

Université Abdelhamid
Ibn Badis-Mostaganem

Faculté des Sciences de
la Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس

مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département de biologie

Mémoire de fin d'études

Présenté par

AMMOUR Amira

et

ZAAF Souhila

Pour l'obtention de diplôme de

Master en Biologie

Spécialité: Pharmaco-Toxicologie

Thème

**Composition phytochimique et activité antioxydante des différents
extraits de *Rhus pentaphylla* Desf.**

Soutenue publiquement le:

Devant le Jury

Président : Hadria GRAR.

Grade:MCB

Univ. de Mostaganem

Examinatrice : Salima DOUICHENE

Grade:MCB

Univ. de Mostaganem

Promoteur : Wahiba RACHED

Grade:MCB

Univ. de Mostaganem

Thème réalisé au laboratoire de Pharmacognosie et Api Phytothérapie

Année universitaire : 2019-2020

REMERCIEMENTS

On tient à exprimer toute notre reconnaissance à Madame Wahiba RACHED.
On la remercie de nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillés. Vous êtes et vous serez pour nous l'exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de Pharmacognosie et Api
Phytothérapie.

On tient à les remercier Pr. Nouredine DJEBLI, le directeur du laboratoire, pour leur soutien et leur contribution dans la bonne démarche de notre stage mais aussi pour la réalisation de ce mémoire.

On tient à remercier les membres du jury qui ont fait l'honneur de bien vouloir étudier notre travail, ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront.

On adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé notre réflexions et ont accepté à nos rencontrer et répondre à nos questions durant notre recherches.

On remercie nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts ».

À tous ces intervenants, on présente nos remerciements, nos respects et notre gratitude.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À Mes parents, à ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. À Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

À Mon frère et ma sœur qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

À mes chers petits neveux Youcef et Zineb, aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, votre joie et votre gaieté me comble de bonheur.

À mes chères amies Souhila et Soumia, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs sur qui je peux compter.

À Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Amira

Dédicace

Je Dédie ce travail :

À mon très cher papa qui a été et sera toujours un exemple pour moi par ses qualités humaines son honnêteté et sa responsabilité. Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

À ma chère mère, celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse et de sacrifices «Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fière»

À mes chers frère et sœurs, Mohamed, Fatima et Youssra, pour toute l'affection qu'ils m'ont donné et pour leurs encouragements.

À ma Très chère grand-mère, Qui ma accompagné par ses prières, sa douceur, je vous dédie ce mémoire en témoignage de gratitude d'estime et d'attachement. Puisse dieu vous accorder santé, longue vie et prospérité.

À mes chères et adorables tantes, et une dédicace spéciale à ma chère Linda, tu es comme une grande sœur pour moi, je te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.

À mes très chères amies Amira et Soumia, en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble, je ne vous remercierai jamais assez d'être là pour moi.

Souhila

Résumé

Les plantes font l'objet de beaucoup d'études scientifiques qui ne cessent d'augmenter grâce à leurs principes actifs très variés. Ces études ont abouti à des résultats phénoménaux et ont permis la découverte des milliers de substances qui sont devenues indispensables à notre vie. Le nord-ouest Algérien possède une flore riche et diversifiée où beaucoup de plantes ne sont pas encore valorisées. L'étude qui fait l'objet du présent mémoire rentre dans le cadre de la valorisation d'une plante algérienne pour la recherche de molécules bioactives nouvelles d'origine végétale. Nous nous sommes donc intéressés à l'investigation phytochimique et l'évaluation des activités antioxydantes de quelques extraits d'une plante de la région d'Oran : *Rhus pentaphylla* Desf.

Ce travail est une contribution à l'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles de *R. pentaphylla* in vitro en utilisant deux méthodes à savoir : le piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) et le test de pouvoir réducteur (FRAP). Les extraits ont montré un pouvoir antioxydant par le test de DPPH avec des IC_{50} variant entre 11.40 ± 0.10 mg/mL pour la décoction, et 13.707 ± 0.67 mg/mL pour l'infusion. Concernant le test de FRAP, les valeurs d' IC_{50} est de $13,309 \pm 0,08$ mg/ml pour l'infusion et $11,019 \pm 0,1$ mg/ml pour la décoction des feuilles de *R. pentaphylla*. Les résultats ont montré que nos extraits ayant une activité antioxydante significative en piégeant les radicaux libres en comparaison avec les standards.

Ainsi, une étude phytochimique représentée par la quantification des teneurs en polyphénols et en flavonoïdes de ces extraits a été exécutée. Les résultats ont montré la présence des polyphénols avec une quantité de $88,55 \pm 5$ mg/ml pour l'infusion et $94,92 \pm 7$ mg/ml pour la décoction. Ainsi une forte concentration en flavonoïdes a été observée avec une teneur de $30,9 \pm 0,8$ mg/ml pour l'infusion et $35,55 \pm 0,72$ mg/ml pour la décoction. La forte activité antioxydante des extraits étudiés s'est avérée vigoureusement corrélée avec leur haute niveau en polyphénols et en flavonoïdes. Notre étude a montré que la plante médicinale *R. pentaphylla* est très riche en composés phénoliques présente une bonne activité antioxydante qui pourrait être utilisée dans le domaine pharmaceutique comme une source potentielle des molécules bioactives.

Mots clés : *Rhus pentaphylla*, activité antioxydante, extrait aqueux, DPPH, FRAP, polyphénols, flavonoïdes

Abstract

Plants are the subject of many scientific studies which are constantly increasing due to their very varied active ingredients. These studies have led to phenomenal results and have led to the discovery of thousands of substances that have become indispensable to our lives. The north west of Algeria has a rich and diversified flora where many plants are not yet valued. The current study which is the subject of this thesis is part of the valorisation of an Algerian plant for the research of new bioactive molecules of plant origin. Therefore, we are interested in the phytochemical investigation and evaluation of the antioxidant activities of some extracts of a plant from the region of Oran : *Rhus pentaphylla* Desf.

This work is a contribution to the evaluation of the antioxidant activity of the aqueous extracts of the leaves of *R. pentaphylla* in vitro using two methods: the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH) and the reducing power test (FRAP). The extracts showed antioxidant power in the DPPH test with IC₅₀ values ranging from 11.40 ± 0.10 mg/mL for the decoction, to 13.707 ± 0.67 mg/mL for the infusion, while in the FRAP test, the IC₅₀ values were 13.309 ± 0.08 mg/mL for the infusion and 11.019 ± 0.1 mg/mL for the decoction of *R. pentaphylla* leaves. The results showed that our extracts have a significant antioxidant activity by scavenging free radicals in comparison with standard extracts.

Thus, a phytochemical study represented by the quantification of polyphenols and flavonoids contents of these extracts was studied. The results showed the presence of polyphenols with quantity of 88.55 ± 5mg/mL for the infusion and 94.92 ± 7mg/mL for the decoction. Thus a high concentration of flavonoids was observed with a content of 30.9 ± 0.8 mg/mL for the infusion and 35.55 ± 0.72 mg/mL for the decoction. The high antioxidant activity of the extracts studied was strongly correlated with their high levels of polyphenols and flavonoids. Our study showed that the medicinal plant *Rhus pentaphylla* is very rich in phenolic compounds and has a good antioxidant activity that could be used in the pharmaceutical field as a potential source of bioactive molecules.

Keywords: *Rhus pentaphylla*, antioxidant activity, aqueous extract, DPPH, FRAP, polyphenols, flavonoids.

ملخص

بفضل مكوناتها النشطة المتنوعة، فإن النباتات هي موضوع العديد من الدراسات العلمية التي تستمر في الزيادة. أسفرت هذه الدراسات عن نتائج هائلة وأدت إلى اكتشاف الآلاف من المواد التي أصبحت لا غنى عنها لحياتنا. شمال غرب الجزائر يحتوي على نباتات غنية و متنوعة حيث العديد من النباتات لم تقدر بعد. موضوع هذه المذكرة يدخل في إطار تقييم نبتة جزائرية للبحث عن جزيئات حيوية جديدة ذات أصل نباتي.

لذلك نحن مهتمون بالتحليل الكيميائي النباتي و تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة لبعض مستخلصات نبات *Rhus pentaphylla* من منطقة وهران.

هذا العمل هو مساهمة في تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلص المائي لأوراق *Rhus pentaphylla* في المختبر باستخدام طريقتين : محاصرة الراديكالية DPPH و اختبار القوة الاختزالية FRAP . أظهرت المستخلصات قوة مقاومة الأكسدة عبر اختبار DPPH بقيم IC_{50} تتراوح بين 11.40 ± 0.10 ملغ/مل للاستخلاص و 13.707 ± 0.67 ملغ/مل للتسريب . بالنسبة لاختبار FRAP فإن قيم IC_{50} كانت $13,309 \pm 0,08$ ملغ/مل للتسريب و $11,019 \pm 0,1$ ملغ/مل للاستخلاص أوراق *R. pentaphylla* . أظهرت النتائج أن مستخلصاتنا لها نشاط كبير مضاد للأكسدة عن طريق محاصرة الجذور الحرة بالمقارنة مع المعايير.

و كذلك، أجريت دراسة كيميائية نباتية ممثلة بالقياس الكمي لمحتوى البوليفينول و الفلافونويد لهذه المستخلصات. أظهرت النتائج وجود البوليفينول بكمية $5 \pm 88,55$ ملغ/مل للتسريب و $7 \pm 94,92$ ملغ/مل للاستخلاص ، وكذلك لوحظ تركيز مرتفع من الفلافونويد $0,8 \pm 30,9$ ملغ/مل للتسريب و $0,72 \pm 35,55$ ملغ/مل للاستخلاص. النشاط العالي المضاد للأكسدة للمستخلصات المدروسة يرتبط ارتباطا قويا بمستويات البوليفينول و الفلافونويد. في الختام ، أظهرت دراستنا أن النباتات الطبية *Rhus pentaphylla* غنية جدا بالمركبات الأيضية المختلفة ، كما أن لها نشاط جيد مضاد للأكسدة يمكن استخدامه في المجال الصيدلاني كمصدر محتمل للجزيئات النشطة بيولوجيا.

الكلمات المفتاحية : مستخلص مائي ، *Rhus pentaphylla* ، نشاط مضاد للأكسدة ، DPPH ، FRAP ،

بوليفينول ، فلافونويد.

Liste des abréviations

%	:	Pourcentage
µg	:	Microgramme
DPPH	:	2.2.diphenyl-1-picrylhydrazyl
FRAP	:	ferric reducing-antioxidant power assay
GPx	:	Glutathion peroxydase
IC50	:	concentration inhibitrice de 50
O₂⁻	:	Anion superoxyde
OH[•]	:	Radical hydroxyle
RNS	:	Reactive Nitrogen Species
RO[•]	:	Radical alkoxyde
ROO[•]	:	Radical peroxyde
ROOH	:	Peroxyde organique
ROS	:	Reactive Oxygen Species
SOD	:	Superoxyde dismutase

Liste des figures

Figure 01. Mécanisme physiologique de la défense antioxydante (Elsevier, 2002)	7
Figure 02. Structure de quelques carotenoides; a: alpha-carotène, b: beta-carotène, c: lutéine, d: lycopène, e: zéaxanthine (Merhane, 2017)	12
Figure 03. Photo de <i>Rhus pentaphylla</i> (https:// :www.teline.fr/)	19
Figure 04. Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage de polyphénols totaux (TPT)	22
Figure 05. Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux	23

Liste des tableaux

Tableau 01: Principaux radicaux libres (Eddhima, 2019)	4
Tableau 02: Origine des espèces réactives de l'oxygène (Migdal et seeeq, 2011)	5
Tableau 03: Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions	7
Tableau 04: Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions	8
Tableau 05: Propriétés de quelques vitamines antioxydantes	10
Tableau 06: Principales classes des composés phénoliques et leurs structures	12
Tableau 07: Quelques oligoéléments antioxydants et leurs mécanisme d'action	13
Tableau 08: Rendement des extraits aqueux	26
Tableau 09: Activité antioxydante et teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux des extraits aqueux des feuilles de <i>R.pentaphylla</i>	31

Table des matières

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Espèces réactives3

I.1.1. Définition.....3

I.1.2. Les différents types des espèces réactives.....3

I.1.3. Origine de production d'espèces réactives de l'oxygène.....4

I.2. Stress oxydant.....5

I.3. Défenses antioxydantes.....6

I.3.1. Définition.....6

I.3.2. Classification des antioxydants et mécanismes d'action.....6

I.3.2.1. Systèmes de défense enzymatiques.....7

I.3.2.2. Systèmes de défense non enzymatiques.....8

I.3.2.2.1. Systèmes antioxydants non enzymatiques endogènes.....8

I.3.2.2.1. Systèmes antioxydants non enzymatiques exogènes.....9

I.4. Méthodes d'évaluation de la présence d'antioxydants dans les plantes...?.....14

II. Présentation de l'espèce.....16

II.1. Description botanique de la famille des Anacardiaceae.....16

II.2. Genre *Rhus*.....16

II.2.1. Description botanique et habitat du genre *Rhus*.....16

II.2.2. Composition chimique du genre *Rhus*.....16

II.2.3. Utilisations traditionnelles et propriétés pharmaceutiques.....17

II.3. Présentation de l'espèce *Rhus pentaphylla* (Jacq.) Desf.....17

II.3.1. Classification systématique.....17

II.3.2. Noms vernaculaires et synonymes (Quezel et Santa, 1962).....18

Table des matières

II.3.3. Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat.....	18
II.3.4. Propriétés biologiques et utilisation traditionnelle.....	19
II.3.5. Composition chimique.....	19
PARTIE EXPERIMENTALE.	
I.1. Préparation du matériel végétal	20
I.2. Extraction et préparation des extraits.....	20
I.2.1. Décoction.....	20
I.2.2. Infusion.....	20
I.2.3. Évaluation du rendement d'extraction.....	21
II. Dosage colorimétrique des composés phénoliques.....	21
II.1. Dosage des polyphénols totaux (PT).....	21
II.1.1. Principe.....	21
II.1.2. Mise en œuvre du dosage.....	21
II.2. Dosage des flavonoïdes totaux (FT).....	22
II.2.1. Principe.....	22
II.2.2. Mise en œuvre du dosage.....	22
III. Évaluation de l'activité antioxydante.....	23
III.1. Pouvoir Scavenger du Radical DPPH.....	23
III.2. Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP).....	24
IV. Étude statistique.....	24
RESULTATS ET DISCUSSION.	
I. Extraction et caractérisation phytochimique.....	26
I.1. Rendements d'extraction.....	26
I.2. Dosage colorimétrique des composés phénoliques.....	26
I.2.1. Dosage des polyphénols totaux (PT).....	27
I.2.2. Dosage des flavonoïdes.....	27
II. Évaluation de l'activité antioxydante.....	28
II.1. Pouvoir Scavenger du Radical DPPH.....	28
II.2. Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP)	29

Table des matières

Conclusion et perspectives.....	31
Références bibliographiques.....	32

Introduction

Introduction générale

Depuis notre existence, l'homme a vite connu l'utilité et l'intérêt des plantes. En effet, la biodiversité représente une ressource naturelle essentielle à la production alimentaire, à la production de médicaments, à l'industrie et à la recherche scientifique (**Lautre, 2019**). Les effets bénéfiques des plantes médicinales sont associés à la présence de métabolites secondaires qui sont considérés comme des principaux éléments bioactifs de la médecine traditionnelle (**Ota et al., 2017**), et notamment les composés phénoliques, les terpénoïdes et les alcaloïdes, entre autres (**Yanqun, 2020**).

