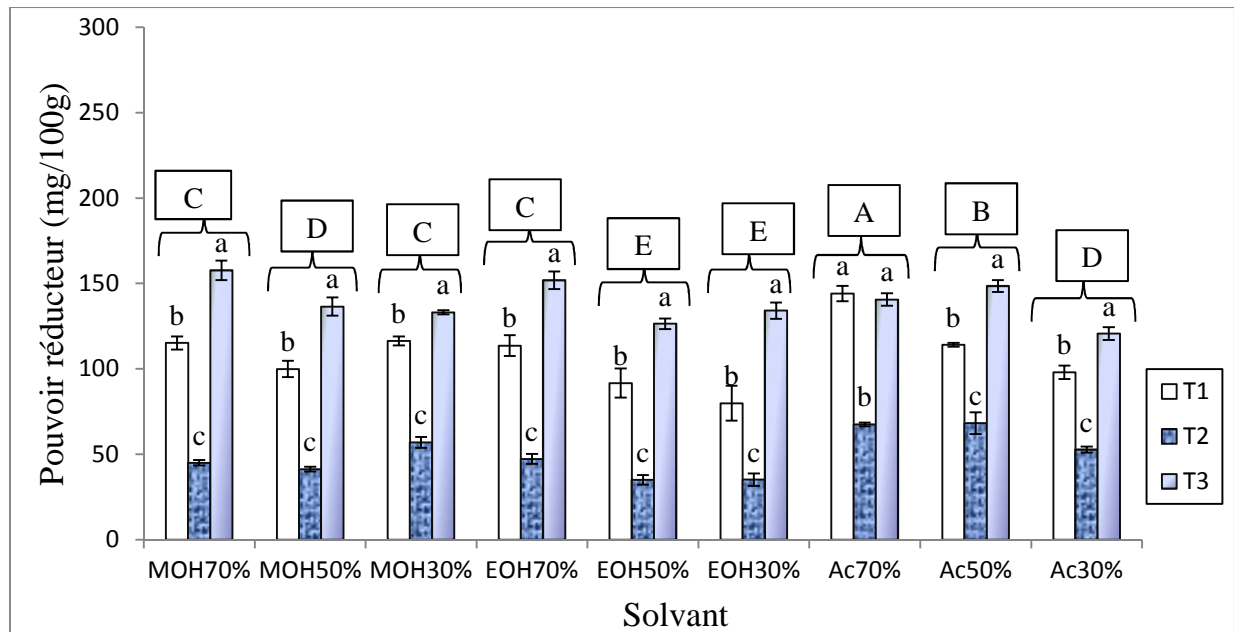


Figure 21: Pouvoir réducteur des extraits de figes de la variété Taamriout

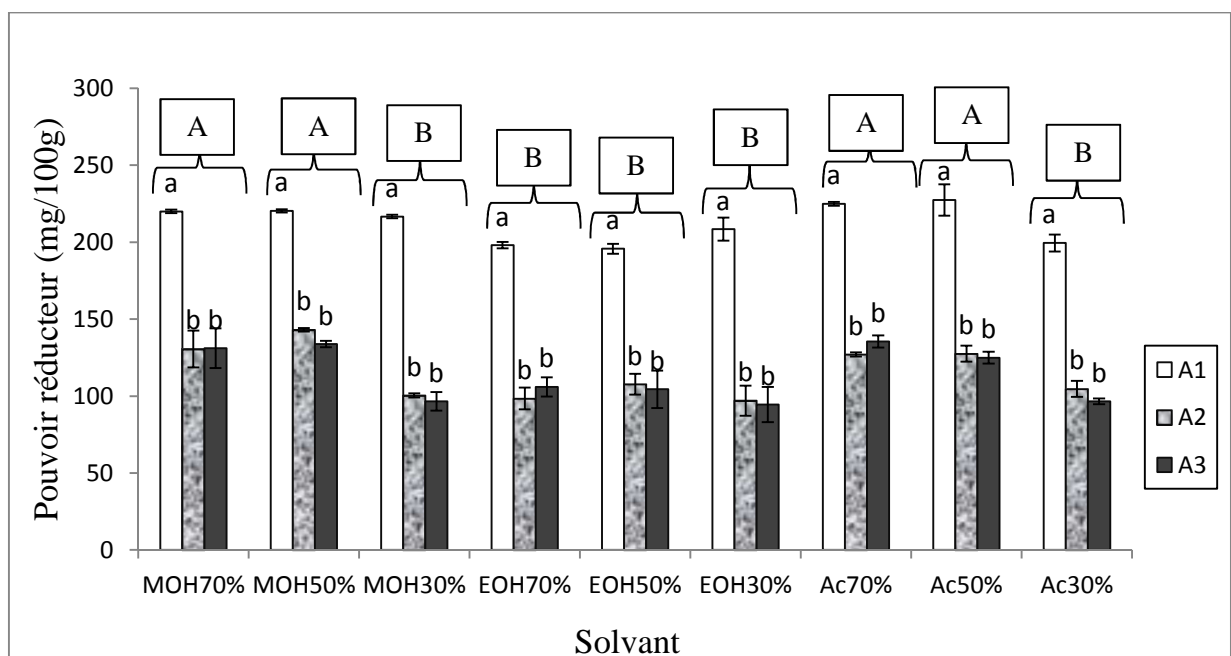


Figure 22: Pouvoir réducteur des extraits de figes de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c > d > e$

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de solvant.

MOH: méthanol, EOH: éthanol, Ac: acétone

Pour la variété Azenjelle, les pouvoirs réducteurs les plus élevés sont obtenus avec les extraits au méthanol 50% (166 mg EAG /100g) et 70% (160 mg EAG /100g), à l'acétone 70% (162 mg EAG /100g) et 50% (159 mg EAG /100g MS) qui présentent des différences non significatives ($p < 0,05$). Les pouvoirs réducteurs les plus faibles sont obtenus avec les extraits à l'éthanol 30% (133 mg EAG/100g), 50% (135 mg EAG/100g) et 70% (134 mg EAG/100g), à l'acétone 30% (133 mg EAG/100g) et au méthanol 30% (137 mg EAG/100g) qui présentent des différences non significatives ($p < 0,05$).

Selon **Jayaprakasha et al. (2008)**, les extraits acétoniques du pomélo et des oranges présentent des pouvoirs réducteurs plus élevés que ceux des extraits méthanoliques et éthanoliques. L'extrait méthanolique et l'extrait à l'acétone 70% de *Ficus racemosa* présentent les mêmes pouvoirs réducteurs à la concentration de 100 µg d'extrait (**Manian et al., 2008**).

Les antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, tanins, anthocyanines, etc.) présents dans les extraits sont responsables de la capacité de ces derniers à céder des électrons et la différence dans le pouvoir réducteur des extraits de différents solvants pourrait être expliquée par les variations qualitatives et quantitatives des composés phénoliques dans les extraits.

❖ **Pouvoir réducteur des extraits à l'acétone 70%**

Le test de Newman-keurles a révélé que le pouvoir réducteur des extraits de la variété Azenjelle est significativement plus élevé que celui des extraits de la variété Taamriout ($p < 0,05$).

Le pouvoir réducteur des extraits des échantillons de la variété Azenjelle présentent des différences significatives ($p < 0,05$); il varie de 127,05 (A2) à 224,91 mg EAG/100g MS (A1). Le pouvoir réducteur des extraits des échantillons T1 et T3 de la variété Taamriout présentent une différence non significative ($p < 0,05$). Le pouvoir réducteur le plus faible est celui de l'extrait de l'échantillon T2 (67,51 mg EAG/100g MS) qui varie significativement avec le pouvoir réducteur des extraits des deux autres échantillons.

II.2.2. L'activité antiradicalaire

L'activité antiradicalaire des extraits des deux variétés de figes sèches est estimée par l'utilisation de la méthode au diphényl-picryl hydrazyl(DPPH).

Tous les extraits de figes analysées possèdent la capacité de céder des atomes d'hydrogène et de réduire ainsi le radical DPPH (**figures 23 et 24**). Le test Newman-keurls montre que l'activité antiradicalaire des extraits des deux variétés de figes présentent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le solvant, la variété et/ou l'échantillon. Les extraits à l'acétone 50% présentent l'activité la plus élevée avec des pourcentages d'inhibition de 61% pour la variété Taamriout et 76% pour la variété Azenjelle.

Les activités antiradicalaires les plus faibles sont celles des extraits au méthanol 30% et à l'éthanol 30% (24% et 27%, pour la variété Taamriout, et 45% et 48%, pour la variété Azenjelle). Les extraits à l'acétone 70% présentent également des activités élevées.

Le type de solvant et la polarité affectent le transfert d'électrons et d'atomes d'hydrogène qui représente un aspect clé dans la mesure de l'activité antioxydante.

L'activité antiradicalaire dépend de la structure des composés phénoliques contribuant à leur capacité de transfert d'électron/donneur d'hydrogène (**Williams *et al.*, 1995**) ; elle pourrait également être due aux effets synergiques entre diverses classes d'antioxydants présents dans les extraits (composés phénoliques, flavonoïdes, tanins, caroténoïdes, etc.)

❖ L'activité antiradicalaire des extraits à l'acétone 50%

Les extraits de la variété Azenjelle présentent une activité antiradicalaire significativement plus élevée que celle des extraits de la variété Taamriout ($p < 0,05$).

Les extraits des échantillons T3 et T2 de la variété Taamriout présentent la même activité (60,11%) et diffèrent significativement ($p < 0,05$) de l'extrait de l'échantillon T1 (70,31%). Les extraits des échantillons A3 (78,17%) et A1 (80,74%) de la variété Azenjelle présentent une différence non significative ($p < 0,05$). L'extrait de l'échantillon

A2 (68,60%) est significativement différent ($p < 0,05$) des extraits des deux autres échantillons.

Les variations de la capacité antioxydante des extraits des échantillons analysés peuvent être attribuées principalement aux différences dans leurs teneurs en antioxydants.

