

République Algérienne Démocratique et Populaire

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

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**HADJEB A Mokhtaria**

**KADOUR BENCHRIF Wafaa**

Pour l'obtention du diplôme de

### **MASTER EN BIOLOGIE**

**Spécialité: Pharmaco-toxicologie**

#### THÈME

**Caractérisation phytochimique et activité antioxydante de trois  
plantes médicinales Algériennes**

Soutenue publiquement le 11 /07/2019

#### DEVANT LE JURY

Présidente	: DOUICHENE Salima	M.C.B,	Univ. de Mostaganem
Examinatrice	: GRAR Hadria	M.C.B,	Univ. de Mostaganem
Promoteur	: RACHED Wahiba	M.C.B,	Univ. de Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire de Pharmacognosie et Api Phytothérapie*

Année universitaire

2018-2019

## **Remerciements**

*Tout d'abord Nous remercions **monsieur le professeur Djebli Nouredinne** pour l'accueille dans son laboratoire de recherche*

*« Pharmacognosie et Api-phytothérapie »*

*Nous remercions infiniment Nos directeur de thèse **Dr.Rached wahiba**. Qui a dirigé ce travail de recherche, qu'elle a donné beaucoup de son temps pour approfondir notre travail. Merci pour vos conseils, pour la grande compétence et l'humanisme qui vous caractérisent. Vous avez tout notre respect.*

*Nous remercions au membre du jury*

*« **M<sub>me</sub> Douichene** et **M<sub>me</sub> Grar** »*

*Nous souhaitons remercier aussi L'ingénieur de laboratoire*

***M<sub>me</sub> wahiba Medjahed.***

## *Dédicace*

Je dédié ce travail

A mes parents

A mes sœurs

A toute ma famille

A mes amies

***MOKHTARIA***

## *Dédicace*

*Je dédié ce travail à Ma famille KADOUR BENCHRIF et aux  
personnes les plus chères au monde mes chers parents ;*

*A ma très chère mère Salima; Tu es l'exemple de dévouement qui n'a  
pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Et Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver t'accorder santé, longue  
vie et bonheur.*

*A mon père Mansour ; Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour  
et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est fruit de tes sacrifices qui tu as consentis pour mon  
éducation et ma formation*

*A mes frères*

*A mon binôme Mokhtaria qui a partagée avec moi les moments  
difficiles de ce travail et son famille*

*Sans oublier mes amies et a Tous ceux qui ont connus*

**WAFAA**

## Résumé

Les plantes médicinales constituent des sources naturelles importantes pour une large variété des substances bioactives. Ce travail a porté sur la valorisation de trois plantes médicinales Algériennes à savoir *Phagnalon rupestre*, *Teucrium polium* et *Zygophyllum album* afin d'estimer qualitative et quantitative en composés phénoliques, d'identifier leurs composition phytochimique en quelques métabolites secondaires ainsi d'évaluer leurs activités antioxydantes.

Un screening phytochimique de mise en évidence des principaux métabolites secondaires des plantes étudiées a été établi ainsi qu'une quantification colorimétrique des polyphénols totaux (par la méthode de Folin-Ciocalteu), des flavonoïdes totaux (par la méthode au trichlorure d'aluminium), des tanins condensés (par la méthode à la vanilline) et des tanins hydrolysables (par la méthode de chlorure ferrique). La détermination quantitative a détecté que l'extrait aqueux de *T. polium* et de *P. rupestre* sont les plus riches en polyphénols totaux ( $105,21 \pm 2,5$ ;  $90,97 \pm 1,7$  mg/g, respectivement), en flavonoïdes totaux ( $94,63 \pm 0,5$ ;  $71,73 \pm 0,7$  mg/g, respectivement), en tanins condensés ( $1,33 \pm 0,2$ ;  $1,19 \pm 0,5$  mg/g, respectivement) et en tanins hydrolysables ( $22,79 \pm 0,7$ ;  $20,4 \pm 0,7$  mg/g, respectivement). Cependant, l'extrait aqueux de *Z. album* présente des concentrations les plus faibles. Les résultats de tests phytochimiques de trois extraits par des réactions de coloration montrent la présence de divers composés phytochimiques avec prédominance des polyphénols.