Par conséquent, leur importance pour la santé humaine est liée à leurs activités antioxydantes, à l'élimination des radicaux libres et à la prévention d'une grande variété de maladies chroniques et neurodégénératives (**Losada-Barreiro et al., 2017; Ali et al., 2020**). Le stress oxydatif est défini comme une perturbation de l'équilibre pro-oxydant/antioxydant. Il est nocif pour les cellules en raison de la production excessive d'oxygène hautement réactif (ERO) et d'azote (ERN) (**Daenen et al., 2019**). Une faible concentration de ERO est essentielle pour la signalisation cellulaire normale, alors que la concentration plus élevée et l'exposition à long terme de ERO en causant des dommages aux macromolécules cellulaires telles que l'ADN, les lipides et les protéines (**Singh et al., 2019**). L'activité antioxydante d'un composé correspond sa capacité à résister l'oxydation (**Xiang, 2019**). En effet, la plupart des antioxydants de synthèse ou d'origine naturelle possèdent des groupes hydroxyphénoliques dans leurs structures et les propriétés antioxydantes sont attribuées en partie, à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH^\bullet) et superoxydes (O_2^\bullet) (**Bartosz et al., 2003**).

L'Algérie possède une flore riche et diversifiée où beaucoup de plantes ne sont pas encore valorisées. L'étude qui fait l'objet du présent mémoire rentre dans le cadre d'évaluer l'activité antioxydante d'une plante algérienne et la recherche de nouvelles molécules bioactives d'origine végétale.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'évaluation in vitro de l'effet antioxydant des extraits de plante *Rhus pentaphylla* (Le sumac), connu depuis l'antiquité pour ses vertus thérapeutiques et nutritives testés par deux tests (DPPH et FRAP), et à l'investigation phytochimique spectrophotométriquement des composés phénoliques.

Dans ce contexte s'inscrit cette étude qui vise les objectifs suivants :

Introduction générale

-La première partie est la partie bibliographique, qui y a introduit tout ce qui concerne la plante et l'activité antioxydante tel que la description botanique de la plante, la composition chimique, leurs utilisations en médecine traditionnelle ainsi que leurs propriétés thérapeutiques. Puis, les oxydants suivie par des définitions sur les antioxydants, leurs classification et mécanismes d'action ainsi qu'une citation de méthodes utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante.

-La deuxième partie est la partie expérimentale montrant l'extraction de plante, par deux méthodes, la préparation des extraits aqueux, ensuite, une détermination de l'activité antioxydante testée in vitro suivie par un dosage colorimétrique des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux.

-La troisième partie de notre mémoire concentre sur l'ensemble des résultats et la discussion et on finit ce travail avec une conclusion générale et perspectives.

Partie
Bibliographique

I.1. Espèces réactives

I.1.1. Définition

Les espèces réactives (ER) ont longtemps été considérées comme des sous-produits du métabolisme normal de l'oxygène et impliquées dans de nombreuses pathologies (**Lushchak, 2014**). Cependant, la production contrôlée de radicaux apparaît comme un mécanisme essentiel de la signalisation cellulaire qui participe au maintien de l'homéostasie de la cellule (**Migdal et Serres, 2011; Mydin et Okekpa, 2018**). Après la découverte des radicaux libres dans les systèmes biologiques, il y a un peu plus de 55 ans, Harman (1956) évoquent pour la première fois une hypothèse selon laquelle l'accumulation des dommages moléculaires et cellulaires affectée par les radicaux libres est principalement due par l'oxygène et qui serait responsable des phénomènes du vieillissement (**Liguori et al., 2018**).

Ces radicaux sont par définition sont des espèces chimiques possédant un électron célibataire sur leur couche périphérique, ce qui leur confère un fort degré de réactivité (**Joris, 2018**). Ils ont été longtemps considérés comme nuisibles, responsables de potentiels dommages à l'ADN, aux protéines et aux lipides (**Eddhima, 2019**). Cependant, la description de la production d'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) par les cellules phagocytaires dans la lutte contre les pathogènes, celle du rôle biologique du monoxyde d'azote (NO) ainsi que la découverte des enzymes productrices qui soulignent également un rôle physiologique du stress oxydant (**Schumacker, 2015**).

L'oxygène moléculaire est un élément crucial pour la vie des organismes vivants, en condition physiologique. Toutefois, il peut former des espèces partiellement réduites et fortement toxiques appelées les radicaux libres ou encore les espèces oxygénées réactives (ERO) (ou ROS, pour reactive oxygen species) et les espèces réactives de l'azote (ERN) (**Manallah, 2012; Weidinger et Kozlov, 2015**).

I.1.2. Différents types des espèces réactives

Les espèces réactives de l'oxygène sont une famille d'entités chimiques regroupant les dérivés non radicalaires (ne possédant pas d'électron célibataire) dont la toxicité est importante comme l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le peroxyde d'azote ($ONOO^{\cdot-}$) et les radicaux libres oxygénés (espèces chimiques possédant un électron célibataire non apparié), comme l'oxygène singulet (1O_2), le nitroperoxyde ($ONOOH$), le radical hydroxyle (OH^{\cdot}) et le monoxyde d'azote (NO) (**Tableau 01**)(**Eddhima, 2019**). On peut distinguer des radicaux primaires, qui ont un rôle physiologique particulier et des

radicaux secondaires, issus de la réaction des radicaux primaires avec des entités biochimiques cellulaires (lipides, protéines, glucides...) (Therond, 2006; Eddhima, 2019).

Tableau 01. Principaux radicaux libres (Eddhima, 2019)

Espèces	Symboles	Espèces	Symboles
Anion superoxyde	$O_2^{\cdot-}$	Hypochlorite	$^{\cdot-}OCl$
Monoxyde d'azote	NO^{\cdot}	Oxygène singulet	1O_2
Radical alkoxyde	RO^{\cdot}	Peroxyde d'hydrogène	H_2O_2
Radical hydroxyle	OH^{\cdot}	Peroxyde organique	$ROOH$
Radical peroxyde	ROO^{\cdot}	Peroxynitrite	$ONOO^{\cdot-}$
Oxyde nitrique	NO	Ozone	O_3
Dioxyde nitrique	NO_2		

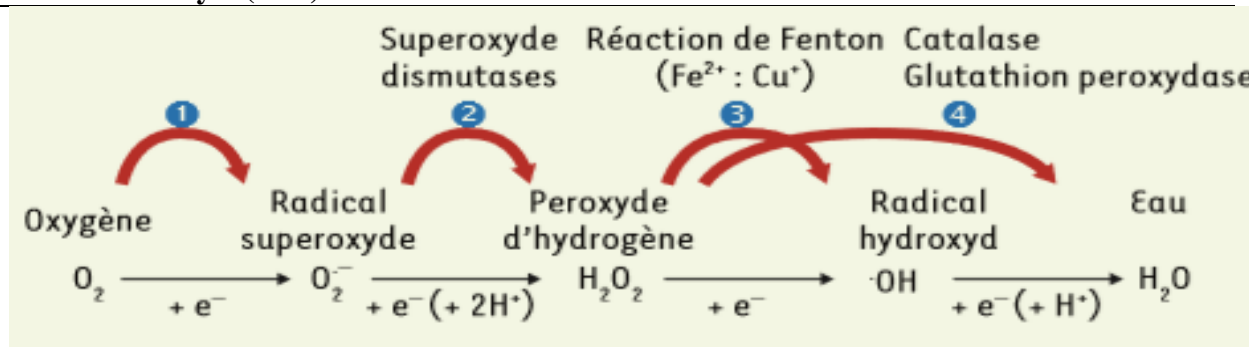
I.1.3. Origine de production d'espèces réactives de l'oxygène

L'organisme humain est soumis à l'agression de différents agents capables de donner naissance aux espèces réactives de l'oxygène (Ben Ahmed, 2017) (Tableau 2). Les ERO peuvent être produites par des réactions chimiques et surtout enzymatiques (Bruno, 2020). En effet, toute réaction impliquant de l' O_2 et un système réducteur de transfert d'électrons est susceptible de libérer des ERO (Migdal et Serres, 2011). La formation des radicaux libres se produit continuellement dans les cellules en conséquence de deux types de réactions : enzymatiques et non-enzymatiques (Ghouti et Halbigue, 2019). Les réactions enzymatiques, qui servent de source de radicaux libres, y compris ceux impliqués dans la chaîne respiratoire, dans les phagocytoses, dans la synthèse de prostaglandine et dans le cytochrome P-450 (Bruno, 2020). Les radicaux libres peuvent également se former dans les réactions non-enzymatiques de l'oxygène avec des composés organiques ainsi que par des réactions ionisantes (Lobo *et al.*, 2010). Les étapes de la réduction de l'oxygène et la formation des intermédiaires partiellement réduits sont détaillées dans le tableau 3. D'autres facteurs exogènes sont également capables de générer ces espèces dans l'organisme, en citant, les champs électromagnétiques, les rayons ultraviolets, les rayons X, les particules inhalées (amiante, silice), l'ingestion d'alcool, des anticancéreux, des toxiques présents dans notre environnement (suie, goudron, tabac, polluants industriels...) (Favier, 2003; Aseervatham *et al.*, 2013). Les ERO peuvent provenir de différents compartiments cellulaires tels que la mitochondrie, même en cas d'hypoxie (chaîne respiratoire), le réticulum endoplasmique (RE) (mono-oxygénases), la membrane plasmique (oxydases), les peroxysomes et le cytoplasme. Ils exercent des effets sur les acides nucléiques, ARN, ADN nucléaire et mitochondrial

(génétoxicité), sur les lipides membranaires en conduisant à des intermédiaires toxiques, sur les protéines à des niveaux différents allant jusqu'à la carboxylation et la dénaturation, et sur d'autres composants cellulaires (Barouki et Morel, 2001; Ray *et al.*, 2012).

Tableau 02. Origine des espèces réactives de l'oxygène (Migdal et serres, 2011)

Radical	Réaction
Réduction tétravalente de l'oxygène	$O_2 + 4 e^- + 4 H^+ \rightarrow 2 H_2O$
Anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$)	$O_2 + 1 e^- \rightarrow O_2^{\bullet -}$
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)	$O_2^{\bullet -} + O_2^{\bullet -} (+ 2 H^+) \rightarrow H_2O_2 + O_2$
Radical hydroxyle ($\bullet OH$)	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow \bullet OH + Fe^{3+} + OH^-$ $H_2O_2 + H_2O_2 \rightarrow 2 H_2O + O_2$ $H_2O_2 + 2 GSH \rightarrow 2 H_2O + GSSG$
Radical peroxyde (RO_2^{\bullet})	$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow RO_2^{\bullet}$
Hydro peroxyde (RO_2H)	$RO_2^{\bullet} + RH \rightarrow RO_2H + R^{\bullet} RO^{\bullet}$
Radical alkoxyde (RO^{\bullet})	$RO_2H + Fe^{2+} \rightarrow RO^{\bullet} + Fe^{3+} + OH^-$



I.2. Stress oxydant

Le stress oxydant se définit par un déséquilibre entre la production d'espèces radicalaires (ou réactives) d'oxygène (ERO) et les capacités cellulaires antioxydantes (Luczaj *et al.*, 2017). Les ERO sont présentes dans la cellule à des doses raisonnables, leur concentration est régulée par l'équilibre entre leur taux de production et leur taux d'élimination par les systèmes antioxydants (Poljsak *et al.*, 2013). Ainsi, à l'état normal, on dit que la balance antioxydants/pro-oxydants (balance rédox) est en équilibre (Poljsak *et al.*, 2011). Cependant, cette homéostasie peut être rompue, soit par une production excessive d'ERO (comme dans le vieillissement ou l'athérosclérose), soit par une diminution des capacités antioxydantes. On parle alors de stress oxydant (Pisoschi et Pop, 2015). Un tel déséquilibre peut être provoqué de façon régulée par l'activation de systèmes de production d'ERO (Posnyak, 2020). La réponse antioxydante est alors efficace pour compenser cette production et le déséquilibre est transitoire (Soschi et Pop, 2015). En revanche, dans certaines situations pathologiques comme le cancer, la production d'ERO est plus importante et prolongée et la réponse antioxydante est insuffisante (Maulik *et al.*, 2013). Le déséquilibre

est durable. Cette rupture de l'homéostasie peut avoir plusieurs origines : stress d'origine exogène (agents environnementaux pro-oxydants), intoxication aux métaux lourds, irradiations, carence en antioxydants apportés par l'alimentation ou anomalies génétiques (Wang *et al.*, 2014).

I.3. Défenses antioxydantes

1.3.1. Définition

Un antioxydant par définition est une espèce chimique plus ou moins complexe diminuant le stress oxydant au sein de l'organisme. Il peut donc prévenir la synthèse de radicaux libres en inhibant l'initiation des chaînes réactionnelles ou désactiver directement les EOR (Desmier, 2016). Pour se protéger des effets délétères des ERO, l'organisme dispose d'un ensemble complexe de défenses antioxydantes (Haleng *et al.*, 2007; Ali *et al.*, 2020).

1.3.2. Classification des antioxydants et mécanismes d'action

On distingue deux sources d'antioxydants, l'une est apportée par l'alimentation, fruits et légumes riches en vitamines C, E, caroténoïdes, ubiquinone, flavonoïdes, glutathion ou acide lipoïque, l'autre est endogène composée : des enzymes (superoxydodismutase, glutathion peroxydase, catalase), des protéines (ferritine, transferrine, céruléoplasmine, albumine) et de systèmes de réparation des dommages oxydatifs comme les endonucléases (Lobo *et al.*, 2010) (Figure 01). A cela s'ajoutent quelques oligoéléments comme le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs d'enzymes (Roussel, 2017) (Tableau 07).