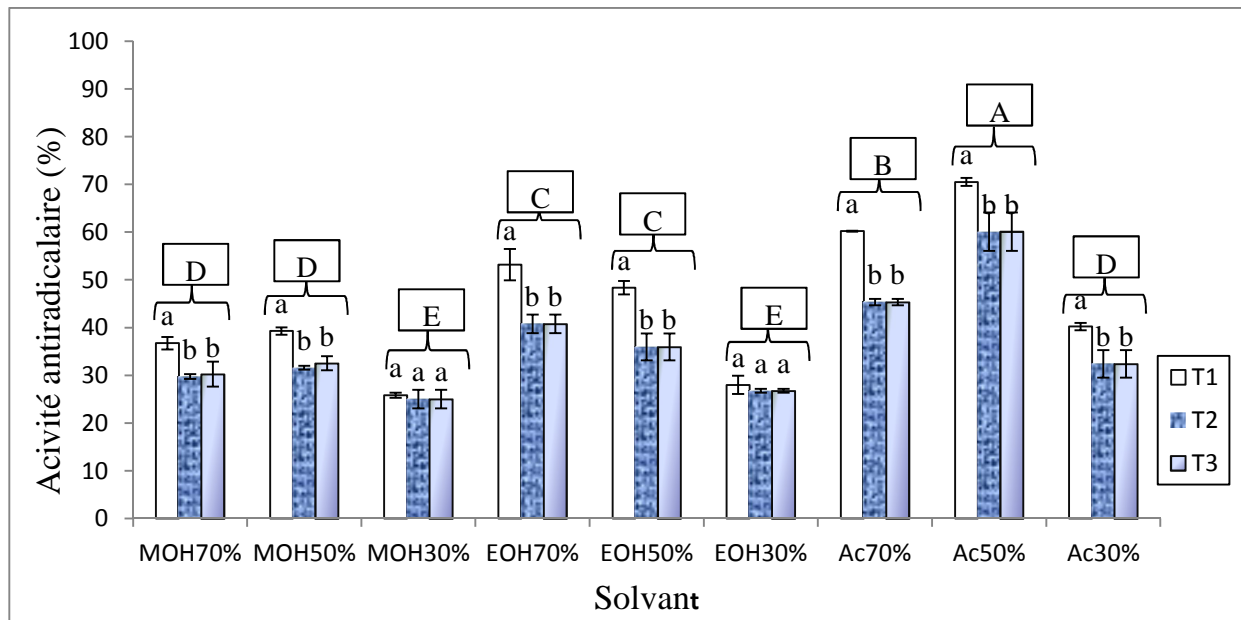


Figure 23: Activité antiradicalaire des extraits de figes de la variété Taamriout

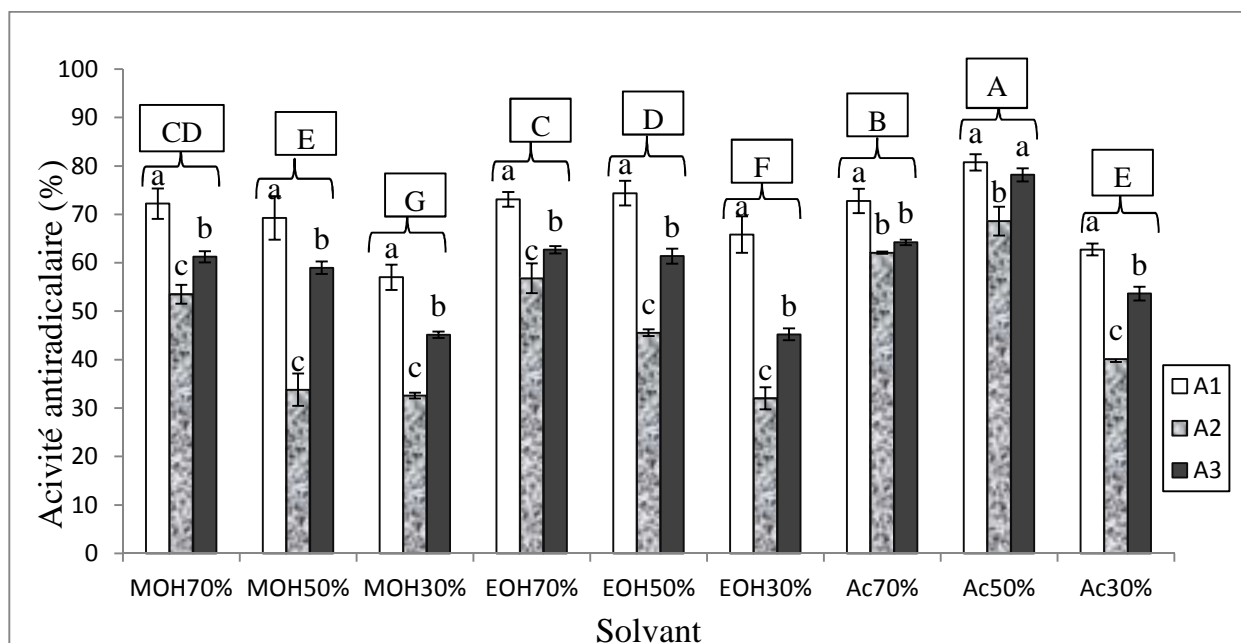


Figure 24: Activité antiradicalaire des extraits de figes de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents $a > b > c > d > e > f > g$.

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de solvant.

MOH: méthanol, EOH: éthanol, Ac: acétone

II.2.3. L'inhibition du peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène est un produit non radicalaire mais très réactif et susceptible de produire des radicaux hydroxyles en présence du fer ferreux (réaction de Fenton).

La nature du solvant utilisé pour l'extraction affecte significativement la capacité des extraits à inhiber le peroxyde d'hydrogène ; cependant, la différence est non significative ($p < 0,05$) entre les extraits des deux variétés de figes (**figures 25 et 26**). Les extraits à l'acétone 70% présentent les taux d'inhibition les plus élevés (73%, pour la variété Azenjelle et 72%, pour la variété Taamriout) suivis des extraits à l'acétone 50% et 30% qui présentent des différences significatives ($p < 0,05$), avec des pourcentages d'inhibition de 63 et 51%, pour les extraits de la variété Azenjelle et de 60 et 50%, pour les extraits de la Taamriout.

Les pourcentages les plus faibles (11 et 10%) sont enregistrés pour l'extrait à l'éthanol 70% de la variété Taamriout et l'extrait à l'éthanol 50% de la variété Azenjelle.

Les polyphénols protègent les cellules de la toxicité induite par le peroxyde d'hydrogène, ceci indique que l'effet inhibiteur des extraits des deux variétés de figes sèches est dû essentiellement à la présence des composés phénoliques, à l'effet synergique des différentes classes de composés phénoliques ou à la présence d'autres classes d'antioxydants dans les extraits.

II.3. Relation activité antioxydante et teneurs en composés phénoliques

Afin d'évaluer la contribution des classes polyphénoliques individuelles à l'efficacité antioxydante des extraits, deux matrices de corrélation sont réalisées (une pour la variété Taamriout et l'autre pour la variété Azenjelle). Les coefficients de corrélation obtenus sont élevés et statistiquement significatifs ($p < 0,05$) ou hautement significatifs ($p < 0,01$) ou très hautement significatifs ($p < 0,001$). Les extraits à l'acétone 70% sont utilisés pour étudier ces corrélations.

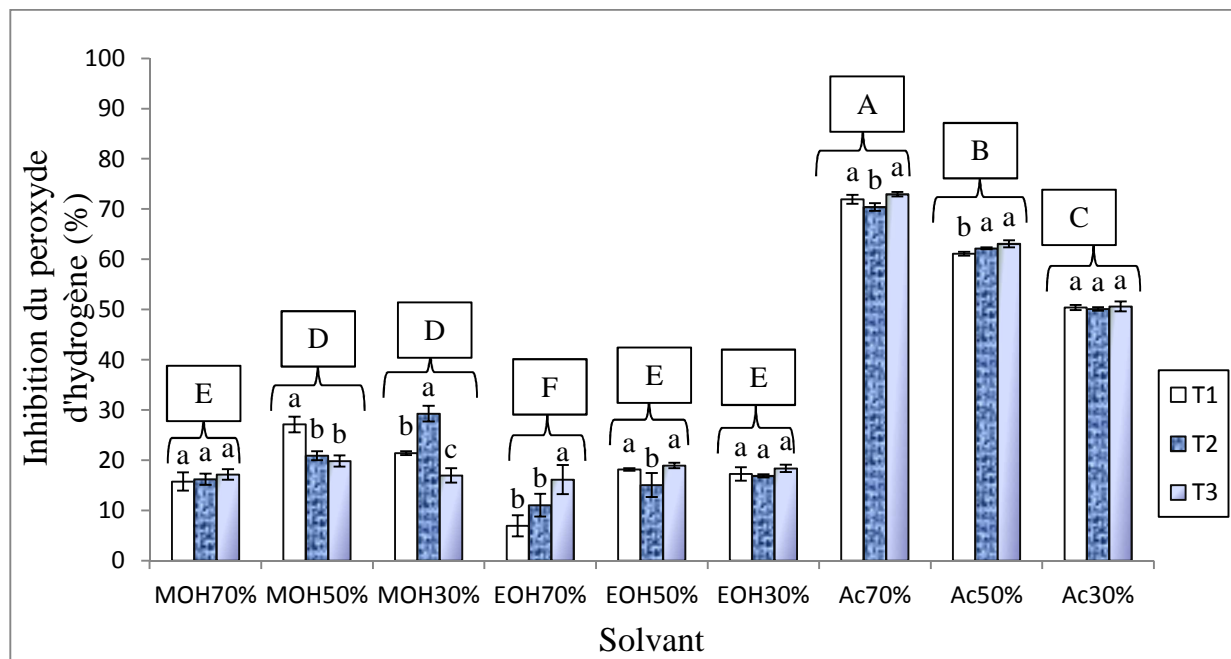


Figure 25: Inhibition du peroxyde d'hydrogène par les extraits de la variété Taamriout

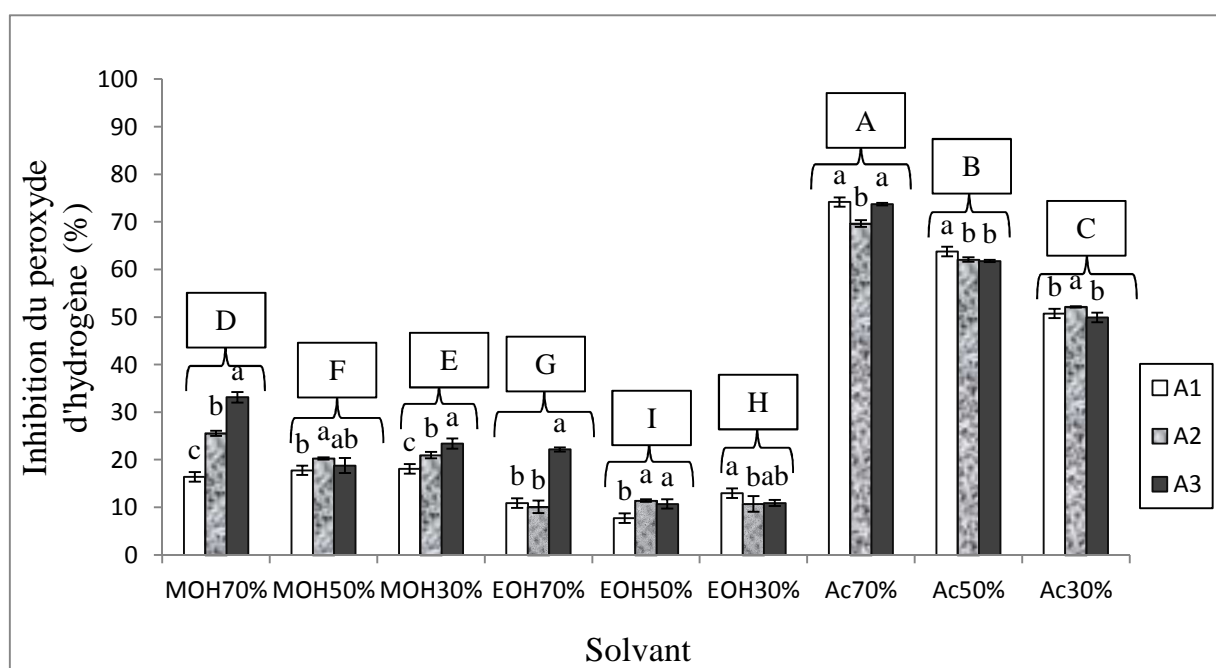


Figure 26: Inhibition du peroxyde d'hydrogène par les extraits de la variété Azenjelle

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c > d > e > f > g > h > i$.

Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de solvant.

MOH: méthanol, EOH: éthanol, Ac: acétone

❖ **La variété Azenjelle**

Des corrélations positives significatives ($p < 0,05$), hautement significatives ($p < 0,01$) et très hautement significatives ($p < 0,001$) sont obtenues entre la capacité antioxydante des extraits de figes et les teneurs en composés phénoliques totaux indiquant que ces composés contribuent à la capacité antioxydante.

Le pouvoir réducteur des extraits de figes présente des corrélations positives hautement significatives ($p < 0,01$) avec les teneurs en polyphénols totaux ($r = 0,97^{**}$) et des corrélations positives non significatives ($p < 0,05$) avec les teneurs en flavonoïdes ($r = 0,77$) et en tanins ($r = 0,20$) (**tableau VIII**).

Tableau VIII: Matrice de corrélation entre les différents paramètres (antioxydants et activité antioxydante) de la variété Azenjelle

	PPT	Flavonoïdes	Tanins	P. réducteur	DPPH
Flavonoïdes	0,90*				
Tanins	0,43	0,75			
P. réducteur	0,97**	0,77	0,20		
DPPH	0,90*	0,64	0,01	0,97***	
H₂O₂	0,44	0,00	-0,57	0,64	0,76

(*) *Corrélation significative au seuil de la probabilité $p < 0,05$*

(**) *Corrélation hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,01$*

(***) *Corrélation très hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,001$*

Les résultats obtenus indiquent également l'existence de corrélations positives significatives ($p < 0,05$) entre l'activité antiradicalaire des extraits de figes et les teneurs en composés phénoliques ($r = 0,90^*$).

Les corrélations entre l'activité antioxydante et les teneurs en polyphénols sont supérieures à celles constatées avec les flavonoïdes et les tanins condensés (corrélations non significatives); Donc la capacité antioxydante est fortement liée aux polyphénols totaux et modestement liée aux classes individuelles de ces composés. Ceci signifie qu'il existe l'effet potentiel synergique entre les antioxydants du fruit.

Des corrélations positives très hautement significatives ($p < 0,001$) existent entre l'activité antiradicalaire et le pouvoir réducteur ($r = 0,97^{***}$), indiquant ainsi une similitude de mécanisme entre ces deux méthodes et la présence de molécules ayant des propriétés antiradicalaires et réductrices.

L'inhibition du peroxyde d'hydrogène des extraits de figes n'est pas corrélé avec les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes ou en tanins condensés, indiquant qu'il existe un effet synergique entre ces différentes classes responsable de l'activité antioxydante.

❖ La variété Taamriout

L'activité antiradicalaire des extraits de figes présente des corrélations positives significatives ($p < 0,05$) avec les teneurs en polyphénols totaux ($r = 0,87^*$) et très hautement significatives ($p < 0,001$) avec les teneurs en flavonoïdes ($r = 0,99^{***}$) (**tableau IX**) indiquant ainsi que les flavonoïdes sont la classe des polyphénols responsables de l'activité antiradicalaire des extraits de la variété Taamriout.

Tableau IX : Matrice de corrélation entre les différents paramètres (antioxydants et activité antioxydante) de la variété Taamriout

	PPT	Flavonoïdes	Tanins	P. Réducteur	DPPH
Flavonoïdes	0,87*				
Tanins	-0,94**	-0,92*			
P. réducteur	0,06	0,52	-0,18		
DPPH	0,87*	0,99***	-0,91*	0,50	
H ₂ O ₂	-0,31	0,13	0,14	0,81	0,07

(*) Corrélation significative au seuil de la probabilité $p < 0,05$

(**) Corrélation hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,01$

(***) Corrélation très hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,001$

Le pouvoir réducteur et le pouvoir d'inhibition du peroxyde d'hydrogène des extraits de figes ne sont pas corrélés avec les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes ou en tanins condensés, indiquant qu'il existe un effet synergique entre ces

différentes classes responsable de l'activité antioxydante. Ces résultats peuvent indiquer également que les composés phénoliques ne sont pas les contributeurs principaux à la capacité antioxydante de la variété de figes sèches blanches.

III. Effet de la température d'extraction sur les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante des extraits de figes sèches

Le méthanol 30% est le solvant de choix pour l'extraction des flavonoïdes à partir des deux variétés de figes étudiées. L'acétone 50% est le solvant de choix pour l'activité antiradicalaire; cependant, l'acétone 70% est le solvant qui a permis d'extraire des quantités élevées en polyphénols totaux et en proanthocyanidines. Les extraits à l'acétone 70% présentent le pouvoir d'inhibition du peroxyde d'hydrogène et le pouvoir réducteur les plus élevés (**tableau X**).

Tableau X: Sélection du meilleur solvant pour l'étude de l'effet de la température

Paramètres	Variété	Meilleurs solvants
Polyphénols totaux	Taamriout	Acétone 70%
	Azenjelle	Acétone 70%, 50%
Flavonoïdes	Taamriout	Méthanol 30%
	Azenjelle	Méthanol 30%
Tanins	Taamriout	Acétone 70%
	Azenjelle	Acétone 70%
Pouvoir réducteur	Taamriout	Acétone 70%
	Azenjelle	Acétone 70%, 50%, Méthanol 70%, 50%
Activité antiradicalaire	Taamriout	Acétone 50%
	Azenjelle	Acétone 50%
Inhibition du peroxyde d'hydrogène	Taamriout	Acétone 70%
	Azenjelle	Acétone 70%

III.1. Les antioxydants

III.1.1. Les polyphénols totaux

Le chauffage lors de l'extraction pourrait ramollir le tissu végétal et affaiblir les interactions phénols-protéines et phénols-polysaccharides dans la matrice végétale ainsi plus les polyphénols migreraient vers le solvant.

Les teneurs en polyphénols totaux des extraits des deux variétés de figes augmentent significativement ($p < 0,05$) avec l'augmentation de la température de 25°C à 60°C. L'augmentation est non significative ($p < 0,05$) entre 60°C et 80°C. Pour la variété Taamriout, la teneur en polyphenols augmente de 296 (25°C) à 347 mg EAG/100g MS (80°C). Pour la variété Azenjelle, la teneur en composés phénoliques augmente de 349 (25°C) à 424 mg EAG/100g MS (80°C) (**figure 27**).

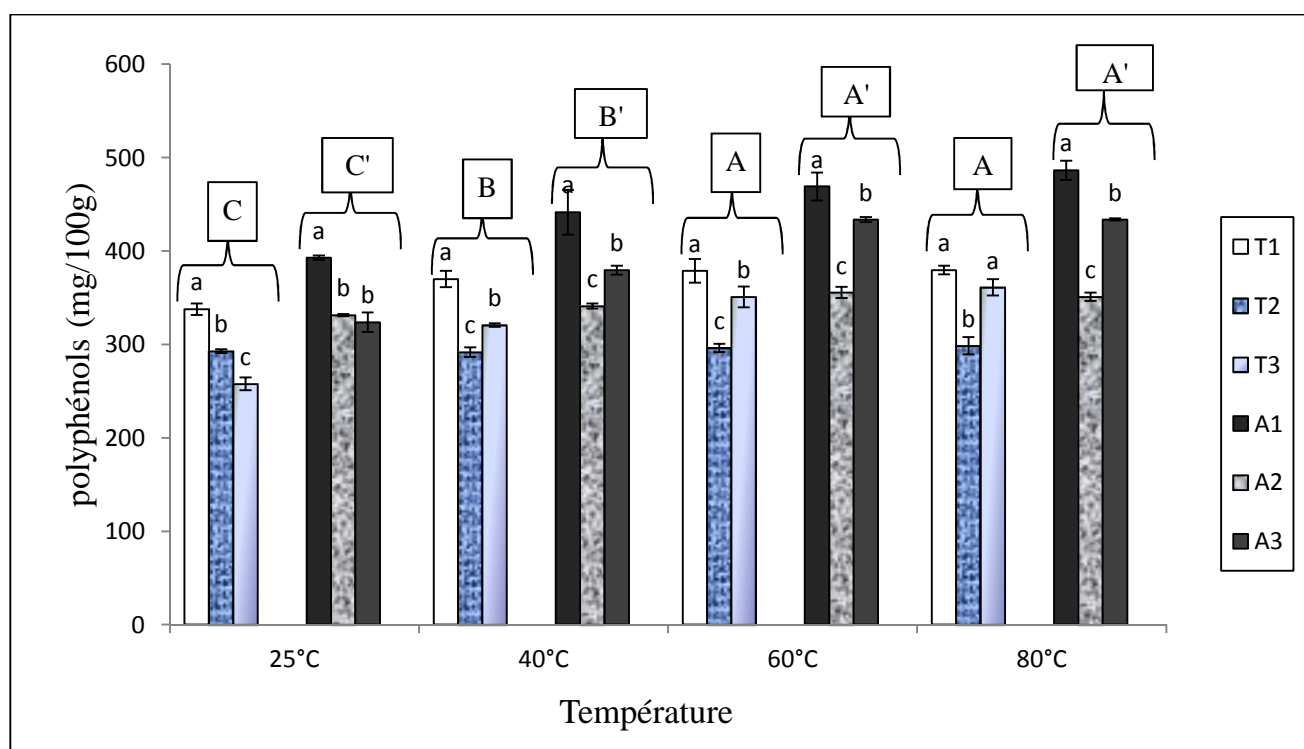


Figure 27: Effet de la température sur les teneurs en polyphénols des extraits de figes

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c$
Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de la température.