Simultanément à l'analyse phytochimique, l'activité antioxydante des extraits aqueux a été testée in vitro par trois tests différents: le test d'une action anti-radicalaire vis-à-vis le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH); le test de pouvoir réducteur (FRAP) et le test d'une action inhibitrice de blanchiment de  $\beta$ -carotène. Les extraits ont montré un fort pouvoir antioxydant par le test de DPPH avec des  $IC_{50}$  variant entre  $13,53 \pm 0,01$   $\mu$ g/mL pour *T. polium*, et  $572,8 \pm 0,1$   $\mu$ g/mL pour *Z. album*. Concernant le test de FRAP, les valeurs d' $IC_{50}$  varient entre  $42,6 \pm 0,001$  chez *T. polium* et  $741,9 \pm 0,02$   $\mu$ g/mL chez *Z. album*. Pour le test de  $\beta$ -carotène, les extraits aqueux de *T. polium* et de *P. rupestre* montrent les activités les plus élevées comparativement à la substance authentique de Trolox et donnent respectivement d' $IC_{50}$  de  $5,24 \pm 0,005$  et  $5,35 \pm 0,005$   $\mu$ g/mL. Ils sont, de ce fait, une source des antioxydants naturels. L'activité antioxydante puissante enregistrée chez *T. polium* et *P. rupestre* pourrait être liée à leurs hautes teneurs en composés phénoliques.

**Mots clés:** *Teucrium polium*, *Phagnalon rupestre*, *Zygophyllum album*, Antioxydants, DPPH, FRAP,  $\beta$ -carotène, polyphénols, flavonoïdes, tanins

## Abstract

Medicinal plants are important natural sources for a wide variety of bioactive substances. This work focused on the valorization of three Algerian medicinal plants namely *Phagnalon rupestre*, *Teucrium polium* and *Zygophyllum album* for qualitative and quantitative estimation of phenolic compounds, identification of their phytochemical composition in some secondary metabolites, and their antioxidant activities estimation.

A screening study for the main secondary metabolites of the studied plants was established, as well as a colorimetric quantification of the total polyphenol contents (by the Folin-Ciocalteu method), total flavonoid contents (by the aluminum trichloride method), condensed tannins (by the vanillin method) and hydrolysable tannins (by the ferric chloride method). The quantitative determination detected in the aqueous extract of *T. polium* and *P. rupestre* demonstrated the higher contents in polyphenols ( $105,21 \pm 2,5$  ;  $90,97 \pm 1,7$  mg/g, respectively), in flavonoids ( $94,63 \pm 0,5$  ;  $71,73 \pm 0,7$  mg/g, respectively), in condensed tannins ( $1,33 \pm 0,2$  ;  $1,19 \pm 0,5$  mg/g, respectively), and in hydrolysable tannins ( $22,79 \pm 0,7$  ;  $20,4 \pm 0,7$  mg/g, respectively). However, the aqueous extract of *Z. album* contains the lowest concentrations. The results of phytochemical assays by coloring reaction methods for the studied extracts show the presence of various phytoconstituants with predominance of polyphenols.