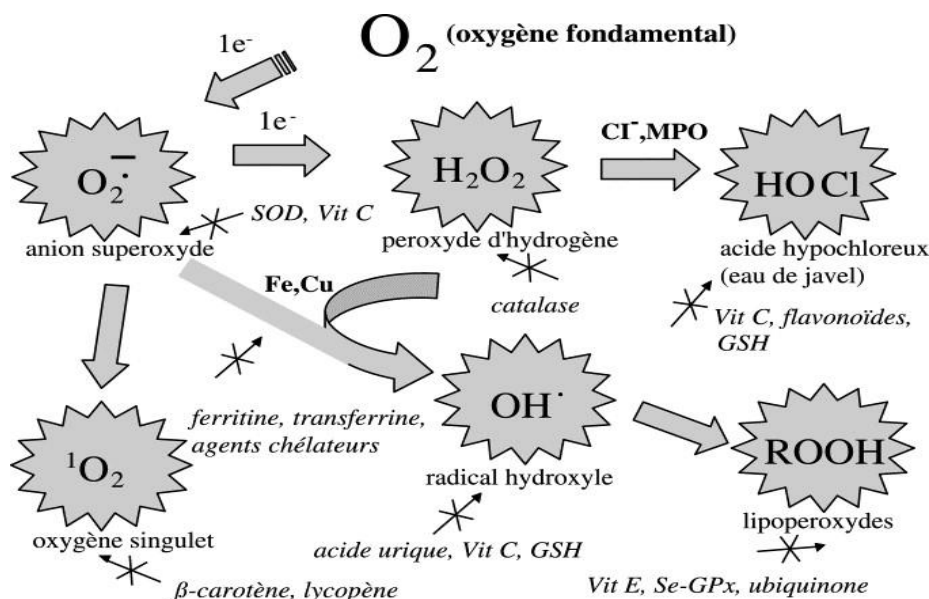


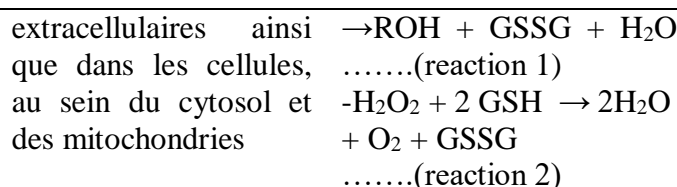
Figure 01. Mécanisme physiologique de la défense antioxydante (Elsevier, 2002)

I.3.2.1. Systèmes de défense enzymatiques

Ce sont des antioxydants d'origine interne contrôlent les radicaux libres et le bon fonctionnement des cellules (Desmier, 2016) (Tableau 03).

Tableau 03. Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions

Système enzymatique d'antioxydant	Définition	Propriétés	Références
Catalase (CAT)	C'est une enzyme que l'on retrouve principalement au sein des peroxysomes, dans les hépatocytes, les érythrocytes et les cellules rénales.	Elle transforme le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire selon la réaction suivante : $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	(Ighodaro et Akinloye, 2018)
Super oxydodismutases (SOD)	Ces metalloprotéines, qui représentent une des premières lignes de défense contre le stress oxydant,	Assurent l'élimination de l'anion superoxyde $\text{O}_2^{\cdot-}$ par une réaction de dismutation, en le transformant en peroxyde d'hydrogène et en oxygène : $2 \text{H}^+ + 2\text{O}_2^{\cdot-} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	(Ighodaro et Akinloye, 2018)
Les glutathion peroxydases (GSH-Pxs)	La glutathion peroxydase (GSH-Px) est une enzyme à sélénium. Elle se retrouve dans les liquides	Elle détoxifie le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes d'origine lipidique selon les deux réactions suivantes : $-\text{ROOH} + 2 \text{GSH}$	(Lonn <i>et al.</i> , 2012; Jacquot, 2013)

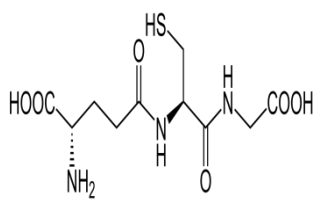


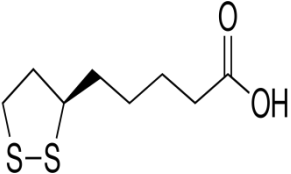
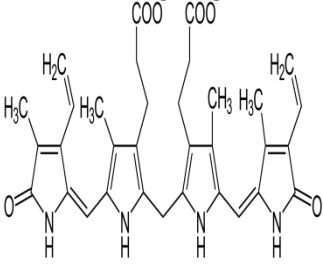
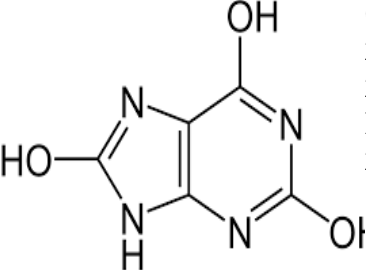
I.3.2.2. Systèmes de défense non enzymatiques

I.3.2.2.1. Systèmes antioxydants non enzymatiques endogènes

Les systèmes antioxydants non-enzymatiques endogènes sont présentés dans le tableau 04.

Tableau 04. Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions

Antioxydant	Définition	Mécanisme d'action	Structure	Références
Glutathion	Le glutathion est un tripeptide (acide glutamique-cystéine-glycine). Il est le thiol (-SH) majoritaire au niveau intra-cellulaire (l'albumine étant son équivalent plasmatique) où il est présent sous forme essentiellement réduite (GSH). Dans des conditions physiologiques, sa forme oxydée (GSSG) est en concentration très faible. Le rapport GSH/GSSG est considéré comme un excellent marqueur de la peroxydation lipidique et permet d'objectiver l'importance du stress.	-cofacteur de la GPx, -chélateur des métaux de transition, -régénérateur final des vitamines E et C, à partir de leur forme radicalaire. -Il intervient dans la détoxification des xénobiotiques, -Protecteur des lipides, des protéines et des acides nucléiques contre l'oxydation.		(Haleng <i>et al.</i> , 2007 ; Beaudeau et Geneviève, 2011)
Acide lipoïque	L'acide alpha-lipoïque est un acide soufré présent dans toutes les cellules du corps. C'est un puissant	- piègeur des E.R.O, -régénérateur des antioxydants endogènes et		(Valko <i>et al.</i> , 2006 ; Kurutas, 2016)

	antioxydant capable de neutraliser plusieurs types de radicaux libres.	exogènes tels que le glutathion, la vitamine C et E, -chélateur des métaux de transition tels que le fer et le cuivre		
Bilirubine	C'est un produit terminal de la dégradation de l'hème et résulte essentiellement du catabolisme de l'hémoglobine par les cellules réticuloendothéliales.	-piégeur des Radical peroxyde (ROO•) et de l'oxygène singulet ¹ O ₂ . Ainsi, elle protège l'albumine et les acides gras liés à l'albumine vis-à-vis les attaques radicalaires.		(Haleng et al., 2007; Kurutas, 2016)
Acide urique	C'est un produit terminal majeur du métabolisme des purines chez l'homme.	-un piégeur puissant de radicaux (OH•, ROO•, NOO•, HOCl et ¹ O ₂ ,...). -Il peut également régénérer d'autres antioxydants tels que les vitamines C et E.		(Haleng et al., 2007; David, 2015; Kurutas, 2016)


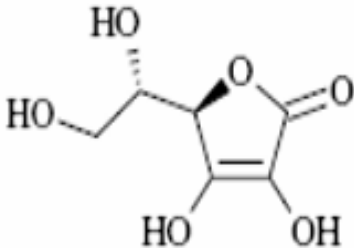
I.3.2.2.1. Systèmes antioxydants non enzymatiques exogènes

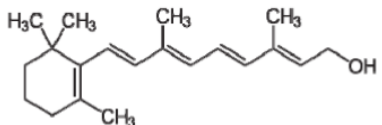
Ils constituent généralement par des vitamines, oligoéléments et métabolites secondaires. (Moussa et al., 2019)

-Vitamines

Elles sont regroupées dans le tableau 05.

Tableau 05. Propriétés de quelques vitamines antioxydantes

Vitamine	Fonction	Structure	Références
Vitamine E «atocophérol»	<p>La structure moléculaire de la vitamine E comporte deux extrémités, une extrémité hydrophile et une extrémité hydrophobe.</p> <p>L'alpha-tocophérol est sa forme la plus abondante et la plus active.</p> <p>-Elle empêche la propagation de la peroxydation lipidique.</p> <p>-Elle possède aussi la capacité de piéger de radicaux lipidiques, en particulier LO[•] et LOO.</p>		<p>(Neve et Pincemail, 2008; Saremi et Arora, 2010; Romero <i>et al.</i>, 2013; Hocine et Gorine, 2017)</p>
Vitamine C «Acide ascorbique»	<p>-c'est un excellent piégeur des ERO (le radical hydroxyle HO[•] ou l'anion superoxyde O₂^{•-}).</p> <p>-Elle inhibe également la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire issue de sa réaction avec des radicaux lipidiques.</p> <p>-Leurs fonctions sont diverses : le bon fonctionnement du système immunitaire, la synthèse du collagène et des globules rouges ainsi que dans les</p>		<p>(Huang <i>et al.</i>, 2005; Haleng <i>et al.</i>, 2007).</p>

	mécanismes de métabolisation du fer		
Vitamine A «rétinol»	C'est une vitamine liposoluble piègeur de radicaux.		(Haleng <i>et al.</i> , 2007; Romero <i>et al.</i> , 2013)

-Caroténoïdes

Ce sont des anti-radicalaires puissants, sont retrouvés souvent dans les plantes alimentaires, leur rôle protecteur dans les système biologiques implique la désactivation des espèces réactives telles que l'oxygène singulet 1O_2 , les radicaux peroxy ROO^{\cdot} et les alkyles R^{\cdot} (Krinsky, 2001; Gardès-Albert *et al.*, 2003). Les caroténoïdes incluent l'alpha carotène, bêta carotène, lycopène, phytofluène, phytoène, lutéine, néoxanthine, violaxanthine, anthéroxanthine, alpha cryptoxanthine et bêta cryptoxanthine (Merhan, 2017; Young et Lowe, 2018) (Figure 02). Ils sont d'excellents piègeurs d'espèces radicalaires particulièrement vis-à-vis de la lipoperoxydation des phospholipides membranaires grâce à leurs structures (un système conjugué de doubles liaisons) (Fiedor et Burda, 2014).

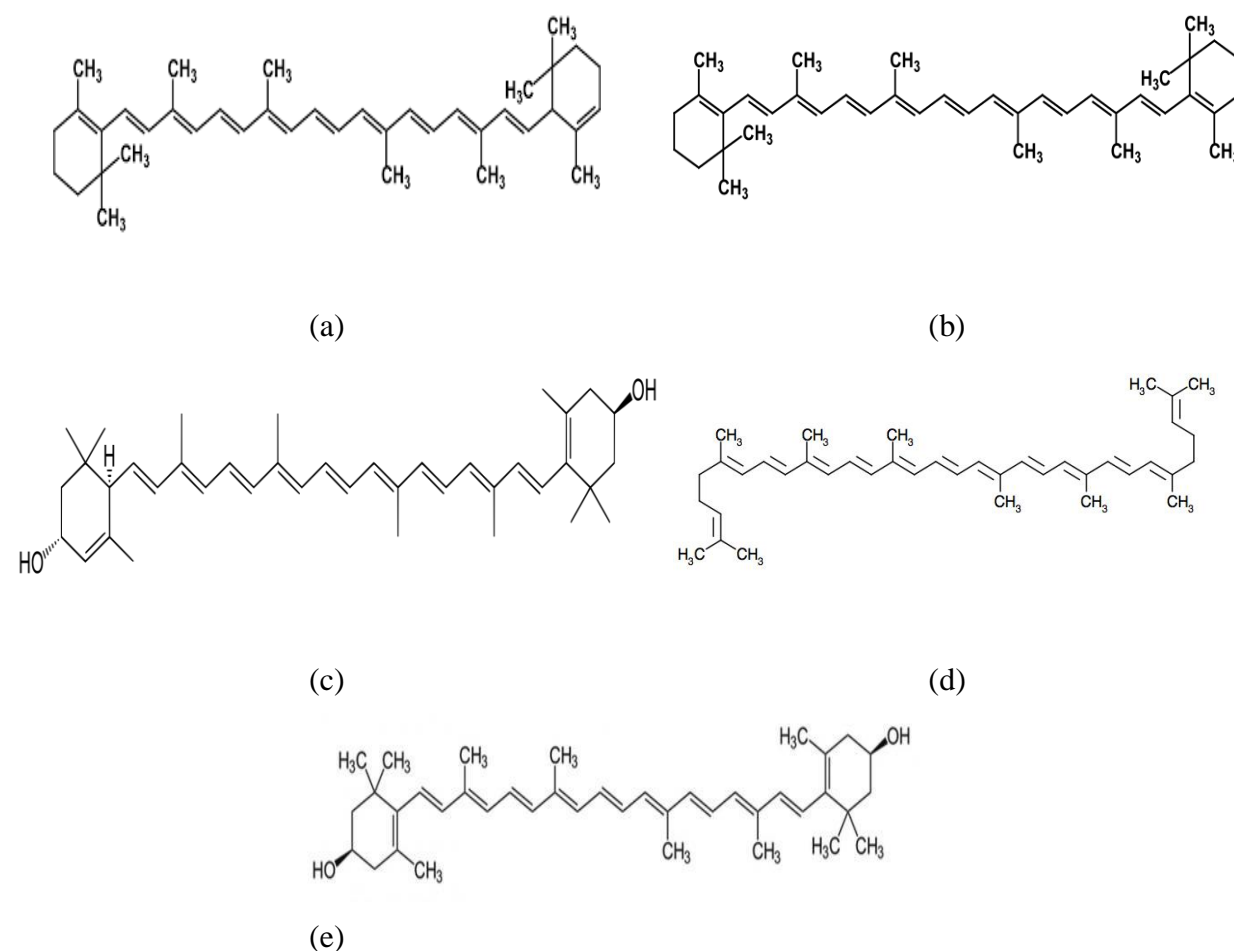


Figure 02. Structure de quelques caroténoïdes; a: alpha-carotène, b: beta-carotène, c: lutéine, d: lycopène, e: zéaxanthine (Merhane, 2017)

-Polyphénols


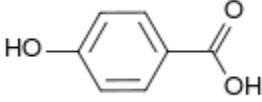
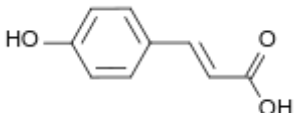
Ils représentent une classe de métabolites secondaires et ils sont très largement représentés dans le règne végétal et donc dans notre alimentation (Desmier, 2016). Leur structure comporte un ou plusieurs groupes phénoliques (un groupement OH greffé sur un noyau aromatique) (de la Rosa *et al.*, 2019) (Tableau 06). Leur étude a été croissante ces dernières décennies en raison de leurs bienfaits sur la santé, notamment grâce à leur pouvoir antioxydant mais aussi dans la prévention ou le traitement de nombreuses pathologies comme les cancers, les maladies cardiovasculaires ou dégénératives (Chen *et al.*, 2004). Ils sont également utilisés en agroalimentaire, en cosmétique ou dans l'industrie pharmaceutique comme additifs.