L'eau bouillante extrait mieux les composés phénoliques à partir des olives de table lapidées que l'eau à température ambiante (Sousa *et al.*, 2008).

Le taux d'extraction des polyphénols augmente avec la température par la modification du coefficient de diffusion des composés phénoliques et par l'augmentation de leur solubilité dans le solvant. L'augmentation de la température d'extraction pourrait favoriser une libération des polyphénols associés aux parois, ce qui induirait l'apparition de nouveaux groupements hydroxyles.

Shi *et al.* (2003) ont rapporté qu'il faut éviter l'extraction à températures élevées durant une longue durée pour diminuer l'oxydation de l'extrait. Donc les températures élevées augmentent le taux d'extraction des polyphénols, cependant elles peuvent causer leur modification ou leur oxydation d'où l'intérêt de les caractériser avant et après application du chauffage.

III.1.2. Les flavonoïdes et les tanins condensés

Les teneurs en flavonoïdes et en proanthocyanidines des extraits de figes présentent des différences significatives ($p < 0,05$) selon l'échantillon et la température d'extraction (figure 28 et 29).

Les teneurs en flavonoïdes des extraits des deux variétés de figes augmentent significativement ($p < 0,05$) avec l'augmentation de la température de 25°C à 60°C. L'augmentation est non significative ($p < 0,05$) entre 60°C et 80°C. Pour la variété Taamriout, les teneurs en flavonoïdes des extraits de figes varient de 67 (25°C) à 83 mg EQ/100g MS (80°C). Pour la variété Azenjelle, elles varient de 89 (25°C) à 110 mg EQ/100g MS (80°C).

Les teneurs en proanthocyanidines des extraits des deux variétés de figes augmentent significativement ($p < 0,05$) avec l'augmentation de la température de 25°C à 80°C. Les extraits de la variété Taamriout renferment des teneurs en tanins condensés allant de 213 (25°C) à 276 mg EC/100g MS (80°C); les extraits de la variété Azenjelle renferment des teneurs allant de 222 (25°C) à 276 mg EC/100g MS (80°C).

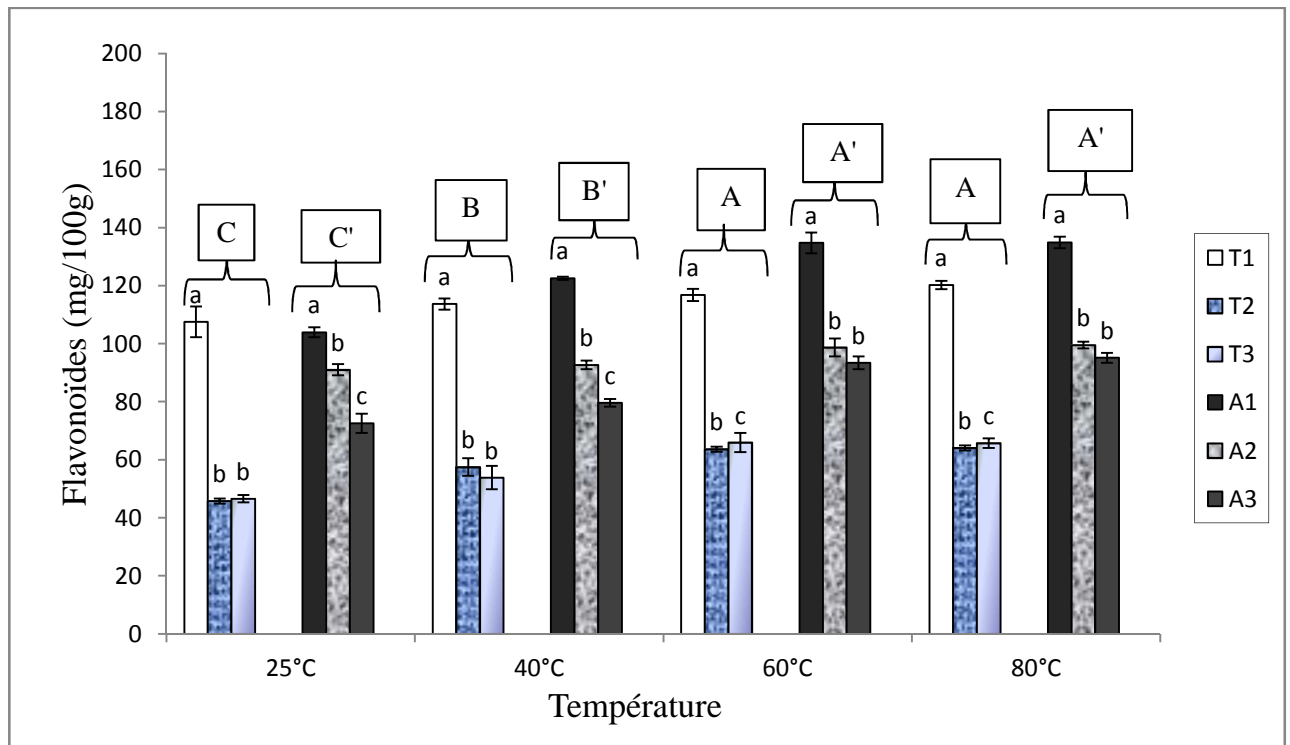


Figure 28: Effet de la température sur les teneurs en flavonoïdes des extraits figues

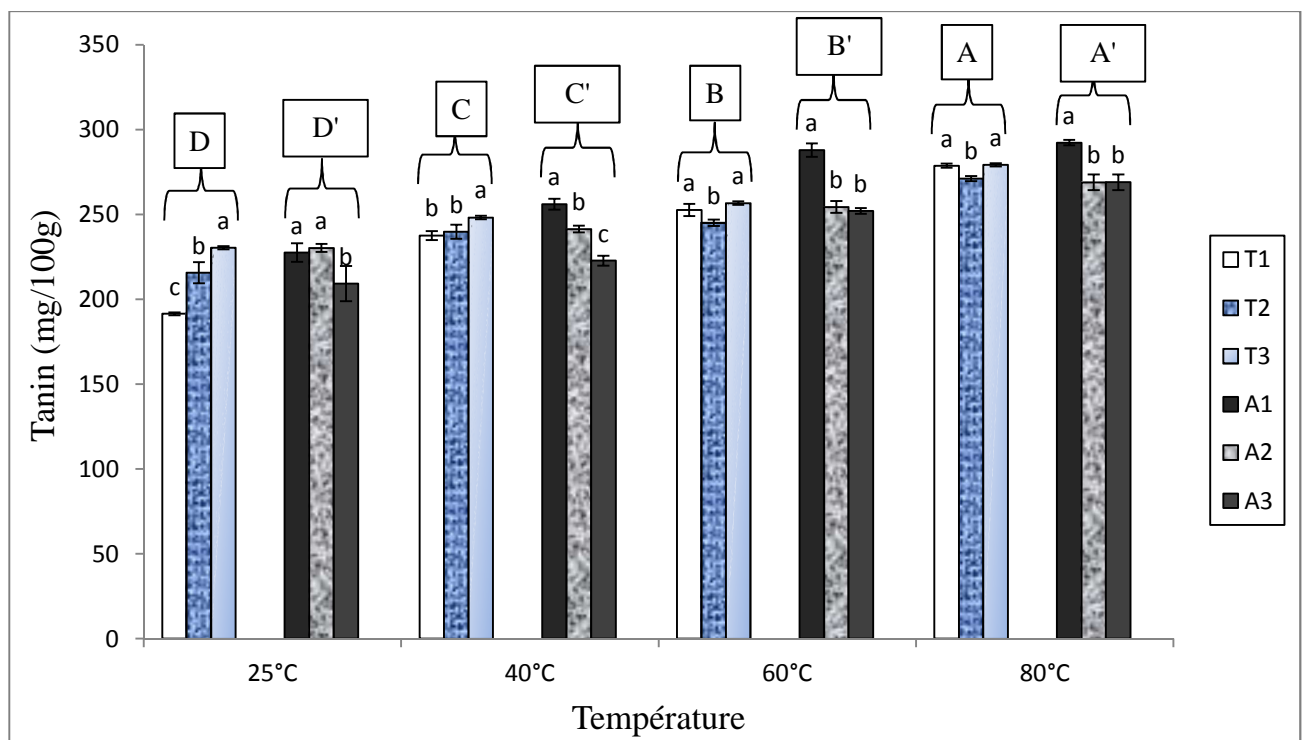


Figure 29: Effet de la température sur les teneurs en proanthocyanidines des extraits de figues

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c > d$.
Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de la température.

III.2. Activité antioxydante

III.2.1. Le pouvoir réducteur et l'activité antiradicalaire

Le pouvoir réducteurs des extraits de figes présentent des différences significatives ($p < 0,05$) à différentes températures. A 80°C , les extraits de figes ont les pouvoirs réducteurs les plus élevés (176 mg EAG/100g MS pour la variété Taamriout et 244 mg EAG/100g MS pour la variété Azenjelle); à 25°C , ces extraits ont les pouvoirs réducteurs les plus faibles (117 mg EAG /100g MS pour la variété Taamriout et de 162 mg EAG /100gMS pour la variété Azenjelle) (**figure 30**).

L'activité antiradicalaire des extraits des deux variétés de figes augmentent significativement ($p < 0,05$) avec l'augmentation de la température de 25°C à 80°C . Pour la variété Taamriout, l'activité des extraits augmente de 50 (25°C) à 65% (80°C) et pour la variété Azenjelle, l'activité des extraits augmente de 66 (25°C) à 78% (80°C) (**figure 31**). Ces résultats sont similaires à ceux de **Sousa et al. (2008)** qui ont rapporté que l'activité antiradicalaire des extraits à l'eau et l'eau bouillante des olives de tables présente une augmentation dans l'activité antiradicalaire de 61 % à 92%.

Les composés bioactifs (composés phénoliques, flavonoïdes, proanthocyanidines, etc.) sont responsables de l'activité antioxydante des extraits et l'augmentation de ces derniers à des températures élevées peut entraîner l'augmentation du pouvoir réducteur et de l'activité antiradicalaire de ces derniers.