Simultaneously with the phytochemical analysis, the antioxidant activity of the aqueous extracts was tested in vitro by three different tests: the anti-radical action against the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH), the reductive power assay (FRAP), and  $\beta$ -carotene assays. The extracts showed a strong antioxidant power with the DPPH assay with  $EC_{50}$  vary between  $13,53 \pm 0,01$   $\mu\text{g/mL}$  for *T. polium*, and  $572,8 \pm 0,1$   $\mu\text{g/mL}$  for *Z. album*. Regarding the FRAP assay, the  $EC_{50}$  values vary between  $42,6 \pm 0,001$  in *T. polium* and  $741,9 \pm 0,02$   $\mu\text{g/mL}$  in *Z. album*. For the  $\beta$ -carotene assay, the aqueous extracts of *T. polium* and *P. rupestre* show the highest activity compared to the authentic substance of Trolox and give  $EC_{50}$  value of  $5,24 \pm 0,005$  and  $5,35 \pm 0,005$   $\mu\text{g/mL}$ , respectively. They are, therefore, a source of natural antioxidants. The potent antioxidant activity of *T. polium* and *P. rupestre* may be related to their high levels of phenolic compounds. The active effect of these plants suggested that these species could be used in the food, cosmetic and pharmaceutical industry fields.

**Key words:** *Teucrium polium*, *Phagnalon rupestre*, *Zygophyllum album*, Antioxidants, DPPH, FRAP,  $\beta$ -carotene, polyphenols, flavonoids, tannins.

## ملخص

النباتات الطبية هي مصادر طبيعية مهمة لمجموعة واسعة من المواد النشطة بيولوجيا. ركز هذا العمل التجريبي على تثمين ثلاثة نباتات طبية جزائرية *Teucrium polium*; *Zygophyllum album*; *Phagnalon rupestre* التقدير النوعي والكمي للمركبات الفينولية وتحديد مكوناتها الكيميائية في بعض مركبات الأيض الثانوية وتقييم النشاط المضاد للأوكسدة.

تم إجراء فحص كيميائي نباتي لمركبات الأيض الثانوية الرئيسية للنباتات التي تمت دراستها ، بالإضافة إلى التقدير الكمي اللوني الكلي لمتعدد الفينول (باستخدام طريقة Folin-Ciocalteu) ، التقدير الكمي الكلي للفلافونويدات (بواسطة طريقة ثلاثي كلوريد الألمينيوم) ، الدباغ المكثفة (بطريقة الفانيلين) والدباغ القابلة للتحلل (بواسطة طريقة كلوريد الحديد) حيث أن التقدير الكمي للمستخلص المائي لـ *T. polium* و *P. rupestre* هو الأعلى في متعدد الفينول الكلي (105,21±2,5 ; 90,97±1,7 ملغ/غ، على التوالي)، في الفلافونويدات الاجمالية (94,63±0,5 ; 71,73±0,7 ملغ/غ ، على التوالي) ، بالنسبة لتركيز الدباغ المكثفة (1,33±0,2 ; 1,19±0,5 ملغ / غ ، على التوالي) والدباغ القابلة للتحلل. (22,79±0,7 ; 20,4±0,7 ملغ / غ ، على التوالي). ومع ذلك، فإن المستخلص المائي لـ *Z. album*. يحتوي على أقل التركيزات. تُظهر نتائج الاختبارات الكيميائية النباتية لثلاثة مستخلصات بتفاعلات التلوين وجود مواد كيميائية نباتية مختلفة مع بروز كمي لمتعدد الفينول.

بالتزامن مع التحليل الكيميائي النباتي ، تم اختبار النشاط المضاد للأوكسدة في المستخلصات المائية من خلال ثلاثة اختبارات مختلفة: اختبار العمل المضاد للجذر 2،2-ثنائي فينيل-1 بيكريل هيدرازيل (DPPH)؛ اختبار القوة الاختزالية (FRAP) واختبار عمل مثبط لتبييض-β-كاروتين.