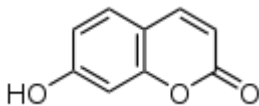
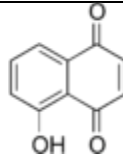
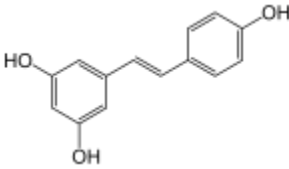
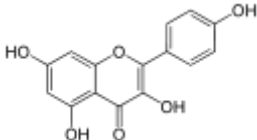
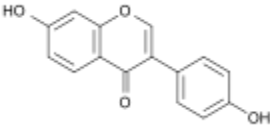
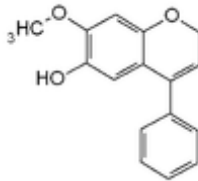
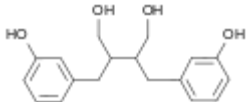

Le mécanisme de piégeage des radicaux libres par les polyphénols se fait par le transfert de l'atome d'hydrogène (H-atom transfer ou HAT). Le radical libre est réduit par transfert de l'atome d'hydrogène de l'antioxydant (ArO-H) vers le radical (R•). Selon l'équation suivante :



Le radical ArO• ainsi formé sera stabilisé soit par délocalisation des électrons π ou par un nouveau transfert d'atome d'hydrogène conduisant à la formation de quinone ou soit par réaction avec un autre radical libre (Košinová *et al.*, 2011; Velu *et al.*, 2008).

Tableau 06. Principales classes des composés phénoliques et leurs structures (Cuevas-Valenzuela *et al.*, 2016).

Squelette carboné	Classe	Structure
C ₆	Phénols simples	
C ₆ -C ₁	Acides hydroxybenzoïques	
C ₆ -C ₃	Acides hydroxycinnamiques	

	Coumarines	
C ₆ -C ₄	Naphtoquinones	
C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbénoides	
C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoïdes	
	Isoflavonoïdes	
	Anthocyanes	
(C ₆ -C ₃) ₂	Lignanes	
(C ₆ -C ₃) _n	Lignines	
(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Tanins condensés	

-Oligoéléments

Les oligoéléments sont des éléments inorganiques présents dans l'organisme en très faible quantités (**Roussel, 2017**). Le tableau 08 présente les principaux oligoéléments antioxydants.

Tableau 07. Quelques oligoéléments antioxydants et leurs mécanisme d'action.

Oligoéléments	Définition et mécanisme d'action	Référence
Sélénium	Le sélénium n'est pas un antioxydant en tant que tel, car il ne peut piéger les radicaux libres, mais il joue un rôle primordial comme cofacteur de la GPx. Dans l'alimentation, on retrouvera	(Desmier, 2016)

	essentiellement du sélénium organique, lié à un acide aminé, la cystéine. Le sélénium organique est mieux absorbé. Il subit une métabolisation hépatique qui conduit à des intermédiaires nécessaires à la synthèse de dérivés physiologiquement actifs comme la GPx.
Cuivre	C'est un cofacteur d'enzymes comme la SOD, la cytochrome C oxydase et la dopamine β -hydroxylase. Cependant, en tant que métal de transition, il joue un rôle important dans le déclenchement de réactions de production d'ERO (réactions de Fenton) et peut lorsque sa concentration est élevée devenir pro-oxydant. (Jomova et Valko, 2011)
Zinc	Le zinc est un oligo-élément nutritionnellement fondamental, essentiel à la structure et au fonctionnement de nombreuses macromolécules. Il joue un rôle de cofacteur pour de nombreux enzymes et intervient ainsi dans de nombreuses fonctions comme le métabolisme des nucléotides, la synthèse des prostaglandines, le fonctionnement de l'anhydrase carbonique. Comme le cuivre, le zinc est un des cofacteurs essentiels de la SOD. Il protège également les groupements thiols des protéines et il peut inhiber les réactions de formation d'ERO induites par des métaux de transition comme le fer ou le cuivre. (Jarosz, 2017)

I.4.Méthodes d'évaluation de la présence d'antioxydants dans les plantes

Les antioxydants présentent une grande diversité moléculaire agissant contre les processus d'oxydation de différentes manières (Guillouty, 2016). Actuellement, plusieurs techniques analytiques sont appliquées pour mesurer la capacité antioxydante dans les antioxydants lipophiles et hydrophiles contenus dans les systèmes biologiques et dans notre alimentation en particulier les légumes, les fruits et les plantes médicinales consommables (Pisoschi et Negulescu, 2011).

Il existe deux mécanismes de piégeage des radicaux libres : la libération de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle (cinétique rapide de certains acides et dérivés

phénoliques) et la libération d'un électron (cinétique lente des dérivés glycosylés et des anthocyanes) (Guillouty, 2016). Parmi ces différentes méthodes analytiques, nous distinguons (Peng, 2009 ; Pisoschi et Negulescu, 2011; Miguel-Chávez, 2017):

- La méthode de DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Activité scavenger du radical DPPH, *Activité scavenger du radical DPPH*).
- La méthode TRAP (Paramètre du piégeage du radical total, *total radical-trapping antioxidant parameter assay*).
- La méthode de PCL (test de Photo chemiluminescence, *Photo chemiluminescence assay*)
- La méthode d'ORAC (Capacité d'absorbance du radical de l'oxygène, *oxygen radical absorbance capacity assay*).
- La méthode de DMPD (Balayage du radical cation La diméthyl-4-phénylènediamine, *N,N-Dimethyl-p-phenylenediaminedi hydrochloride assay*).
- La méthode de FRAP (Test de la réduction du fer ou test de pouvoir réducteur ; *ferricreducing-antioxidant power assay*).
- La méthode de TOSC (*total oxyradical scavenging capacity assay*).
- La méthode de TAC (capacité antioxydante totale; *total antioxidant capacity assay*).
- La méthode d'ABTS (Activité scavenger du radical ABTS (2,2-azinobis (3-éthyle-benzothiazoline-6-sulphonate)); *ABTS radical cation scavenging assay*) ou TEAC (Capacité antioxydante équivalente de Trolox, *Trolox equivalent antioxidant capacity assay*).
- La méthode de ROS (le test du piégeage du radical superoxyde ($O_2^{\cdot-}$ *Reactive oxygenspecies*)).
- La méthode de piégeage du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 *hydro genpyroxide scavenging activity*).

II. Présentation de l'espèce

II.1. Description botanique de la famille des Anacardiaceae

La famille des Anacardiaceae regroupent des arbres, arbustes, lianes ou rarement des herbes pérennes à canaux de résine verticales dans l'écorce et le feuillage, parfois du suc laiteux (Mabberley, 1987). Ce sont des espèces hermaphrodites, polygamo-dioïques ou dioïques (Tianlu et Barfod, 2008). Les feuilles sont spiralées, rarement opposées ou verticillées, pennées ou trifoliées, moins souvent simples (Mabberley, 1987). Selon Pell (2004), les feuilles sont généralement alternes mais peuvent être composées simples ou pennées ou rarement bi-pennées. D'après Guyots (1992), il est mentionné que cette famille a 60 genres et 600 espèces, et selon Mabberley (1987), cette famille compte 73 genres et 850 espèces dont le genre le plus grand dans cette famille est *Rhus* dont on compte une centaine d'espèces. De même, Selon Pell (2004), cette famille contient 82 genres et 700 espèces. Parmi ces nombreuses espèces, nous nous sommes intéressés par les feuilles de *Rhus pentaphylla*.

II.2. Genre *Rhus*

II.2.1. Description botanique et habitat du genre *Rhus*

Ce genre regroupe des arbustes ou des arbres à feuilles caduques, polygames ou dioïques. Les feuilles sont composées imparipennées, à rachis parfois ailé et folioles pétiolées ou sessiles. Les inflorescences terminales sont paniculées ou thyrsoides à bractées florales persistantes ou caduques. Les fleurs sont fonctionnellement unisexuées ou bisexuées (Tianlu et Barfod, 2008). Les rameaux secrètent un suc laiteux comme celui des Euphorbes (Fournier, 1977). L'ovaire est uniloculaire et uniovulaire à trois styles, souvent unis à la base. Le fruit est une drupe globuleuse, légèrement compressée, pubescente glandulaire et poilu, rouge à maturité (Tianlu et Barfod, 2008). Il s'est trouvé principalement dans les zones tempérées chaudes des deux hémisphères, mais s'étend aussi dans les régions tropicales et tempérées froides. *Rhus* au sens large est le plus grand genre dans les Anacardiaceae, comprenant plus de 250 espèces différentes de plantes à fleurs (Pourahmad *et al.*, 2009). En Algérie, on trouve principalement trois types de *Rhus*: *Rhus coriaria*, *Rhus tripartitum* et *Rhus pentaphylla* (Quezel, 1962).

II.2.2. Composition chimique du genre *Rhus*

De nombreuses études phytochimiques des membres du genre *Rhus* ont permis d'identifier plusieurs types de composés bioactifs. Les tanins hydrolysables tels que les gallotanins sont les principaux composants (4% dans la poudre, et jusqu'à 20% dans les

feuilles séchées) (Kossah, *et al.*, 2009). Ce genre contient également des flavonoïdes (Chetoui *et al.*, 2013), des triterpènes (Abu-Reidah *et al.*, 2015), des anthocyanines (Kosar *et al.*, 2006), des acides phénoliques (acide gallique), des acides gras (acide linoléique, acide linoléique, acide oléique, acide palmitique et acide stéarique) (Anwer *et al.*, 2013), des minéraux (le potassium, le sodium, le magnésium, le calcium, le fer, le cuivre, le zinc, le manganèse et le phosphore) (Özcan et Haciseferogullari, 2004), des acides organiques (acide malique, acide citrique, acide tartrique, acide fumarique) (Özcan et Haciseferogullari, 2004), et des vitamines (B, C et PP) (Haqeeq *et al.*, 2012).

II.2.3. Utilisations traditionnelles et propriétés pharmaceutiques

Des travaux ultérieurs ont montré que les espèces de *Rhus* sont des sources de composés phénoliques bioactifs et d'ingrédients fonctionnels ayant de multiples applications potentielles dans les industries pharmaceutique et alimentaire (Abu-Reida *et al.*, 2015). Ces espèces sont utilisées comme un additif alimentaire, et protègent contre les dommages oxydatifs en piégeant les espèces réactives de l'oxygène (Kim *et al.*, 2013). Les femmes des campagnes ont l'habitude d'utiliser cette plante en cuisine (Alaoui *et al.*, 2012). D'après Yadav et Tangpu (2004), les fruits de *Rhus* récoltés du Nord-est d'Inde sont connus pour ses propriétés antidiarrhéiques et putatifs. Plusieurs études ont été effectuées sur les extraits du genre *Rhus* révèlent un potentiel prometteur pour cette famille de plantes à fournir des produits naturels renouvelables avec des activités biologiques très diverses. En effet, les propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires hypolipidémiantes, antitumorales, hypoglycémiantes et antidiarrhéiques des extraits de *Rhus* ont été bien documentées (Mahjoub *et al.*, 2010; Shafiei *et al.*, 2011; Ben Barka *et al.*, 2016). D'autre part, des tests *in vitro* et *in vivo* sur des cellules humaines et des rats des tiges de *Rhus oxyacantha* ont montré des potentiels cardio protecteurs (Shahat *et al.*, 2016).

II.3. Présentation de l'espèce *Rhus pentaphylla* (Jacq.) Desf.

II.3.1. Classification systématique

Rhus pentaphylla (Jacq.) Desf. appartient selon la classification d'APGIII (2009) au :

Règne	Plantae
Sous-règne	Angiospermes
Division	Eudicots
Classe	Eudicots
Sous-classe	Rosidées
Ordre	<i>Sapindales</i>
Famille	<i>Anacardiaceae</i>
Genre	<i>Rhus</i>
Espèce	<i>Rhus pentaphylla</i> (Jacq.) Desf.

II.3.2. Noms vernaculaires et synonymes (Quezel et Santa, 1962)

- Nom arabe/ Berbère : Tizra, Tizrha, Taza, jdari.
- Nom français : Sumac à cinq feuilles.
- Nom anglais : Sumach, Sicilian sumac
- Synonyme : *Rhamnus pentaphylla* Jacq, *Searsia pentaphylla* (Jacq.) F.A. Barkley.

II.3.3. Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat

C'est un arbre ou arbuste qui atteint de 5 à 6m, mais il se présente souvent comme un buisson de 2 à 3m. Son enracinement est puissant. Ses rameaux sont épineux. Ses feuilles, caduques, ne tombent pas qu'à la saison d'été. Le fruit est une drupe rouge globuleuse (Seigue, 1985).

Cette plante pousse généralement avec l'arganier et *Pistacia lensiscus* L. Sa présence dans un sol est un indicateur que c'est un sol peu fertile est qui n'est pas bon pour la plantation en général. Elle est souvent présente dans les sols rocaillieux plus ou moins, dans les forêts arides et dans les montagnes basses à moins de 1 Km de hauteur. Cette espèce se trouve en Afrique du Nord : elle est rare en Tunisie et fréquent dans l'ouest d'Algérie et au Maroc. A Tlemcen, elle est présente plutôt dans la région de Zarifet, de Ghazaou et Beni-saf (Soulimane, 2018).



Figure 3. Photo de *Rhus pentaphylla* (<https://www.teline.fr/>)

II.3.4. Propriétés biologiques et utilisation traditionnelle

C'est est une plante médicinale connue pour sa grande concentration en tanins dont les extrais sont utilisés pour le tannage (**Soulimane, 2018**). Les racines, les feuilles et les écorces de cette plante depuis longtemps sont utilisés en décoction contre les troubles gastriques et gastro-intestinaux et les fruits de cette plante ont un effet remarquable contre les diarrhées (**Lahsissene et al., 2009**).