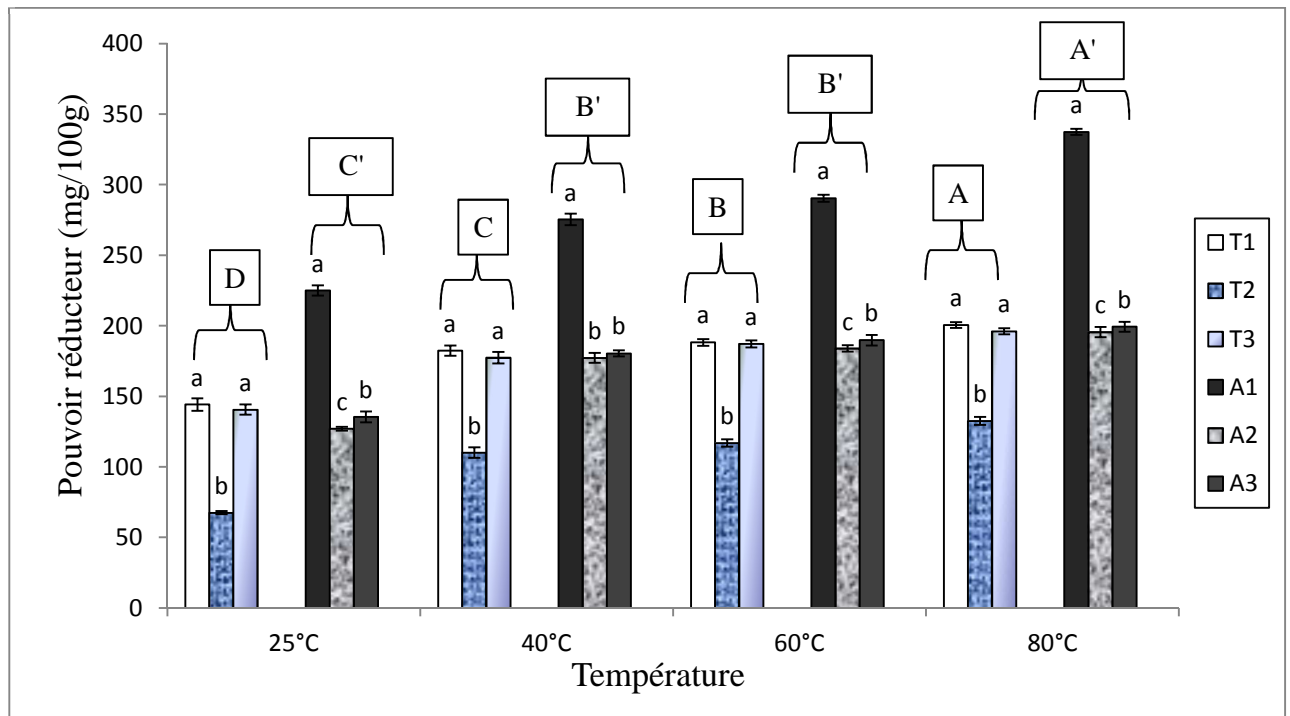


Figure 30: Effet de la température sur le pouvoir réducteur des extraits de figes

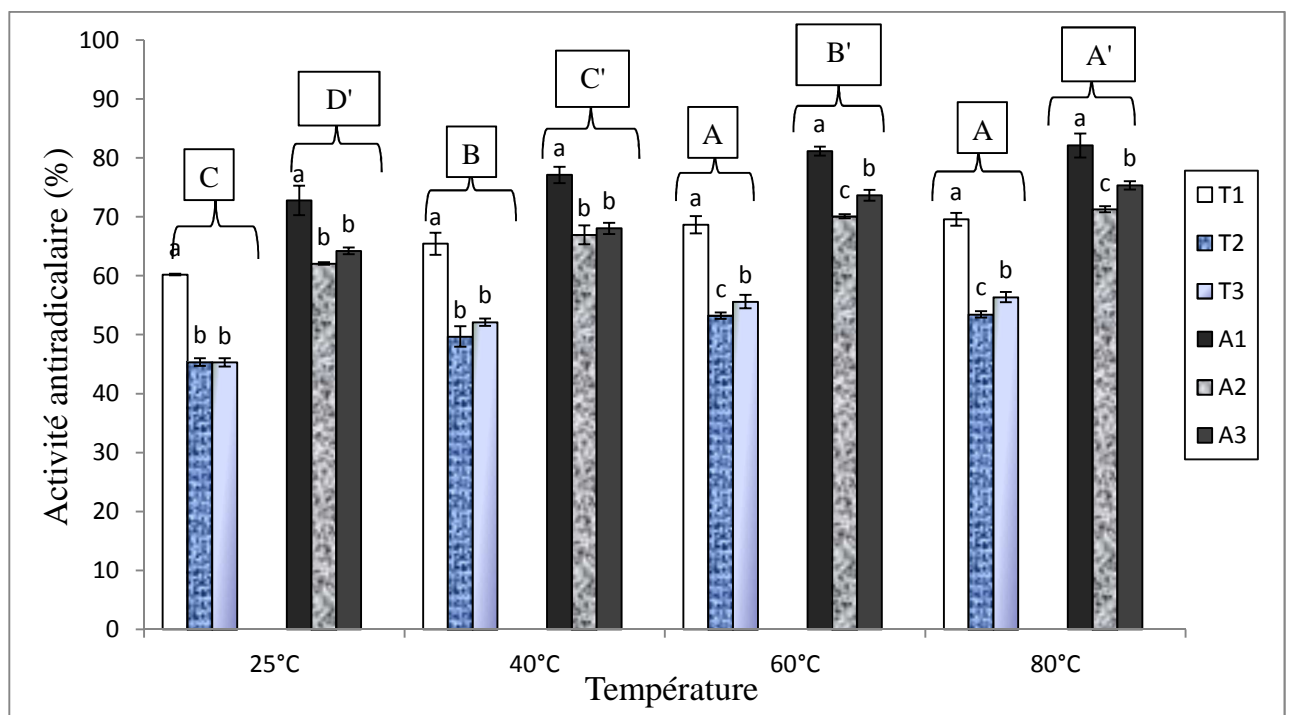


Figure 31: Effet de la température sur l'activité antiradicalaire des extraits de figes

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents : $a > b > c > d$.
Lettres minuscules : effet de l'échantillon, lettres majuscules : effet de la température.

Conclusion

Conclusion

La présente étude a permis le dosage de substances antioxydantes (composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tanins condensés, anthocyanines et caroténoïdes,) ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante de six échantillons de deux variétés de figes sèches (Taamriout et Azenjelle) récoltés dans région Bejaia.

Le type et la concentration du solvant affectent significativement les teneurs en composés phénoliques ainsi que l'activité antioxydante des extraits de figes sèches. L'acétone 70% est le solvant le plus efficace pour l'extraction des tanins condensés à partir des deux variétés et des composés phénoliques totaux de la variété Taamriout. L'acétone 70% et l'acétone 50% présentent la même efficacité pour l'extraction des polyphénols totaux de la variété Azenjelle. Le méthanol 30% est le solvant le plus efficace pour l'extraction des flavonoïdes des deux variétés.

Les meilleures inhibitions du peroxyde d'hydrogène pour les deux variétés et les meilleurs pouvoirs réducteurs de la variété Taamriout sont obtenus avec les extraits acétoniques 70%. Pour la variété Azenjelle, les meilleurs pouvoirs réducteurs sont obtenus avec les extraits acétoniques et méthanoliques 70% et 50%. Concernant le pouvoir anti-radicalaire, les meilleures activités sont enregistrées dans les extraits à l'acétone 50% pour les deux variétés.

Pour tous les paramètres analysés, la fige sèche noire présente les activités les plus élevées, à l'exception de l'inhibition du peroxyde d'hydrogène où la différence entre les deux variétés est non significative ($p < 0,05$).

Des corrélations positives significatives ($p < 0,05$), hautement significatives ($p < 0,01$) et très hautement significatives ($p < 0,001$) sont établies entre l'activité antioxydante et les différentes classes de composés phénoliques des extraits de la variété Azenjelle témoignant ainsi que la teneur en composés phénoliques module l'activité antioxydante.

L'augmentation de la température d'extraction (25°C à 80°C) affecte significativement ($p < 0,05$) les teneurs en antioxydants ainsi que l'activité antioxydante (pouvoir réducteur et activité antiradicalaire) des extraits des deux variétés de figes sèches. Les

teneurs les plus élevées en polyphénols totaux et flavonoïdes sont obtenues à 60°C ; l'augmentation est non significative entre 60°C et 80°C. Cependant, l'application des hautes températures doit être couplée avec un temps d'extraction bien déterminé pour éviter la dégradation de l'extrait d'où l'intérêt de coupler l'étude de l'effet de la température avec l'étude de l'effet du temps d'extraction.

Les résultats de notre étude confirment l'intérêt de la consommation des figes sèches (surtout les variétés noires), qui constituent une excellente source de différents antioxydants ayant un pouvoir élevé de piéger les radicaux libres.

Dans le but de compléter la présente étude, il serait intéressant ;

- D'évaluer l'effet d'autres paramètres (temps d'extraction, pression, etc.) afin d'établir les conditions optimales d'extraction des antioxydants des figes sèches.
- De caractériser les différents antioxydants, d'élucider leur mécanisme d'action et de tester l'activité des extraits *in vivo*.
- D'évaluer la biodisponibilité des composés phénoliques des figes sèches, afin de prévoir leur effet sur la santé.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

Afonso V., Champy R., Mitrovic D., Collin P. & Lomri A. 2007. Radicaux libres derives de l'oxygène et superoxydes dismutases: rôle dans les maladies rhumatismales. *Revue du Rhumatisme* 74, 636-643.

Alothman M., Bhat R. & Karim A.A. 2009. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food Chemistry*, 115: 785-788.

Atmani D., Chaher N., Berboucha M., Ayouni K., Lounis H., Boudaoud H., Debbache N. & Atmani D. 2009. Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chemistry*, 112: 303-309.

B

Balasundram N., Sundram K. & Sammam S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. 99: 191–203.

Bayer E., Buttler K-P., Finkenzeller X., & Grau J. 2005. Guide de la flore méditerranéenne. *Edition Tec et Doc, Lavoisier Paris*. P:12-13.

Beaudeau J-L., Delattre J., Thérond P., Bonnefont-Rousselot D. Legrand A. & Peynet J. 2006. Le stress oxydant, composante physiopathologique de l'athérosclérose. *Immuno-analyse & Biologie spécialisée*, 21: 144-150.

Berger M.M. 2006. Manipulation nutritionnelles du stress oxydant: état des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolique*, 20: 48-53.

Berset C. 2006. Antioxydants phénoliques – structure, propriétés, sources végétales. In : les polyphénols en agroalimentaire. Edition : *TEC&DOC, Lavoisier, paris* : 277

Bishop A. & Anderson J-E. 2005. NO signaling in the CNS: from the physiological to the pathological. *Toxicology*, 208 : 193-205.

Bonnefont-Rousselot D., Peynet J., Beaudeau J-L., Thérond P., Legrand A. & Delattre J. 2002. Stress oxydant, fonctions vasculaires et athérosclérose. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 16: 260-267.