De nombreux rapports sur l'activités pharmacologiques des extraits de différentes parties aériennes de cette espèce ont été démontré des effets anti-inflammatoires, protecteurs dans différentes neuropathologies in vitro, antibutyrylcholinestérasiques, ainsi que des effets curatifs dans les complications liées au diabète et l'efficacité thérapeutique dans certains types de cancer (**BenMansour et al., 2011; Doğan et al., 2016; Tabassum et al., 2017**). L'analyse de la caractérisation phytochimique de cette espèce ont permis aux chercheurs de valider ses propriétés antioxydantes, anticancéreuses et antimicrobiens (**Muazzam et al., 2018**).

II.3.5. Composition chimique

Les extraits méthanoliques de *R. pentaphylla* a été récolté autour de la localité de Marsat Ben M'hidi au nord-ouest de Tlemcen, Algérie, possèdent une teneur élevée en tanins

dans les racines tels que gallo-tanins hydrolysables et pentagalloyl glucose alors que les flavonoïdes sont présentés en quantité considérable dans les feuilles (**Soulimane, 2018**).

Une étude effectuée par BenMansour *et al.* (2011) a montré que les extraits aqueux de graines, de feuilles et de racines de *R. pentaphylla* sont riches en tanins, en flavonoïdes et en coumarines. Par conséquent, ces extraits possèdent une activité antibutyrylcholinestérasique importante qui pourrait être utilisée pour le traitement de la maladie d'Alzheimer.

***Partie
expérimentale***

I.1. Préparation du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est les feuilles de *Rhus pentaphylla* (Jacq.) Desf. (Anacardiaceae). La récolte a été faite en novembre 2017 dans la région d'Oran. Le matériel végétal a été authentifié par des botanistes au niveau de laboratoire de botanique, Université Oran1. Une fois transportés au laboratoire, les feuilles ont été séparées et triées, lavées rapidement sous l'eau du robinet, rincées abondamment à l'eau distillée, puis essuyées avec du papier Joseph. Le matériel végétal a été séché à l'air dans une pièce ventilée et conservée à l'abri de la lumière pendant une quinzaine de jours. Une fois séchées, les feuilles ont été concassées séparément dans un mortier, puis broyées en poudre fine ≈ 40 mesh à l'aide d'un broyeur à couteau, pour obtenir des poudres fines, qui ont été conservées et stockées dans des dessiccateurs fermés à une température ambiante jusqu'à leur utilisation.

I.2. Extraction et préparation des extraits

Les extraits aqueux des feuilles de *R. pentaphylla* sont préparés avec deux méthodes : la décoction et l'infusion ; dont le but d'extraire les substances polaires telles que les composés phénoliques selon la méthode décrite par Rached *et al.* (2019) avec quelques modifications.

I.2.1. Décoction

Une décoction aqueuse à 1% est effectuée en plaçant 2 mg de poudre de plante dans 200 mL d'eau distillée. L'ensemble est porté à bouillir pendant 15 minutes puis laissé refroidir le décocté. Ensuite, la filtration a été réalisée à l'aide d'un papier filtre. La poudre d'extraction reprise est décoctée à nouveau en procédant les mêmes étapes. Le filtrat obtenu est par la suite congelé puis lyophilisé à l'aide d'un lyophilisateur.

I.2.2. Infusion

Elle consiste de mettre la poudre végétale à infuser avec l'eau distillée bouillante (1%, p/v) pendant 15 min. Ensuite, l'extrait est refroidi puis filtré à l'aide d'un papier filtre. Puis, le résidu récupéré de l'infusion est mis de nouveau à l'extraction. Cette étape est répétée deux fois. Le filtrat obtenu est transféré dans des flacons puis congelé à température de -20°C . Les produits congelés sont ensuite lyophilisés à l'aide d'un lyophilisateur afin d'obtenir une poudre brune sèche qui sera conservée ultérieurement à -20°C jusqu'à l'utilisation.

I.2.3. Évaluation du rendement d'extraction

Le rendement d'une extraction (yield) en pourcentage (%) est défini comme étant le rapport entre la masse d'extrait et celle de la plante sèche en poudre (**Ainane et al., 2018**). Le rendement d'extraction est calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = 100 \frac{\text{Masse obtenue en gramme (g)}}{\text{Masse initiale en gramme (g)}}$$

Il existe des paramètres majeurs peuvent être influencés sur le rendement d'extraction et la qualité de l'extrait comme la nature et le volume du solvant, le temps et la température d'extraction et la nature de la matrice (**Kouwelton et al., 2017**). Les résultats du rendement pour l'extrait testé sont résumés dans le tableau 08.

II. Dosage colorimétrique des composés phénoliques

II.1. Dosage des polyphénols totaux (PT)

II.1.1. Principe

Le dosage des polyphénols totaux par le réactif de Folin-Ciocalteu a été déterminé par un spectrophotomètre UV-Visible (UViline 9400, Secomam) selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu décrite par Singleton et Rossi (1965) avec des modifications mineures. Son utilisation s'est largement répandue pour caractériser les extraits végétaux. Le dosage est reposé sur la quantification de la concentration totale de groupement hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀), qui est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes bleus de tungstène (W₈O₂₃) et demolybdène (Mo₈O₂₃) (**Mataix et de Castro, 2001**). Subséquemment, En milieu alcalin, le réactif de Folin-Ciocalteu oxyde les polyphénols en ions phénolates et réduit partiellement ses hétéro polyacides d'où la formation d'un complexe bleu (**Dieng et al., 2015**)

II.1.2. Mise en œuvre du dosage

Pour réaliser ce dosage, un volume de 0,1 mL de chaque extrait de plante (2,5 mg/mL) a été ajouté avec un volume de 0,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (1:10 v/v, H₂O). Le mélange a été agité à l'aide d'un vortex puis incubé pendant 5 min à l'obscurité et à température ambiante. Ensuite, 1,5 mL d'une solution aqueuse du carbonate de sodium anhydre (Na₂CO₃, 2%) ont été ajoutés. Puis, le mélange a été agité et conservé pendant 1h à l'obscurité et à température ambiante. L'absorbance est lue à 765 nm. Une gamme étalon en milieu aqueux (0,02; 0,04; 0,06; 0,08 et 0,1 µg.mL⁻¹, H₂O) a été réalisée en

utilisant l'acide gallique comme un polyphénol témoin. La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique. La concentration moyenne des polyphénols présents dans les extraits végétaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par un gramme de l'extrait aqueux lyophilisé sec (mg Eq AG/g d'extrait). La courbe d'étalonnage de l'acide gallique est représentée dans la figure 03 ci-dessous suivi le même protocole entrepris pour doser les échantillons.

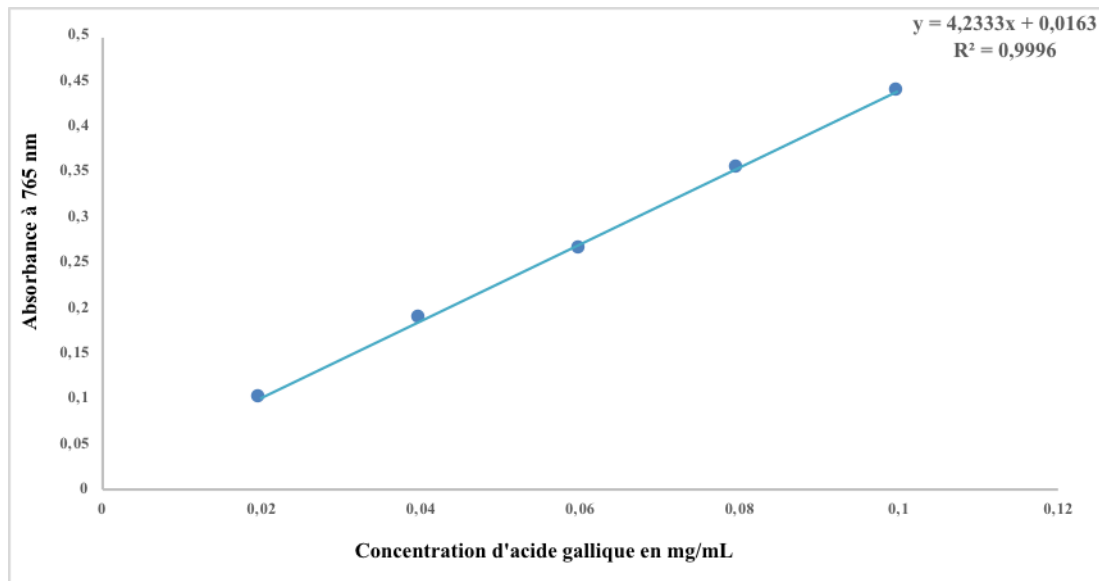


Figure 04. Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage de polyphénols totaux (TPT)

II.2. Dosage des flavonoïdes totaux (FT)

II.2.1. Principe

La quantification des flavonoïdes est une méthode basée sur la formation d'un complexe très stable entre le chlorure d'aluminium (AlCl_3) et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes, suivie par une mesure spectrophotométrique de ce complexe produit (**Ali-Rachedi *et al.*, 2018**). La coloration rosâtre produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait, mesurée à 510 nm (**Pękal et Pyrzynska., 2014**). La teneur en flavonoïdes des extraits testés a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium décrite par Kim *et al.* (2003).

II.1.2. Mise en œuvre du dosage

Ce dosage est effectué par un mélange d'une quantité de 0,5mL de l'extrait (2,5 mg/mL) avec 1,5mL d'eau distillée. Par la suite, un volume de 0,150mL de nitrite de sodium (NaNO_2 , 5% p/v, H_2O) a été ajouté. Après 5min, 0,150mL de trichlorure d'aluminium (AlCl_3 , 10% p/v, méthanol) a été additionné. Après 6 min de repos, On ajoute au mélange 0,5mL d'hydroxyde de sodium (NaOH , 1M

p/v, H₂O). L'ensemble a été agité à l'aide d'un vortex et l'absorbance a été mesurée à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Les teneurs en flavonoïdes totaux sont calculées en se référant à une courbe d'étalonnage (équation de la régression linéaire : $y = 0,0045x - 0,0525$; $R^2 = 0,9946$) préparée avec la catéchine (0,04; 0,06; 0,08; 0,1 et 0,2 mg/mL, Méthanol) (**Figure 04**). Les concentrations sont exprimées en mg d'équivalent de catéchine par gramme d'extrait lyophilisé sec (mg EC/g d'extrait). Cette courbe est procédée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons étudiés. Les dosages sont encore réalisés en triplicata.

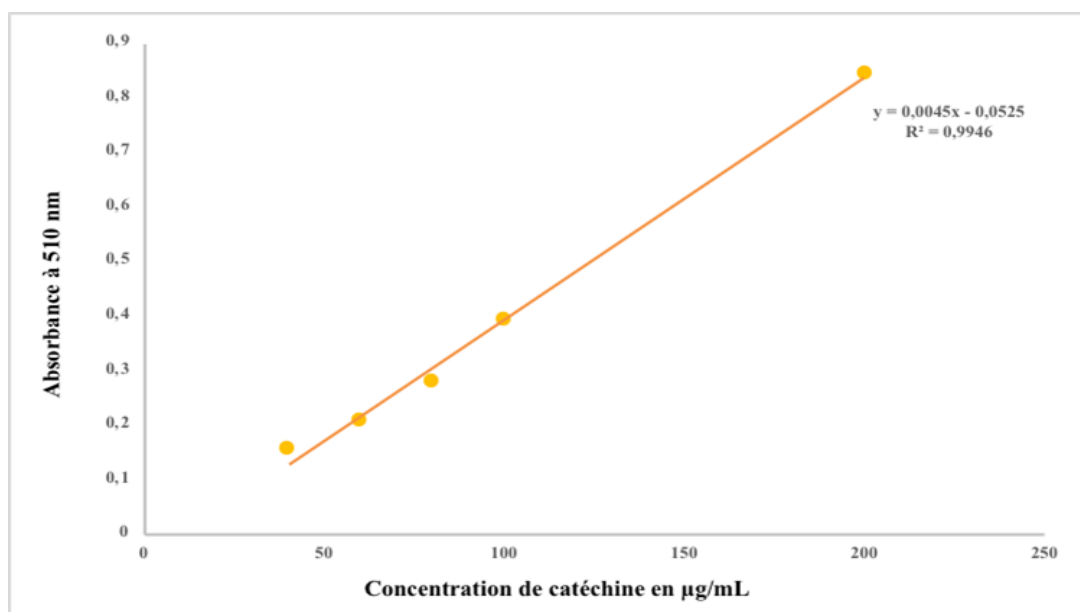


Figure 5. Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux

III. Évaluation de l'activité antioxydante

On peut déterminer le pouvoir antioxydant d'une substance par plusieurs méthodes dont une grande majorité est détectable par UV-Visible. Elles sont généralement basées sur une différence de couleur qui peut être déterminée avec précision par l'UV-Visible. Dans cette étude, les deux méthodes utilisées sont le Pouvoir Réducteur d'Ions Ferriques (FRAP : *Ferric Reducing Antioxydant Power*) et le test du pouvoir du piégeage du radical libre DPPH, qui ont été déterminées in vitro selon Barros et al. (2013).

III.1. Pouvoir Scavenger du Radical DPPH

Le test de DPPH(2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) dont le principe se résume en la capacité de réduire un radical libre stable que nous avons utilisé pour remplacer les radicaux libres produits par les cellules en réponses à des stress internes ou externes. En présence d'un antioxydant, la couleur violette caractéristique du DPPH virait au jaune (après réduction) et l'absorbance mesurée à 517 nm s'abaissait.

L'ajout de différentes dilutions des extraits à la solution de DPPH permettait de déterminer celle le mieux qui abaissait l'absorbance (Yaici *et al.*, 2019).

Cette méthode chlorométrique est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre (UViline 9400, Secomam). Elle comporte à mixer 100 µL de différentes concentrations de chaque extrait de plante (0,019 – 5 mg/mL) avec 900 µL d'une solution méthanolique de DPPH à 0,6 mmol/L. La lecture de l'absorbance a été effectuée à 517 nm après avoir laissé incuber la réaction à l'obscurité et à température ambiante pendant une heure. Le Trolox, l'acide ascorbique et la catéchine sont utilisés comme substances de références. L'activité anti-radicalaire est exprimée en pourcentage d'inhibition du DPPH (I %) en utilisant la formule suivante :

$$I \% = [1 - (\text{Absorbance d'échantillon} - \text{Abs du contrôle négatif}) / \text{Absorbance du contrôle négatif}] \times 100.$$

Le pourcentage d'inhibition est exprimé ensuite par la valeur de la IC₅₀, sachant que l'IC₅₀ est la concentration d'extrait nécessaire pour l'obtention de 50% de la forme réduite du radical DPPH. La régression linéaire des graphiques a été utilisée pour calculer graphiquement l'IC₅₀ exprimée en pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits testés.

III.2. Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP)

Le test de la réduction du fer ou test de pouvoir antioxydant réducteur d'ions ferrique (FRAP) est relativement simple et rapide. C'est une méthode directe pour mesurer l'activité antioxydante combinée (totale) d'un antioxydant réducteur (donneur d'électron) présent dans un échantillon d'essai (Benzie et Devaki, 2018). Le test du FRAP est basé sur la capacité de réduire un complexe ferrique jaune (contenant Fe³⁺) à un complexe ferreux bleu (contenant Fe²⁺) par des antioxydants donateurs d'électrons dans un milieu acide (Hidalgo et Almajano., 2017). Une quantité de 0,5 mL de différentes concentrations des extraits testés (0,019 - 5 mg/mL) a été mélangée avec 0,5 mL d'une solution tampon phosphate (0,2 mM p/v, pH 6,6) et 0,5 mL d'une solution de ferricyanure de potassium (K₃Fe(CN)₆; 1% p/v; H₂O). L'ensemble a été incubé à 50°C pendant 20 min. Ensuite, 0,5 mL d'acide trichloroacétique à 10% (p/v) ont été ajoutés pour stopper la réaction. Subséquemment, 0,8 mL du mélange sont combinés avec 0,8 mL d'eau distillée et 0,160 mL du chlorure de fer (FeCl₃: 0,1% p/v). La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été réalisée à 690 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (UV-VIS spectrophotomètre). Les résultats sont exprimés en valeurs IC₅₀ qui est calculée à partir de la courbe d'absorbance en fonction de la concentration de l'échantillon.

IV. Étude statistique

L'analyse de variance dans cette étude est effectuée par le test ANOVA, ainsi des méthodes statistiques unies variées sont employées dans tous les essais. Les résultats sont ensuite suivis par le test Tukey's HSD avec un niveau de signification de 5% ($p = 0.05$), et analysés par le test de t-Student. Le logiciel utilisé est SPSS (Statistics Package for Social Sciences) version 23.0 (IBM Corporation, New York, USA). Les données sont représentées par leur moyenne \pm erreur standard par rapport à la moyenne (ESM). Pour toutes les méthodes, trois répétitions sont effectuées (triplicata).

Résultats et discussion

Résultats et discussion

I. Extraction et caractérisation phytochimique

I.1. Rendements d'extraction

Le meilleur rendement d'extraction, des deux méthodes utilisées a été enregistré par la décoction soit une moyenne de 17,34 % versus 15,64 % pour l'infusion (**Tableau 08**). Ainsi, la capacité d'extraction des solvants dépend principalement de la solubilité du composé dans le solvant (**Dhanani et al., 2017**). Quel que soit la méthode d'extraction appliquée, elle doit tenir compte de la qualité d'extrait, autrement dit de la bio-activité de ces principes actifs.

Dans la présente étude, les méthodes de la décoction sous agitation et l'infusion sont permises d'accélérer le processus d'extraction et de minimiser le temps de contact du solvant avec l'extrait tout en préservant la bio-activité de ses constituants (**Hameg et Taleb, 2018**).

Ces résultats sont proches à ceux obtenus par Soulimane (2018) sur les extraits aqueux des racines et feuilles de *R. pentaphylla* prélevées de de Tlemcen avec une moyenne de 12% pour les feuilles contre les racines qui ont un taux plus bas avec une moyenne de 6%. Le rendement d'extraction dépend du type d'organe considéré. Il varie non seulement d'une plante à une autre de la même famille mais également en fonction des paramètres de l'extraction, le solvant d'extraction, la taille des particules et le coefficient de diffusion de solvant (**Abdel Malak., 2018**).

Le solvant peut aussi changer la nature chimique de l'extractantce qui leur confère des propriétés extractives différentes suivant le solvant. L'intervention de solvants organiques qui peut entraîner des risques d'artéfacts et des possibilités de contamination de l'échantillon par des impuretés parfois difficile à éliminer (**Jurenka., 2009**).

Tableau 08.Rendement des extraits aqueux

Extrait	Rendement (%)
Décoction	30,6
Infusion	18,9

I.2. Dosage colorimétrique des composés phénoliques

La détermination des teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes présents dans les deux extraits de *R. pentaphylla* a été faite en utilisant séparément les méthodes colorimétriques Folin-Ciocalteux et trichlorure d'aluminium respectivement. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 09.

Résultats et discussion

I.2.1. Dosage des polyphénols totaux (PT)

La plante étudiée dans ce travail a été décoctée et infusée. Les rendements de leurs extraits bruts sont mentionnés dans le tableau ci-avant. Le dosage colorimétrique par le réactif Folin-Ciocalteu appliqué dans cette étude est une méthode simple et nécessite peu de réactifs, ce qui est appropriée pour l'estimation grossière de la teneur en polyphénols totaux, même si elle est limitée par la faible spécificité envers les polyphénols, et s'appuie sur l'utilisation d'un composé standard (Mosca *et al.*, 2000). D'après les résultats obtenus, on peut conclure que les résultats de la décoction des feuilles est élevée par rapport à l'infusion. Il paraît clairement que l'eau chaude est le solvant qui permet d'avoir un rendement en polyphénols totaux plus élevé.

Une étude réalisée par Abdel-Mawgoud *et al.* (2019) sur l'extrait aqueux de *R. flexicaulis*, recueillies en mars 2016 à Gebal-Elba (Égypte), mesurée les composés phénoliques par la même méthode de Folin-Ciocalteu ont été des valeurs différentes de nos résultats avec teneurs de 30,31 mg/g. Ainsi, une autre étude d'autre réalisée par Young Jang *et al.* (2018) sur l'extrait méthanolique des feuilles *R. verniciflua* collectées de la Corée par la même méthode indique des valeurs élevée de 68,9mg/g. Cette différence est liée à la solubilité des composés phénoliques, le type de solvant utilisé, la région du prélèvement (Naczki et Shahidi, 2004). Cependant, ces derniers sont le plus souvent combinés à d'autres substances (protéines, polysaccharides, terpènes, chlorophylle, lipides, composés inorganiques, ...) (Mengal et Mompon, 1996).

I.2.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux a été exprimée en microgramme équivalent de catéchine par gramme du matériel végétal sec. Les résultats révèlent que les deux extraits présentent des teneurs modérées (Tableau 09).

En se basant sur ces données, on peut déduire que les concentrations des flavonoïdes sont relativement importants dans les deux extraits, la teneur en flavonoïdes de la décoction est de $35,55 \pm 0,72$ $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche suivie de celle de l'infusion avec $30,9 \pm 0,8$ $\mu\text{g/g}$ de matière sèche. Ces résultats obtenus sont nettement supérieurs à ceux trouvés par Chetaoui *et al.* (2013) sur l'extrait méthanolique des fruits de *R. pentaphylla* de la région de la Tunisie obtenus par agitation magnétique de 2,5g de matière sèche avec 25 ml de solvant méthanolique pendant 12 heures ($14,28 \pm 0,8$ mg/100g). De même, nos résultats sont

Résultats et discussion

supérieurs avec ceux trouvés par Abdel-Mawgoud *et al.* (2019) sur l'extrait méthanolique des parties aériennes de *R. flexicaulis* de la région de Gebal Elba (Égypte), méthanol à 80% en utilisant un agitateur aérien et un bain à ultrasons avec une valeur de $20,93 \pm 1,47$ mg/100g).

Statistiquement la différence entre les teneurs en flavonoïdes en fonction de la partie de la plante est hautement significative (Skrypnik *et al.*, 2019). La grande différence entre les parties apparaît au niveau de la richesse des certains et la pauvreté des autres. D'autres facteurs peuvent influencer sur les teneurs en flavonoïdes dont le type de solvant utilisé, dont l'eau est préférable car il a l'avantage d'être non polluant, moins chers et non toxique par rapport à d'autres solvants comme le méthanol (Oreopoulou *et al.*, 2019).

Notamment la région de la récolte des plantes joue un rôle dans cette différenciation qui est due aux conditions environnementales (Ribeiro *et al.*, 2020).

L'extraction des composés polyphénoliques est une étape cruciale pour la valorisation de ces principes actifs, elle dépend de la méthode et du solvant approprié qui préservent leurs propriétés biologiques (Aberkane et Bournane, 2019). De cette étude, il ressort que la décoction et l'infusion par l'eau sont les meilleures techniques d'extraction des polyphénols totaux et des flavonoïdes. Les acides phénoliques très polaires et l'ajout d'eau à l'extraction le solvant augmente la polarité et donne un meilleur rendement. Les résultats de cette étude révèlent que les feuilles de *Rhus pentaphylla* renferment des quantités importantes de composés polyphénoliques susceptibles d'avoir un pouvoir antioxydant et d'être exploités à plusieurs échelles (pharmaceutique, alimentaire, cosmétique...).

II. Détermination de l'activité antioxydante

II.1. Pouvoir Scavenger du Radical DPPH

Pour l'évaluation de l'activité antioxydante, la détermination de la réduction relative du radical DPPH à un temps ou la détermination de la quantité d'antioxydant nécessaire pour réduire 50% de DPPH a été appliquée (Popovici *et al.*, 2009). Sachant que les IC_{50} sont inversement proportionnelles à l'effet scavenger dont les valeurs faibles reflètent un effet anti-radicalaire important (Villano *et al.*, 2007). L'activité antioxydante des extraits aqueux de la décoction et de l'infusion de *R. pentaphylla* est réalisée de sorte que leurs activités sont comparées par des substances de référence qui sont connues par leurs propriétés antioxydantes telles que l'acide ascorbique (vitamine C), la catéchine et le Trolox., avec des valeurs d' IC_{50} de $0,45 \pm 0,02$; $1,05 \pm 0,01$ et $2,76 \pm 0,04$ $\mu\text{g/mL}$, respectivement.

Résultats et discussion

On observe que l'extrait qui possède le meilleur pouvoir piégeur est celui de la décoction des feuilles de *R. pentaphylla* et qui donne une valeur d'IC₅₀ de $11,4 \pm 0,1 \mu\text{g/mL}$. Ce résultat indique que la décoctée possède une activité antioxydant plus ou moins élevée comparativement à celle de l'infusion avec une valeur de $13,707 \pm 0,67 \mu\text{g/mL}$. En comparaison avec les trois antioxydants standards (acide ascorbique, la catéchine et Trolox), on a constaté que nos extraits s'avèrent moins actifs.

Une étude similaire réalisée Mansour *et al.* (2011) sur L'activité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles de *R. pentaphylla* recueillies de l'est de la Tunisie en décembre 2008 donne une valeur d'IC₅₀ de $2,91 \mu\text{g/mL}$. Cette activité est supérieure à celle trouvée par Chattaoui (2013) sur les extraits méthanoliques des feuilles et de fruit de *R. pentaphylla* récoltés le mois du mars 2009 à Msaken (Tunisie) et qui possèdent une IC₅₀ de $27,38 \pm 0,23$ et $11,52 \pm 0,08 \mu\text{g/mL}$, respectivement. Des travaux semblables ont été réalisés sur les feuilles de *R. tripartita* provenant de la même région avec une valeur d'IC₅₀ $19,72 \pm 0,06 \mu\text{g/mL}$. Ces extraits montrent une faible activité comparativement à nos résultats. De ce fait, on peut dire que les deux méthodes étudiées (décoction et infusion) présentent un pouvoir antioxydant fort. Il semble que l'activité anti-radicalaire est fortement dépendante aux concentrations des extraits, plus l'extrait est concentré, plus le pourcentage d'activité est élevé. La présente étude indique que les extraits de feuilles de *R. pentaphyllum* est dû à leur richesse en flavonoïdes et en tanins, qui auraient des effets biologiques multiples, notamment l'activité antioxydante en raison de leurs propriétés redox de leurs groupes hydroxy-phénoliques et de la relations structurelles entre les différentes parties des structures chimiques (**Riceevans et Miller, 1996**). L'activité anti-radicalaire des extraits est donc relativement dépendante de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes. En effet, Ouedraogo *et al.* (2015) ont rapporté que la concentration en polyphénols totaux est corrélée significativement avec la capacité antioxydante.

II.2.Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP)

Il s'agit d'une méthode de mesure qui montre la puissance des substances des extraits à réduire le fer ferrique Fe³⁺ en fer ferreux Fe²⁺ qui constitue l'un des mécanismes antioxydants (**Bammou et al., 2020**).

Les présents résultats montrent que la capacité de réduction du fer est proportionnelle à l'augmentation de la concentration des échantillons. Les extraits aqueux pour l'infusion et la décoction des feuilles de *R. pentaphylla* ont cependant exhibé des activités antioxydantes

Résultats et discussion

différentes avec des valeurs respectives de $13,309 \pm 0,08 \mu\text{g/ml}$ et de $11,019 \pm 0,1 \mu\text{g/ml}$ ce qui soulignent que l'activité antioxydante de l'infusion des feuilles est inférieure à celle de la décoction.

Nos résultats présentent une activité supérieure à ceux trouvées par Chetaoui *et al.* (2013) sur l'extrait méthanolique des feuilles la même espèce végétale ($10,55 \pm 2,81 \text{ mg/mL}$).

Une autre étude faite par Fadhil *et al.* (2019) sur les extraits méthanolique par macération des fruits de *R. pentaphylla* de différents stades de maturités récoltées de mars à juin 2015 à montagnes de Kroumirie, Tunisie, donnent des valeurs d'IC₅₀ de 64,36 et 81,59 $\mu\text{g/mL}$.

Le pouvoir réducteur des extraits de la plante est probablement dû à la présence de groupement hydroxyle dans les composés phénoliques qui peuvent servir comme donneur d'électron (Salehi *et al.*, 2019). Quelques études antérieures ont également montré que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle (Bougandoura et Bendimerad, 2012).

Ce processus d'autoxydation dépend de multiples paramètres tels que la concentration du polyphénol, la température, le pH, la présence d'agents complexants (Ghedadba *et al.*, 2015).

Résultats et discussion

Tableau 09. Activité antioxydante et teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux des extraits aqueux des feuilles de *R. pentaphylla*.