Bonnefont-Rousselot D., Thérond P., Beaudeau J-L., Peynet J., Legrand A. & Delattre J. 2001. Vieillesse et stress oxydant. Quels marqueurs potentiels ?. *Annales de Biologie Clinique*, 59 (4): 453-9.

Bonnefont-Rousselot D., Thérond P. & Delattre J. 2003. Radicaux libres et antioxydants. In: "Delattre J., Durand G., Jardillier J.C. Biochimie pathologique: aspects moléculaires et cellulaires. *Médecine-sciences Flammarion*: 59-64.

Boukhalfa F. 2007. Etude comparative des activités antioxydante et antiradicalaire de deux fruits secs: la datte et la figue. Mémoire de magistère, Université de Béjaia.

Boussard R. & Cuisance. 1986. Arbres et Arbustes d'ornement des régions tempérées et méditerranéennes. *Edition Tec et Doc, Lavoisier Paris.*

Boveris A., Oshino N. & Chance B. 1972. The cellular production of hydrogen peroxide. *Biochemical Journal*, 128: 617-630.

Boyd B., Ford C., Koepke Michael C., Gary K., Horn E., McaAnalley S. & McAnalley B. 2003. Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur les personnes en bonne santé. *Glyoscience et Nutrition*, 4(6): 7.

C

Çalışkan O. & Polat A-A. 2008. Fruits characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 115: 306-367.

Chambre d'agriculture de la wilaya de Bejaia, 2008. Service des statistiques, Consultée le 15.04.2010.

Chavan U.D., Shahidi F. & Nacz M. 2001. Extraction of condensed tannins from beach pea (*lathyrus maritimus* L.) as affected by different solvents. *Food Chemistry*, 75: 59-512. .

Cheeseman K. & Slater H. 1993. An introduction to free radicals biochemistry. *British Medical Bulletin*, 49: 481-493.

Cieślik E., Gręda A. & Adamus W. 2006. Content of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chemistry*, 94: 135-142.

Clement J. 1979. La santé par les plantes. *Edition Baudouin-Paris*. P: 78-79.

Coa G., Sofic E. & Priop R.L. 1997. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships. *Free Radical Biology & Medicine*, 22: 749-760.

Cook J.M. & Rasplus J.Y. 2003. Mutualists with attitude: coevolving fig wasps and figs. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18: 241-248.

Couplan F. 1998. Guide nutritionnel des plantes. *Edition Sophie Daguin.*

D

D'Archivio M., Filesi C., Di Benedetto R., Gargiulo R., Giovannini C. & Masella R. 2007. Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann Ist Super Sanita*, 43 (4): 348-361.

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 Technology*, 266: 715-719.

Derbel S. & Ghedira K. 2005. Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie et Nutrition*, 1: 28-34

Deysson G. 1979. Organisation et classification des plantes (Tome II). *Edition CDU et SEDES réunis* .P: 217-220.

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: 654-660.

Dueñas M., Pérez-Alonso J-J., Santos-Buelga C. & Escribano-Bailo'n T. 2007. Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21 :107-115.

Duranteau J. 2008. Conséquences cliniques du stress oxydant. *Réanimation*, hors série, 3 : 5-6.

É

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 Biochemistry Biophysics*, 430: 37-48.

Elmastas M., Isildak O., Turkekul I. & Temur N. 2007. Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 337-345.

Ƒ

F.A.O. 2009. Food and Agriculture Organisation. Database results. FAO-STAT/<http://faostat.fao.org>. Page consultée le 12.01.2010

Favier A. 2003. Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique* : 108-115.

Fulbert J-C. & Cals M-J. 1992. Les Radicaux libres en biologie clinique. *Pathologie Biologie*, 49(1): 66-77.

Ɠ

Ganjewala D., Boda 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.

Gardès-Albert M., Bonnefont-Rousselot D., Abedinzadeh Z. & Jore D. 2003. Espèces réactives de l'oxygène, Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ?. *Mécanismes Biochimiques*, 91-96.

Gausсен H., Leroy J-F. & Ozenda P. 1982. Précis de botanique (tome II) végétaux supérieurs. *Editio Masson*. P: 156-256.

Ghedira K. 2005. Les flavonoides : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 4 :162 -169.

Gilani A.H., Mehmood M.H., Janbaz K.H. Khan A-u. & Saeed S.A. 2008. Ethnopharmacological studies on antispasmodic and antiplatelet activities of *Ficus carica*. *Journal of Ethnopharmacology*, 119: 1-5.

Girotti-Charnu C. 2006. Etude de la lipolyse et de la synthèse des composés du derme sous l'effet de la cirsimarine, flavone extraite de *Microtea debilis*. Thèse de Doctorat. Institut national des sciences appliquées de Lyon.

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

Grison-Piger L., hossaert-Mckey M., Greeff J-M. & Bessière J-M. 2002. Fig volatile compounds, a first comparative study. *Phytochemistry*, 61: 61-71.

Gueye P-M. 2007. Phénotypes majeurs de l'haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l'hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg 1.

Guignard J-L. 2000. Biochimie végétale. 2^{ème} édition. *Edition Dunod. Paris*.

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.

H

Halliwell B. & Gutteridge J-M-C. 2000. Reactive species as useful biomolecules. In: "Free Radicals in Biology and Medicine". 3rd edition. *Oxford England: Oxford University Press*: 467-481.

Handique J-G. & Baruah J-B. 2002. Polyphenolic compounds an overview. *Reactive & Functional Polymers*, 52: 163-188.

Haslam E. 2007. Vegetable tannins-Lessons of a phytochemical life time. *Phytochemistry*, 68: 2713-2721.

Hollman P-C., Hertog M-G-L. & Katan M-B. 1996. Analyse and health effects of flavonoids. *Food Chemistry*, 57: 43-46.

Hossaert-Mckey M., Gibernau M. & Frey J-E. 1994. Chemosensory attraction of fig wasps to substances produced by receptive figs. *Entomologia. Experimentalis Applicata.*, 70:185-191.

Husmann M., Keller M. & Barton M. 2007. Artériopathies athérosclérotiques et monoxyde d'azote (NO°) : l'importance clinique d'une espérance de vie plus longue et l'obésité. *Forum Medical Suisse*, 7: 1008-1011.

I, J

Irget M.E., Aksoy U., Okur B., Ongun A-R. & Tepecik M. 2008. Effect of calcium based fertilization on dried fig (*Ficus carica* L. cv. Sarilop) yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 118: 308-313.

Jayaprakasha G.K., Girennavar B. & Patil B.S. 2008. Antioxidant capacity of pummel and navel oranges: Extraction efficiency of solvents in sequence. *Food Science and Technology*, 41: 376-384.

K

Kahkõnen M.P., Hopia A.I., Vuorela H.J., Rauha J-P., Pihlaja K., Kujala T.S. & Heinonen M. 1999. Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 3954-3962.

Kankofer M. 2002. Superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities in bovine placenta: spectrophotometric and electrophoretic analysis. *Médecine Vétérinaire*, 153 (2): 121-124.

Khanbabaee K. & Van Ree T.V. 2001. Tannins: Classification and Definition. *The Royal Society of Chemistry*: 641-649.

Kim K-M., Kim M-Y., Yun P-Y., Chandrasekhar T., Lee H-Y. & Song P-S. 2007. *Journal of Plant Biology*, 50(4): 440-446.

Kjellberg F. & Valdeyron G. 1984. The pollination of the fig tree (*Ficus carica* L.) and its control in horticulture. *Acta Œcologica*, 5(4) :407-412.

Kjellberg F., Aljibouri A. & Valdeyron G. 1983. Observations récentes sur la pollinisation du figuier. *Fruits*, 38 (7-8) :567-569.

Klimczak I., Małecka M., Szlachta M. & Gliszczyńska-Świgło. 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 313-322.

Kolesnik A-A., Kakhniashvili T-A., Zherebin Y-L. Golubev V-N. & Pilipenko L-N. 1987. Lipids of the fruit of *Ficus carica*. *Plenum Publishing Corporation*, 547. (915.5): 394-397.

Kong J-M., Chia L-S., Goh N-K., Chia T-F. & Brouillard R. 2003. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64: 923-933

L

Lamien-Meda A., Lamien C.E., Compaoré M.M.Y., Meda R.N.T., Kiendrebeogo M., zeba B., Millogo J.F. & Nacoulma O.G. 2008. Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Fourteen Wild Edible Fruits from Burkina Faso. *Molecules*, 13: 581-594.

Lansky E.P., Paavilainen H.M., Pawlus A.D. & Newman R.A. 2008. *Ficus* spp. (fig): Ethnobotany and potential as anticancer and anti-inflammatory agents. *Journal of Ethnopharmacology*, 119: 195-213.

Lapornik B., Prošek M., et Wondra A.G. 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*, 71: 214–222.

Lattanzio V. 2003. Bioactive polyphenols: their contribution in quality and storability of fruit and vegetables. *Journal of Applied Botany*, 77: 128-146.

Lawler J.M. & Powers S.K. 1998. Oxidative Stress, Antioxidant Status, and the Contracting Diaphragm. *Canadian Journal of Applied Physiology.*, 23 (1): 23-55.

Lee K-W., Kim Y-J., Kim D., Lee H-J. & Lee C-Y. 2003. Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 6516-6520.

Levesque E. 2006. Oligo-éléments et stress oxydant. Alimentation et Santé. *Actualités Imag*: 1-5.

Li B.B., Smith B. & Hossain Md. M. 2006. Extraction of phenolics from citrus peels I. Solvent extraction method. *Separation and Purification Technology*, 48: 182-188.

Li W., Liu H., Luo X., Zhu W., Tang Y., Halpert J.R. & Jiang H. 2007. Possible Pathway(s) of Metyrapone Egress from the active Site of Cytochrome P450: A Molecular Dynamics Simulation. *American Society for pharmacology and Experimental Therapeutics*, 35 (4): 689-696.

M

Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C. & Jiménez L. 2004. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Journal of American Society for Clinical Nutrition*, 79: 727-747.

Manach C., Williamson G., Morand C., Sclabert A. & Rémésy C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 230S-242S

Manian R., Anusuya N., Siddhuraju P. et Manian S. 2008. The antioxidant activity and free radical scavenging potential of two different solvent extracts of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntz, *Ficus Bengalensis* L. and *Ficus racemosa* L. *Food Chemistry*, 107: 1000-1007.

Marfak A. 2003. Radiolyse gamma des flavonoïdes, étude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation des depsides. Thèse de doctorat. Université de Limoges.

Martinez-Cayula M.1995. Oxygen free radicals and human disease. *Biochimie*, 77 (3): 147-161.