Activité antioxydante	Décoction	Infusion	Acide* ascorbique	Catéchine *	Trolox*
(valeurs d'IC ₅₀ en µg/mL)					
Test de DPPH	11,40 ± 0,67	13,707 ± 0,67	0,45 ± 0,02	1,05 ± 0,01	2,8 ± 0,04
Test de pouvoir réducteur	11,019 ± 0,1	13,309 ± 0,08	0,32 ± 0,01	2,9 ± 0,4	3,3 ± 0,01
Polyphénols totaux	94,92 ± 7	88,55 ± 5			
(mg/g)					
Flavonoïdes totaux	35,55 ± 0,72	30,9 ± 0,8			
(mg/g)					

* acide ascorbique, catéchine et trolox sont des substances de référence utilisées comme des témoins positifs pour l'activité antioxydante qui a été exprimée sous la forme de valeurs IC₅₀ (moyenne ± SD), ce qui signifie que plus cette valeur est faible, plus le pouvoir antioxydant est fort. IC₅₀ : la concentration d'extrait correspondant à 50% de l'activité antioxydante ou à 0.5 de l'absorbance dans le test du pouvoir réducteur. Les différentes lettres signifient des différences significatives entre les différents extraits des espèces étudiées (p < 0.05). Les valeurs des teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux sont exprimées en mg équivalent d'un standard par gde matière sèche (moyenne ± SD). Les différentes lettres signifient des différences significatives entre les différents extraits de plantes testées (p < 0.05).

Conclusion

ET

PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

Notre étude a été consacrée pour l'évaluation de l'activité antioxydante d'une plante médicinale de la flore Algérienne *Rhus pentaphylla*, Ce travail a été mené dans le cadre de l'étude du profil phytochimique et de la capacité antioxydante de cette espèce. Les techniques utilisées pour étudier l'activité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles de *R. pentaphylla* sont le dosage colorimétrique (les polyphénols, les flavonoïdes) et les tests antioxydants (le piégeage du radical libre (DPPH) et le pouvoir réducteur d'ion ferrique (FRAP)).

L'étude de l'activité anti radicalaire DPPH a montré que les extraits ayant une activité plus faible par rapport au standard acide ascorbique, catéchine et Trolox, par contre les extraits en montrant une activité plus élevée en comparissent avec d'autres études.

Pour la réduction des ions fer (FRAP), les extraits de la décoction des feuilles montrent une activité plus faible par rapport aux extraits de l'infusion. Cependant ses résultats montrent une bonne activité en comparissent avec les standards (acide ascorbique).

Les résultats du dosage des composés phénoliques et flavonoïdes, à partir des extraits obtenus, montrent que l'extrait de la décoction des feuilles de *R. pentaphylla* ayant la teneur la plus élevée, par ailleurs, l'extrait de l'infusion montre une teneur moyenne.

Ces résultats suggèrent une utilisation potentielle d'une plante comme une source des molécules bioactifs.

Dans le but de compléter ce travail, on propose :

- D'évaluer l'activité antioxydante par d'autres méthodes (blanchiment bêta carotène, et le test de TBARS).
- Tester et exploiter d'autres systèmes de solvants pour améliorer l'extraction de la plante.
- D'étudier l'activité antioxydante des huiles essentielles de ces plantes.
- D'identifier les principes actifs de ces espèces avec des méthodes chromatographiques.
- Détecter la présence des autres métabolites secondaires qui n'ont pas encore identifiés.

Références

Bibliographiques

A

- Abdel-Mawgoud, M., Khedr, .F.G., Mohammed, I.E. (2019). Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of *Rhus flexicaulis* Baker. Jordan Journal of Biological Sciences, 12(1):17-21.
- Aberkane, K., Bournane, R. (2019). Étude de l'effet de la méthode d'extraction sur la teneur en polyphénols et en flavonoïdes. Thèse de Doctorat. Université de Bouira.
- Abu-Reida, I.M., Jamous, R.M., Ali-Shtayeh, M.S.(2015). Phytochemistry, pharmacological properties and industrial applications of *Rhus Coriaria* L. (Sumac). Jordan Journal of Biological Sciences, 7:233-244.
- Abdelmalak, I. (2018). Développement d'une stratégie analytique dédiée aux dechloranes : Contribution à l'évaluation de l'exposition alimentaire et de l'imprégnation de l'homme à ces contaminants émergents. Thèse de doctorat en Biologie santé. Nantes, École nationale vétérinaire.
- Ainane, A., Khammour, F., Elkouali, M., Talbi, M., Abba, E.H., Cherroud, S., Ainane, T.(2018). Analyse chimique et activité antimicrobienne d'un bio-produit cosmétique à base d'huile essentielle de cannelle "*Cinnamomum verum*" pour le traitement des mycoses. Proceedings Biosune.
- Alaoui, A., Laariby, S., Gmira, N., Benchekroun, F. (2012). Le rôle de la femme dans le développement local et la préservation des ressources forestières, Revue Forêt méditerranéenne. XXXIII, 375P.
- Ali-Rachedi, F., Meraghni, S., Touaibia, N., Mesbah, S. (2018). Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémie algérienne *Scabiosa Atropurpureasub. Maritima* L. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 87:13-21.
- Ali, S.S., Ahsan, H., Zia, M.K., Siddiqui, T., Khan, F.H. (2020). Understanding oxidants and antioxidants: Classical team with new players. Journal of Food Biochemistry, 44(3).
- Anwer, T., Sharma, M., Khan, G., MIqbal, M., Sajid, M., Sarfaraz, A., Mohsen, S., Gupta, N. (2013). *Rhus coriaria* ameliorates insulin resistance in non- insulin-dependent diabetes mellitus (niddm) rats, 70(5):861-867.
- Aseervatham, G.S.B., Sivasudha, T., Jeyadevi, R., Ananth, D.A. (2013). Environmental factors and unhealthy lifestyle influence oxidative stress in humans-an overview. Environmental Science and Pollution Research, 20(7):4356-4369.

B

- Bahorun, T. (1997). Substances naturelles actives: La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *Food and Agricultural Research*, 83-94.
- Bammou, M., Bouhlali, E.D.T., Sellam, K., El-Rhaffari, L., Ibijbijen, J., Nassiri, L. (2020). Évaluation des activités antioxydante et antibactérienne des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de *Bituminaria bituminosa* (L.) Stirton. *Pharmacognosie*, 2020-0226.
- Barouki, R., et Morel, Y. (2001). Stress oxydant et expression des gènes. *Journal de la Société de Biologie*, 195 (4): 377-382.
- Bartosz, G. (2003). Generation of reactive oxygen species in biological systems *Comments on Toxicology*, 9:5-21.
- Beaudeau, J.L., Geneviève, D. (2011). *Biochimie médicale : Marqueurs actuels et perspectives*. 2ème édition. Lavoisier Chantal, Arpino, p 130-131.
- Belbachir, K. (2013). Étude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de *Mentharotundifolia* L. (Domrane) de la région de Tlemcen, Mémoire de Master. Université Abou Bekr Belkaid, 2P.
- Ben Ahmed, I. (2017). Activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique et ses fraction des racines de *l'Arbutus unedo*. Mémoire de Master : molécules bioactives. Université Abou Bekr Belkaïd -Tlemcen, p 1-66.
- BenBarka, Z., Aouadhi, C., Tlili, M., Alimi, H., Benmiled, H., Benrhouma, K., Sakly, M., Ksouri, R., Schneidere, J.Y., Maaroufi, A., Tebourbi, O. (2016). Evaluation of the anti-diarrheal activity of the hydromethanolic root extract of *Rhus tripartita* (Anacardiaceae), Olfa Tebourbi. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 827-834P.
- BenBarka, Z., Lahbib, K., Aouadhi, C., Ladjimi, M.H., BenMiled, H., BenRhouma, K., Sakly, M., Maaroufi, A., Schneider, Y.J., Tebourbi, O. (2019). Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of edible *Rhus tripartita* (Ucria) hydro-methanolic extracts. *Journal of Pharmacy and Pharmacology Research*, 3(3): 074-087.
- BenMansour, H., Yatouji, S., Mbarek, S., Houas, I., Delai, A et Dridi, D. (2011). Correlation between antibutyrylcholinesterasic and antioxidant activities of three aqueous extracts from Tunisian *R. pentaphyllum*. *Annals Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 10:32.

Benzie, I.F.F., et Devaki, M.(2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concept, procedures, limitations and applications. Wiley,77-107P.

Bougandoura, N., Bendimerad, N. (2012). Évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. Nature & Technologie, 9:14-19.

Bruno, B.(2020). Oxidative stress and antioxidant protections. Revue Francophone des Laboratoires, 2020 (522): 22-30.

C

Chen, D., Daniel, K.G., Kuhn, D.J., Kazi, A., Bhuiyan, M., Li, L., Wang, Z., Wan, S.B., Lam, W.H., Chan, T.K., Pou, P.Q.(2004). Green tea and tea polyphenols in cancer prevention. Frontiers in Bioscience, 9(26): 18-31.

Chetoui, I., Messaoud, C., Boussaid, M., Zaouali, Y. (2013). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content variation among Tunisian natural populations of *Rhus tripartita* (Ucria) Grande and *Rhus pentaphylla* Desf. Industrial Crops and Products, 51(2013):171-177.

Cuevas-Valenzuela, J., Vergara-Salinas, J.R., Pérez-Correa, J.R. (2016). Advances in technologies for producing food-relevant polyphenols. CRC Press, Boca Raton, 335p.

D

Daenen, K., Andries, A., Mekahli, D., Schepdael, A.V., Jouret, F., et Bammens, B. (2019). Oxidative Stress in Chronic Kidney Disease. Pediatric nephrology, 34(6): 975-991.

Davide, G.W.(2015). Encyclopedia of mind enhancing, foods, drugs and nutritional substances. Secondedi. Mcfarland & Company, Iuc, Publishers Jefferson, North Carolina, p166.

De la Rosa, Moreno-Escamilla, L.A., Rodrigo-García, O.J., Alvarez-Parrilla, J. (2019). Phenolic compounds in Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables, Elsevier, p 253-271.

Desmier, T. (2016). Les antioxydants de nos jours: définition et application. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université de Limoges, p 1-88.

- Dhanani, T., Shah, S., Gajbhiye, N.A., Kumar, S. (2017). Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*. Arabian Journal of Chemistry.
- Dieng, M., Fall, AD., Diatta, K., William D, Emmanuel B. (2015). Dosage des polyphénols et activité antioxydante de feuilles de *Borassus* (Arecaceae). International journal of Biological and Chemical sciences, 9 (1).
- Doğan, A., et Çelik, I. (2016). Healing effects of sumac (*Rhus pentaphylla*) in streptozotocin-induced diabetic rats. Pharmaceutical Biology, 54:1-11.

E

- Eddhima, Z. (2019). Les radicaux libres: Mécanisme et approches thérapeutiques. Thèse de doctorat en médecine. Université de Mohammed V- Rabat6 Maroc.1-228p.

F

- Fadhil, H., Mraïhi, F., Cherifi, J.K., Sokmen, M. (2019). Comparative study on total polyphénols content of Tunisian wild *Rhus pentaphylla* fruit and the evaluation of their biological activities. Italian Journal of Food Science, 31:224.
- 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.
- Fiedor, J., Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. Nutrients, 6(2): 466-488.
- Fournier, R.O. (1977). Géothermomètres chimiques et modèles de mélange pour les systèmes géothermiques Les liens d'auteur ouvrent le panneau de superposition.

G

- Gardès-Albert, M., Bonnefont-Rousselot, D., Abedinzadeh, Z., Jore, D. (2003). Espèces réactives de l'oxygène. L'actualité chimique, 91p.
- Ghedadba, N., Hambaba, L., Ayachi, A., Aberkane, M. C., Bousselsela, H., Oueld Moukhtar S. M. (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydant et antimicrobienne des feuilles de *Marrubium deserti* de Noé. Phytothérapie, 13:118-129.
- Ghouti, M., Halbigue, H. (2019). Simulation du pouvoir antioxydant de deux anticancéreux de la famille des antimétabolites. Mémoire de Master. Université de Djilali Bounaama - Khemis Miliana.

Guillouty, A. (2016). Plantes médicinales et antioxydants. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Toulouse III Paul Sabatier. 1-102p.

Guyot, J.L. (1992). Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Thèse de doctorat en Hydrogéochimie. Bordeaux.

H

Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.O., Charlier, C., Chapelle, J.P.(2007). Le stress oxydant. Med Liège, 62(10): 628-638.

Hameg, T., Taleb, D. (2018). Évaluation de l'activité antimicrobienne, et antioxydante des composés phénoliques du Marrube blanc «*Marrubium vulgare*». Thèse de Doctorat. Université de Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou.

Haqeeq, A., Faiyaz, A., Izharul, H., Shabbir, A. (2013). Unani description of sumaq (*Rhus coriaria Linn.*) and its scientific report. Global Journal of Medicinal Research, 13(7): 75-78P.

Harman, D. (1956). Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. Gerontology. 11: 298-300.

Hidalgo, G.I., Almajano, M. (2017). Red Fruits: Extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination. Antioxidants, 6 (1):7.

Hocine, F.M., Gorine, M.A., (2017). Évaluation de l'exposition au plomb et cadmium et impact sur quelques paramètres du statut oxydant/anti oxydant chez les ouvriers exposés aux fumées de soudage. Mémoire de Master : Toxicologie industrielle et environnementale. Université Abou Bkr Belkaid-Telemcen, 1-62p.

Huang, D., Prior, R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 6(1841-1856): 53.

I

Ighodaro, O., Metakinloye, O.A. (2018). First line defense antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defense grid. Alexandria Journal of Medicine, 54(4): 287-293.

J

- Jacquot, J.P., Dietz, K.J., Rouhier, N., Meux, E., Lallement, P.A., Selles, B., Hecker, A. (2013). Redox regulation in plants: glutathione and “redoxin” related families. In: Oxidative stress and redox regulation. Springer Science Business Media Dordrecht, 213-291.
- Jarosz, M., Olbert, M., Wyszogrodzka, G., Młyniec, K., et Librowski, T. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory effects of zinc. Zinc-dependent NF- κ B Signaling. *Inflammo pharmacology*, 25(1): 11-24.
- Jomova, K., Valko, M., (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2-3) :65-87.
- Joris., M, (2018). Le stress oxydatif, les radicaux libres et les antioxydants. [https:// www.bmoove.com/ stress-oxydatif/](https://www.bmoove.com/stress-oxydatif/)
- Jang, J.Y., Shin, H., Lim, J.W., Ahn, H., HeeJo, Y., YongLee, K., HwangSung, J., Jung, B, Kang, T., Kyeong, L.M. (2018). Comparison of antibacterial activity and phenolic constituents of bark, lignum, leaves and fruit of *Rhus verniciflua*. *Plos one*, 13(7).
- Jurenka, J.S. (2009). Anti-inflammatory properties of curcumin, a major constituent of *Curcuma longa*: A review of preclinical and clinical research. *Alternative Medicine Review*, 14:141-153.