Michaloud G., Bossu-Dupriez N., Chevotot M. & Lasbleiz C. 2005. Pollen waste and unrelated traits in a fig-fig wasp symbiosis: a new behaviour suggesting a host shift. *Comptes Rendus Biologies*, 328: 81-87.

Monties B., Catesson A.M. & Roland J.C. 1980. Les polymères végétaux : polymères pariétaux et alimentaires non azotés. Paris, Bordas. 345p.

ℵ

Naczek M., Shahidi F. et Sullivan A. 1992. Recovery of rapeseed tannins by various solvent systems. *Food Chemistry*, 45: 51-54.

Nonaka G-I. 1989. Isolation and structure elucidation of tannins. *Pure & Applied Chemistry* 61(3): 357-360.

Nouette-Gaulain K., Quinart A., Letellier T. & Sztark F. 2007. La mitochondrie : rôles et implications en anesthésie-réanimation. *Annales Française d'Anesthésie et de Réanimation*, 26: 319-333.

Okuda T. 2005. Systematics and health effects of chemically distinct tanning in medicinal plants. *Phytochemistry*, 66: 2012-2031.

O

Oliveira A.P., Valentão P., Pereira J.A., Silva B.M., Tavares F. & Andrade P.B. 2009. *Ficus carica* L.: Metabolic and biological screening. *Food and Chemical Toxicology*, (47): 2841-2846.

Ontoro P., Braca A. & Pizza C. 2005. Structure–antioxidant activity relationships of flavonoids isolated from different plant species. *Food Chemistry*, 92: 349-55.

Owino W-O., Nakano R., Kubo Y. & Inaba A. 2004. Alterations in cell wall polysaccharides during ripening in distinct anatomical tissue regions of the fig (*Ficus carica* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 32: 67-77

ℙ

Pasqual M. & Ferreira. 2007. Micropropagation of fig tree (*Ficus carica* L.). *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*, 409–416.

Peschel W.J., Sanchez-Rabaneda F, Diekmann W, Plescher A, Gartzia I, Jiménez D, Lamuela-Raventós R, Buxaderas S & Codina C. 2006. Industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97: 137-150.

Pincemail J. & Defraigne J-O. 2004. Les antioxydants : Un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène. Symposium « Antioxydants et alimentation ». *Institut Danone*: 1-2.

Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K. & Defraigne O.-J. 2002. Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition Chimique et Métabolisme*, 16: 233-239.

Pincemail J., Degrune F., Voussure S., Malherbe C., Paquot N. & Defraigne J.-O. 2007. Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs de dommages oxydatifs. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 21: 66-75

R

Ratnam D.V., Ankola D.D., Bh ardwaj V., Sahana D.K. & Kumar M.N.V.R. 2006. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, 113:189-207.

Remesy C., Manach C., Demigne C., Texier O. & Regeat F. 1996. Intérêt nutritionnel des flavonoïdes. *Médecine & Nutrition*, (32) 1: 17-27.

Ribereau-Gayon P. 1968. Les composés phénoliques des végétaux. *Edition Dunod*.

Rice-Evans C. 1999. Screening of phenolics and flavonoids for antioxidant activity. *Antioxidant Food Supplements in Human Health*: 239-253.

Rice-Evans C. 2001. Flavonoid antioxidants. *Current Medicinal Chemistry*, 8: 797-807.

Richter G. 1993. Métabolismes des végétaux « physiologie et biochimie ». *Edition: Presse polytechnique et universitaires Romandes*, P: 317- 339.

Rolland Y. 2004. Antioxydants naturels végétaux. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 11(06): 419-424.

S

Salvayre A.-N. & Salvayre R. 2005. Effet protecteur des acides gras contre le stress oxydatif: Implication en physiopathologie vasculaire. *OCL*, 12(5-6): 433-438.

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: 1023-1029.

Schreibelt G., Horssen J.-V., Rossum S.-V., Dijkstra C.-D., Drukarch B. & Vries H.-E. 2007. Therapeutic potential and biological role of endogenous antioxidant enzymes in multiple sclerosis pathology. *Brain Research Reviews*, 56: 322-330.

Sclabert A., Johnson I.-T. & Saltmarsh. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *American Society for Clinical Nutrition*, 81:215S-7S.

Servais S. 2004. Altération mitochondriales et stress oxydant pulmonaire en réponse à l'ozone : Effet de l'âge et d'une supplémentation en Oméga-3. Thèse de Doctorat. Université Claude Bernard- Lyon1.

Shi J., Yu J., Pohorly J., Young C., Bryan M., & Wu Y. 2003. Optimisation of the extraction of polyphenols from grape seed meal by aqueous ethanol solution. *Food Agriculture & Environment*, 1: 42-47.

Simmonds M-S-J. 2003. Flavonoid—insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*, 64: 21-30.

Siriwoharn T., Wrolstad R.E., Finn C.E. & Pereira C.B. 2004. Influence of Cultivar, Maturity, and Sampling on Blackberry (*Rubus L. Hybrids*) Anthocyanins, Polyphenolics, and Antioxidant Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 8021-8030.

Solomon A., golubowicz S., Yablowics Z., Grossman S., Bergman M., Gottlieb H., Altman A., Kerem Z. & Flaishman M-A. 2006. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 7717-7723.

Sousa A., Ferreira I.C.F.R., Barros L., Bento A. & Pereira J.A. 2008. Effect of solvent and extraction temperatures on the antioxidant potential of traditional stoned table olives “alcaparras”. *Food Science and Technology*, 41: 739-745.

Stanciu G., Mihaiesi M. & Lupsor S. 2006. Détermination Quantitative des anthocyanes pour leur utilisation dans l’industrie alimentaire et pharmaceutique. *Scientific study and Research*, VII (4): 1582-540X.

Τ

Tapiero H., Townsend D.M. & Tew K.D. 2004. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 58: 100-111

Tomas-Barberan F-A. & Clifford M-N. 2000. Dietary hydroxyl benzoique derivatives-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1024-1032.

Tupac Otero J. & Ackerman J.D. 2002. Flower Style Length and Seed Production in Two Species of *Ficus* (Moraceae) in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 38(3-4): 249-251.

Ψ

Valizadeh M., Valdeyron G., Kjellberg F. & Ibrahim M. 1987. Flux génique chez le figuier, *Ficus carica*: dispersion par le pollen dans un peuplement dense. *Acta Oecologica / Oecologica Plantarum*, 8 (22), n°2: 143-154.

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: 153-157.

Vermerris W. & Nicholson R. 2006. Phenolic compound chemistry: Families of Phenolic Compound and Means of Classification. *The Netherlands*. P: 267.

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

Vinson J-A., Jang J., Yang J., Dabbagh Y., Liang X., Serry M., Proch J. & Cai S. 1999. Vitamins and especially flavonoids in common beverages are powerful *in vitro* antioxidant which enrich lower density lipoproteins and increase there oxidative resistance after *ex vivo* spiking in human plasma. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47: 2502-2504.

W

Wang J., Wang X.,Jiang S., Lin P., Zhang J., lu Y., Wang Q., Xiong Z., Wu Y., Ren J. & Yang H. 2008. Cytotoxicity of fig fruit latex against human cancer cells. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 1025-1033.

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: 17-26.

Williams W.B., Cuvelier M.E. & Berset C. 1995. Use of free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm-Wiss. Technology*, 28: 25-30.

Woodman O-L., Meeker W-F. & Boujaoude M. 2005. Vasorelaxant and antioxydant activity of flavonols and flavones: structure –activity relationships. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*: 46 (3): 302-309.

Y, Z

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

Young A-J., Lowe G-M. 2001. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. *Archives Biochemistry Biophysics*, 385: 7-20.

Zhang Z., Pang X., Ji Z. et Jizng Y. 2001. Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning. *Food Chemistry*, 75: 217-221.

Zhao H., Dong J., Lu J., Chen J., Li Y. Shan L. 2006. Effect of extraction solvent mixtures on antioxidant activity evaluation and their extraction capacity and selectivity for free phenolic compounds in Barley (*Hordeum vulgare* L) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:7277-7286.