K

- Kosar, M., Bozan, B., Temelli, F., Bazer, K., (2007). Antioxidant activity and phenolic composition of sumac (*Rhus coriaria* L.) extracts. *Journal of Food Chemistry*, 103: 952-959.
- Košinová, P., Gažák, R., Duroux, J.L., Lazzaroni, R., Křen, V., et Assfeld, X. (2011). Dimerisation process of silybin-type flavonolignans: insights from theory. *Chemistry, Physical*, 12(6): 1135-42.
- Kossah, R., Nsabimana, C., Zhao, J., Chen, H., Tian, F., Zhang, H., Chen, W. (2009). Comparative study on the chemical composition of Syrian sumac (*Rhus coriaria* L.) and Chinese sumac (*Rhus typhina* L.) fruits. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8, 1570-574.
- Kouwelton, P.F., Soro, Y., Siaka, S. (2017). Détermination des paramètres influençant le rendement d'extraction hydro-alcoolique des métabolites secondaires de *Alchornea*

cordifolia (Euphorbiaceae) et *Tridax procumbens* linn (Asteraceae). Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie ,44: 15-22.

Kim, D.O., Chun, O.K., Kim, Y.J., Moon, H.Y., Lee, C.Y.(2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51(22): 6509-6515.

Kim, S., Seo, H., Jang, B., Shin, Y., Ko, Y.(2013). The effect of *Rhus verniciflua* Stoks (RVS) for anti-aging and whitening of skin. Oriental Pharmacy and Experimental Medicine, DOI 10.1007/s13596-014-0152-8

Krinsky, N. (2001). Carotenoids as antioxydants. Nutrition, 17:815-817

Kurutas, E.B., (2016). The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state. Nutrition journal, 15(1): 71.

L

Lahsissene, H., Kahouadji, A., Tijane, M., Hseini, S. (2009) Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc occidental), Lejeunia.

Lautre, Y. (2019). Plantes, Herboristerie, Phytothérapie. La canagole.

Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., Gargiulo, G., Testa, G., Cacciatore, F., Bonaduce, D., et Abete, P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. Clinical interventions in aging, 13-757.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., et Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. Pharmacognosy Reviews, 4: 118-126.

Lonn, M.E., Dennis, J.M, Stocker, R., (2012). Actions of antioxidants “in the protection against atherosclerosis. Free Radical Biology and Medicine, 53: 863-884.

Losada-Barreiro, S., Bravo-Díaz, C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. European Journal of Medicinal Chemistry, 133: 379-40

Luczaj, W., Gegotek, A., Skrzydlewska, E., (2017). Antioxidants and HNE in redox homeostasis. Free Radicals Biology and Medicine, 111:87-101.

Lushchak, V.I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. Chemico-biological interactions, 224: 164-175.

M

- Mabberley, D. (1987). The plant book. Cambridge . England Cambridge University. Press. 858
- Mahjoub, M.A., Ammar, S., Edziri, H., Mighri, N., Bouraoui, A., Mighri, Z. (2010). Anti-inflammatory and antioxidant activities of some extracts and pure natural products isolated from *Rhus tripartita* (Ucria). Medicinal Chemistry Research, 19, 271-282.
- Manallah, A., (2012). Activités antioxydante et anticoagulante des polyphénols de la pulpe d'olive *Olea europaea* L. thèse de doctorat en Biochimie Appliquée. Université Ferhat Abbas – Sétif, p 1-132 .
- Mataix, E., de Castro, M.L. (2001). Simultaneous (or sequential) determination of the total polyphenol index (or I280) and density in wines by flow injection. Analyst, 126 (2), 251-255.
- Maulik, N., McFadden, D., Otani, H., Thirunavukkarasu, M., Parinandi, N.L., (2013). Antioxidants in longevity and medicine. Oxidative Medicine and Cellular Longevity.
- Mengal, P., Mompon, B. (1996). Procédé et installation d'extraction sans solvant de produits naturels par micro-ondes. Brevet European.
- Merhan, O.(2017). The Biochemistry and antioxidant properties of carotenoids. In Carotenoids. Dragan Cvetkovik and Goran Nikolic .IntechOpen.
- Migdal, C., Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. médecine/sciences, 4(27): 405-412.
- Miguel-Chávez, S.R., (2017). Phenolic antioxidant capacity: a review of the state of the art. Phenolic compounds: Biological activity. IntechOpen, Rijika, p 59-74.
- Mosca, L., De Marco, C., Visioli, F., Cannella, C. (2000). Enzymatic assay for the determination of olive oil polyphenol content: assay conditions and validation of the method. Journal Agricultural and Food Chemistry. 48: 297-301.
- Moussa, Z., Judeh, Z.M., Ahmed, S.A. (2019). Non enzymatic exogenous and endogenous antioxidants. In Organic Chemistry. IntechOpen.

Muazzam, A., Dalrymple, M.B., Whetton, A.D., Townsend, P.A. (2018). Can *Rhus coriaria* be a potential, natural, treatment for prostate cancer? *Cancer Science and Oncology*2, 13–18.

Mydin, R.B.S., Okekpa, S.I. (2018). Reactive oxygen species, cellular redox homeostasis and cancer. In *Homeostasis-an integrated vision*. Fernanda Lasakosvitsch and Sergio Dos Anjos Grans . IntechOpen.

N

Neve, J., Pincemail, J (2008). Antioxydants alimentaires: vitamines, oligoéléments et non-nutriments. *Aliments fonctionnels*. Lavoisier, Paris, 203-41.

Naczka, M., Shahidi, F. (2004). Extraction et analyse des composés phénoliques dans les aliments. *Journal of Chromatography*.

O

Oreopoulou, A., Tsimogiannis, D., Oreopoulou, V. (2019). Extraction of polyphenols from aromatic and medicinal plants: an overview of the methods and the effect of extraction parameters. In *Polyphenols in Plants*. Academic Press, Athens, p 243-259.

Ota, A., et Ulrich, N.P. (2017). Herbal products and secondary metabolites used for management of type two diabetes. *Frontiers Pharmacology*, 8:436.

Ouedraogo, A., Koala, M., Dabire, C., Hema, A., Bazie, V., Ouattara, L., Gnoula, C.H., Pale, E., Nebie, R. (2015). Teneur en phénols totaux et activité antioxydante des extraits des trois principales variétés d'oignons (*Allium cepa* L.) cultivées dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* .9(1): 281-291P.

Özcan, M., Haciseferogullari, H.A. (2004). condiment [*Sumac (Rhus coriaria L.)* fruits]: Some physiochemical properties. *Journal of Plant Physiology*. 30(3-4), 74-84P.

Pękal, A., et Pyrzyńska, K.(2014). Evaluation of aluminum complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*, 7(9): 1776-1782.

Pell, K., Pennington, T.R., Lavin, M., Prado, D.E., Pendry, C.A., Butterworth, A. (2004). Historical climate change and speciation: neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. *The Royal Society*.

- Peng, S. (2009). Methods and applications of antioxidant activity assays. *Pharmaceutical Bioassays: Methods and Applications*, 205-221.
- Pisoschi, A.M., Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 31:55-74.
- Poljsak, B., Jamnik, P., Raspor, P., Pesti, M. (2011). Oxidation-antioxidation-reduction processes in the cell: impacts of environmental pollution. *Encyclopedia of Environmental Health*, 300-306.
- Poljsak, B., Šuput, D., Milisav, I. (2013). Achieving the balance between ROS and antioxidants: When to use the synthetic antioxidants. *Oxydative Medicine and Cellular Longevity*, 2013: 11.
- Popovici, C., Saykova, I., Tylkowski, B. (2009). Évaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industrie*. ISSN 1313-887.
- Posnyak, A., Grechko, A., Orekhova, V., Chegodaev, Y., Wu, W., Orekhov, A. (2020). Oxidative Stress and Antioxidants in Atherosclerosis Development and Treatment. *Biology*, 9(3): 60.
- Pourahmad, J., Eskandari, M., Kamalinejad, M. (2009). A search for hepatoprotective activity of aqueous extract of *Rhus coriaria*. *Journal of Food and chemical toxicology*, 48: 854-858.

Q

- Quezel, P., Santa, S. (1962). Nouvelle flora de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome I, Ed. CNRS, Paris, p. 521, 611.

R

- Rached, W., Calhelha, R.C., Fernandes, A., Carvalho, A.M., Bennaceur, M., Marouf, A., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I.C.F.R., (2016). Phytochemical characterization and bioactive properties of *Osyris quadripartita* Salzm. ex Decne. leaves from Algeria. *Royal Society of Chemistry Advances*, 6, 76: 72768-72776
- Ray, P.D., Huang, B.W., Tsuji, Y.(2012). Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling. *Cellular signalling*, 24 (5):981-990.

- Ribeiro, D.A., Camilo, C.J., Nonato, C.D.F.A., Rodrigues, F.F.G., Menezes, I.R.A., Ribeiro-Filho, R.J., Xiao, J., Souza, A.D.M.M, Costa, J.G.M. (2020). Influence of seasonal variation on phenolic content and in vitro antioxidant activity of *Secondatia floribunda* A.DC.(Apocynaceae).Food Chemistry,315, 126277.
- Riceevans, A.C., Miller, J.N., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology and Medicine, 20(7), 933-956.
- Romero, A.C., Hernández, E.G.O., Cerón, T.F., Chávez, A.Á. (2013). The exogenous antioxidants. In Oxidative stress and chronic degenerative diseases- A role for antioxidants. IntechOpen, London.
- Roussel, A.M. (2017). Déficits en micronutriments dans le surpoids et l'obésité: conséquences métaboliques et cliniques. Nutrition Clinique et Métabolisme, 31(4):268-275.

S

- Salehi, B., Vlaisavljevic, S., Adetunji, C.O., Adetunji, J.B., Kregiel, D., Antolak, H., Pawlikowska, E., Uprety, Y., Mileski, S.K., Devkota, P.H., Sharifi-Rad, J., Das, G., Patra, K.J., Jugran, K.A., Segura-Carretero, A., Contreras, M.M. (2019). Plants of the genus *Vitis*: Phenolic compounds, anticancer properties and clinical relevance. Trends in Food Science & Technology,91, 362-379.
- Saremi, A., Arora, R.(2010). Vitamin E and cardiovascular disease. American Journal of Therapeutics, 17(3):56-65.
- Schumacker, P.T. (2015). Reactive oxygen species in cancer: a dance with the devil. Cancer Cell, 27(2): 156-157.
- Seigue, A. (1985).Forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Maisonneuve et Larose Ed. Paris, 502 p.
- Shafiei, M., Nobakht, M., Moazzam, A. (2011). Lipid-lowering effect of *Rhus coriaria*L. (sumac) fruit extract in hypercholesterolemic rats, Pharmazie, 66 (12): 988-92.
- Shahat, A., Alsaid, M., Rafatullah, S., Al-Sohaibani,M.O., Parvez, M.K., Al-Dosari, M.S., Exarchou, V., Pieters, L. (2016). Treatment with *Rhus tripartite* extract curtailsisoproterenol-elicitedcardiotoxicity and oxidative stress in rats, BMC Complementary and Alternative Medicine,16, 351.

Shakya, A.K. (2016). Medicinal plants: Future source of new drugs. *International Journal of Herbal Medicine*, 4:59-64.

Singleton, V.L., Rossi, J.A.(1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Vitic.*

Singh, A., Kukreti, R., Saso, L., Kukreti, S. (2019). Oxidative Stress: A key modulator in neurodegenerative diseases. *molecules*, 24(8): 1583.

Skrypnik, L., Grigorev, N., Michailov, D., Antipina, M., Danilova, M., Pungin, A. (2019). Comparative study on radical scavenging activity and phenolic compounds content in water bark extracts of alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), oak (*Quercus robur* L.) and pine (*Pinus sylvestris* L.). *European Journal of Wood and Wood Products*, 77(5): 879-890.

Soschi, A.M., Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97:55-74.

Soulimane, K.(2018). Étude chimique et activité antioxydante de *Rhus pentaphylla* Desf. Mémoire de master. Université de Abou-bekr belkaid-Tlemcen.

T

Tabassum, S., Ahmed, M., Mirza, B., Naeem, M., Zia, M., Shanwari, Z.K., et Khan, G.M. (2017). Appraisal of phytochemical and in vitro biological attributes of an unexplored folklore: *Rhus punjabensis* Stewart. *BMC Complement. Altern. Med*, 17:146.

Therond., P. (2006). Dommages créés aux biomolécules (lipides, protéines, ADN) par le stress oxydant. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 64: 383-389.

Tianlu, M., Barfod, A.(2008). Anacardiaceae. In *Flora of China* .Science Press, Beijing, China, 11, 335–348.

V

Valko, M., Rhodes, C.J., Moncola, J., Izakovic, M., Mazura, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160: 1-40.

Velu, S.S., Buniyamin, I., Ching, L.K., Feroz, F., Noorbacha, I., Gee, L.C. (2008). Regio- and stereo selective biomimetic synthesis of oligostilbenoid dimers from resveratrol

analogues: influence of the solvent, oxidant, and substitution. Chemistry (weinheim an der bergstrasse germany), 14(36):11376-84.

Viegi, L., Ghedira, K. (2014). Preliminary study of plants used in ethnoveterinary medicine in Tunisia and in Italy. African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicines.

Villanoa, D., Fernández-Pachóna, M.S., Moya, M.L., Troncosoa, A.M., García-Parrilla, M.C. (2007). Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. Talanta.

W

Wang, T.Y., Li, Q., et Bi, K.S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. Asian Journal of Pharmaceutical Sciences, 13(1): 12-23.

Wang, Y., Wang, G.Z., Rabinovitch, P.S., Tabas, I. (2014). Macrophage mitochondrial oxidative stress promotes atherosclerosis and nuclear factor- κ B-mediated inflammation in macrophages. Circulation Research, 114:421-433.

Weidinger, A., Kozlov, A.V. (2015). Biological activities of reactive oxygen and nitrogen species: oxidative stress versus signal transduction. Biomolecules, 5(2):472-484.

X

Xiang, J. Apea-Bah, F.B., Ndolo, V.U., Katundu, M.C., Beta, T. (2019). Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties. Food Chemistry, 275: 361-368.

Y

Yanqun, L., Dexin, K., Ying, F., Michael, R.S., Hong, W. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. Plant Physiology and Biochemistry, 148:80-89.

Yaici, K., Dahamna, S., Moualek, I., Belhadj, H., Houali, K. (2019). Evaluation of the content of phenolic compounds, antioxidant and antimicrobial properties of *Erica arborea* L. (Ericaceae) in traditional medicine of Setifian tell in the east Algerian. Pharmacognosie, DOI 10.3166/phyto-2019-0210

Yadav, A.K., Tangpu, V. (2004). Antidiarrhoeal activity of *Rhus javanica* ripen fruit extract in albino mice. Elsevier, 75(1).

Young, A., Lowe, G. (2018). Carotenoids-antioxidantproperties. Antioxidants, 7(28): 1-4