Annexe

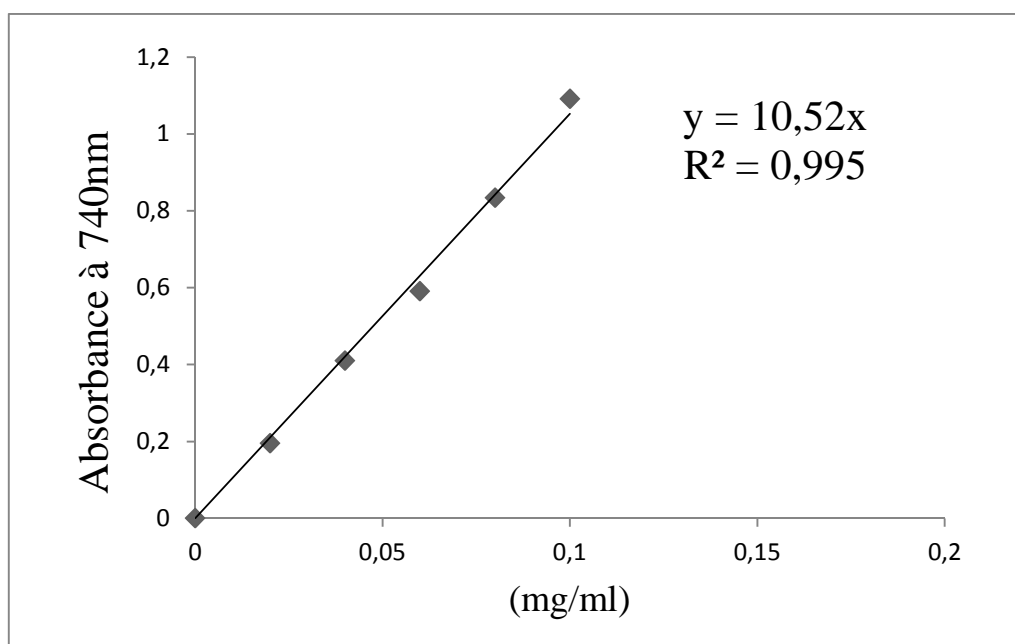


Figure 1: Courbe d'étalonnage des polyphénols

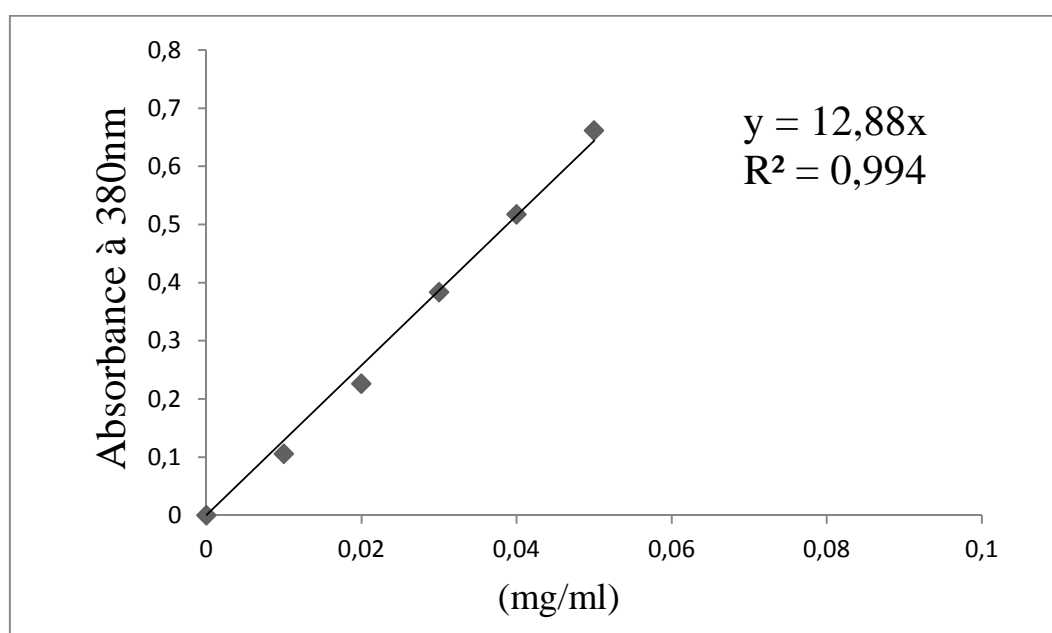


Figure 2: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes

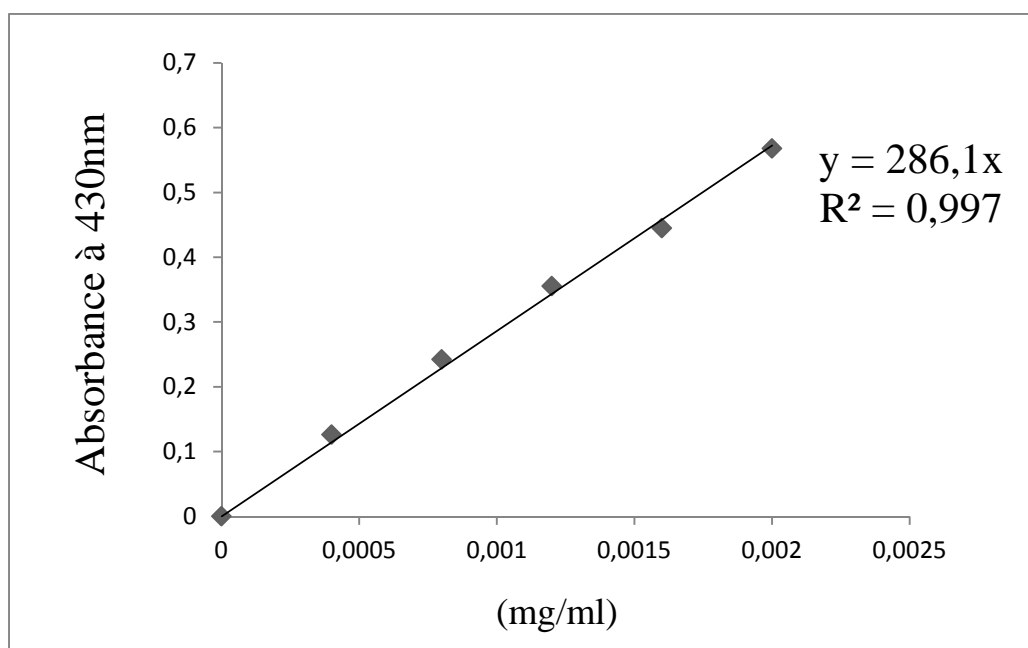


Figure 3: Courbe d'étalonnage des caroténoïdes

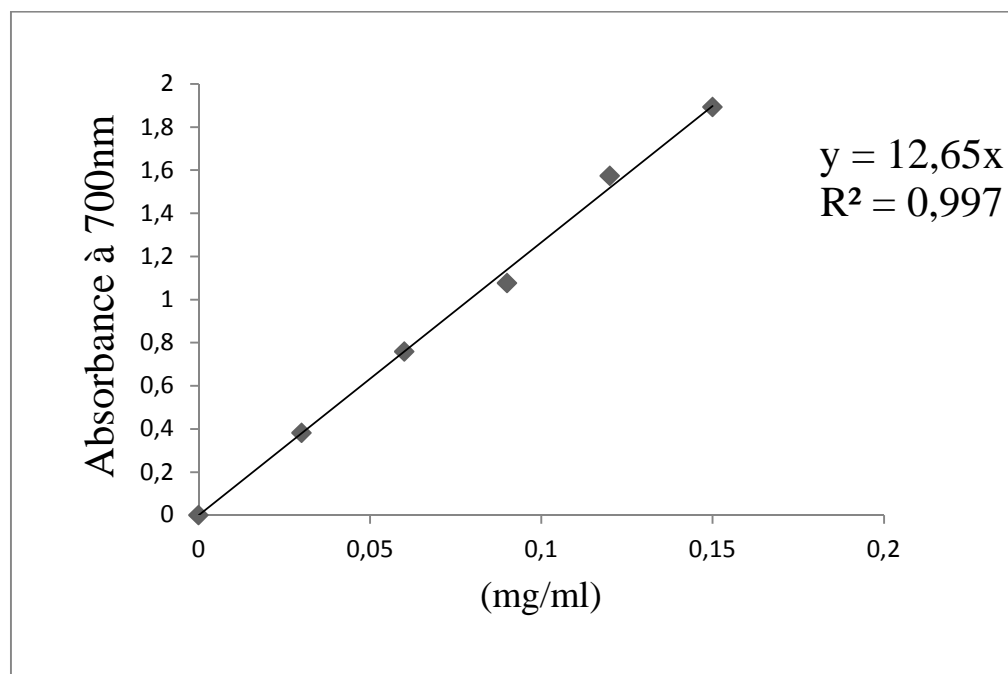


Figure 4: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur

Résumé

Le but de la présente étude est d'évaluer les conditions d'extraction optimales (solvants et température) pour l'activité antioxydante de six échantillons de deux variétés de figes sèches (Taamriout et Azenjelle), les différents extraits sont testés pour leur teneur en composés phénoliques ainsi que leur activité antioxydante (pouvoir réducteur, activité antiradicalaire et inhibition du peroxyde d'hydrogène). L'acétone 70% est le solvant le plus efficace pour l'extraction des composés phénolique et l'activité antioxydante des deux variétés étudiées, sauf pour l'activité antiradicalaire où l'acétone 50% est plus efficace. L'augmentation de la température favorise l'augmentation du taux des polyphénols extraits et l'activité antioxydante. Pour ces deux conditions d'extraction, la teneur en composés phénolique augmente de 200 (méthanol 50%; 25°C) à 347 mg équivalent d'acide gallique/100g de matière sèche (acétone 70%; 80°C) pour la variété Taamriout, et de 266 (éthanol 30%; 25°C) à 424 mg équivalent d'acide gallique/100g de matière sèche (acétone 70% ; 80°C), pour la variété Azenjelle. Pour la plupart des paramètres étudiés la variété Azenjelle (figes sèches noires) est meilleure que la variété Taamriout (figes sèches blanches) par conséquent ce fruit sec peut être considéré comme une excellente source d'antioxydants naturels

Mots clés : , figes, Taamriout, Azenjelle, activité antioxydante, solvant, température.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the optimal extraction conditions (solvent and temperature) for the antioxidant capacity of six samples of two varieties of dry figs (Taamriout and Azenjelle). The various extracts were tested for their total phenol content and antioxidant capacity (reducing power, radical scavenging activities against stable DPPH and hydrogen peroxide). Acetone 70% is the most efficient solvent for the extraction of total phenolic compounds and antioxidant activity of the two varieties except for the scavenging activity against the radical DPPH were acetone 50% is more efficient. The increase of temperature increases the level of total phenolic compounds extracted and antioxidant activity. For this two extraction conditions, the total phenolic compounds increases from 200 (methanol 50%; 25°C) to 347 mg gallic acid equivalent/100g dry matter (acetone 70% ; 80°C) for Taamriout variety, and from 266 (ethanol 30%, 25°C) to 424 mg gallic acid equivalent/100g dry matter (acetone 70% ; 80°C) for Azenjelle variety. For the most tested parameters, dark variety is better than white variety as well as this dry fruit can serve as an excellent dietary source of natural antioxidants

Key words: figs, Taamriout, Azenjelle, antioxidant activity, solvent, temperature.

الخلاصة:

الغرض من هذه الدراسة هو تقييم الشروط الملائمة (مذيبات و درجة حرارة الاستخلاص) على تقدير نشاط مضادات الأكسدة لست عينات من نوعين من التين الجاف (تاعمريوث و أزنجال). تم اختبار محتوى مركبات الفينول و نشاط مضادات الأكسدة (قدرة الإرجاع و مكافحة الجذور الحرة DPPH و H_2O_2) في مختلف المستخلصات المتحصل عليها. تبين النتائج أن الأستون 70% هو الأكثر فعالية لاستخراج مجموع مركبات الفينول ونشاط مضادات الأكسدة باستثناء اختبار كبح جذر الـ DPPH حيث الأستون 50% هو الأكثر فعالية. ارتفاع درجة حرارة الاستخلاص يدعم ارتفاع نسبة مجموع مركبات الفينول المستخلصة ونشاط مضادات الأكسدة. لهذين الشرطين (المذيب و حرارة الاستخلاص): نسبة مجموع مركبات الفينول ترتفع من 200 (ميثانول 50%، 25°م) إلى 347 ملغ تعادل حمض القاليك/100 غ من المادة الجافة (أستون 70%، 80°م) بالنسبة للنوع تاعمريوث. ومن 266 (إيثانول 30%، 25°م) إلى 424 ملغ تعادل حمض القاليك/100 غ من المادة الجافة (أستون 70%، 80°م) بالنسبة للنوع أزنجال. بالنسبة لأغلب المقاييس المدروسة، النوع أزنجال (التين الجاف الأسود) أفضل من النوع تاعمريوث (التين الجاف الأبيض) و بالتالي فإن هذه الفاكهة يمكن اعتبارها مصدرا ممتازا لمضادات الأكسدة الطبيعية.

الكلمات المفتاح: التين، تاعمريوث، أزنجال، نشاط مضادات الأكسدة، مذيبات الاستخلاص، حرارة الاستخلاص.