أظهرت المستخلصات أن قوة مضادات الأوكسدة أكبر عن طريق اختبار DPPH مع  $IC_{50}$  تتراوح بين 13,53±0,01 ميكروغرام/مل في *T. polium* ، و 572,8±0,1 ميكروغرام/مل في *Z. album*. فيما يتعلق باختبار FRAP ، تتراوح قيم  $IC_{50}$  بين 42,6±0,001 في *T. polium* و 741,9±0,02 ميكروغرام/مل في *Z. album*. بالنسبة لاختبار β-كاروتين ، تُظهر المستخلصات المائية ان *T. polium* و *P. rupestre* أعلى نشاط وتقدر  $IC_{50}$  ب 5,24±0,005 و 5,35±0,005 ميكروغرام/مل على التوالي مقارنةً مع ترولوكس. ، بالتالي فهي تعد مصدرا لمضادات الأوكسدة الطبيعية. قد يكون نشاط مضادات الأوكسدة أعلى في *T. polium* و *P. rupestre* متعلقاً بمستوياتهم العالية من المركبات الفينولية. بما ان التأثير فعال لهذه النباتات يمكن استخدامها في الصناعات الغذائية ومستحضرات التجميل والصناعات الدوائية.

## الكلمات المفتاحية

مضادات الأوكسدة، متعدد الفينول، الفلافونويدات، الدباغ، β كاروتين، DPPH، FRAP، *Phagnalon rupestre* ، *Zygophyllum album*، *Teucrium polium*،

## Liste des abréviations

<b>% :</b>	Pourcentage
<b>°C :</b>	Degré Celsius
<b>µg :</b>	Microgramme
<b>µl :</b>	Microlitre
<b>CAT :</b>	Catalase
<b>Cm :</b>	Centimètre
<b>DPPH :</b>	2.2.diphenyl-1- picrylhydrazyl
<b>FRAP :</b>	ferric reducing-antioxidant power assay
<b>g :</b>	Gramme
<b>GPx :</b>	Glutathion peroxydase
<b>h :</b>	Heure
<b>HOCl :</b>	Acide hypochlorique
<b>IC50 :</b>	concentration inhibitrice de 50
<b>LOO<sup>•</sup> :</b>	Lipidique peroxyde
<b>m :</b>	Mètre
<b>M :</b>	Masse
<b>mg :</b>	Milligramme
<b>min :</b>	Minute
<b>mL :</b>	Millilitre
<b>mM :</b>	Milli mole
<b>NADH :</b>	Nicotinamide adénine dinucléotide réduit
<b>nm :</b>	Nanomètre
<b>O<sub>2</sub><sup>•-</sup> :</b>	Anion superoxyde
<b>OH<sup>•</sup> :</b>	Radical hydroxyle



**RNS :** Reactive Nitrogen Species

**RO<sup>•</sup> :** Radical alkoxy

**ROO<sup>•</sup> :** Radical peroxy

**ROOH :** Peroxyde organique

**ROS :** Reactive Oxygen Species

**SOD :** Superoxyde dismutase

**T :** Temps

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> <i>P. rupestre</i> (L.) D.....	<b>6</b>
<b>Figure 02.</b> <i>T. polium</i> L.....	<b>7</b>
<b>Figure 03.</b> <i>Z. album</i> L.....	<b>10</b>
<b>Figure 04.</b> Action des antioxydants au cours du métabolisme des espèces réactives .....	<b>14</b>
<b>Figure 05.</b> Structure chimique d'un polyphénol de synthèse .....	<b>17</b>
<b>Figure 06.</b> Structure de quelques caroténoïdes.....	<b>19</b>
<b>Figure 07.</b> Classification des polyphénols.....	<b>21</b>
<b>Figure 08.</b> Poudres des parties aériennes séchées des plantes étudiées.....	<b>31</b>
<b>Figure 09.</b> Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux. ....	<b>33</b>
<b>Figure 10.</b> Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux. ....	<b>35</b>
<b>Figure 11.</b> Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des tanins condensés.....	<b>36</b>
<b>Figure 12.</b> Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage des tanins hydrolysables..	<b>37</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Différents types des espèces réactives.....	<b>12</b>
<b>Tableau 02.</b> Différents systèmes enzymatiques d'antioxydants et leurs principales propriétés. .....	<b>14</b>
<b>Tableau 03.</b> Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions. ....	<b>15</b>
<b>Tableau 04.</b> Propriétés antioxydantes de quelques vitamines antioxydantes.....	<b>18</b>
<b>Tableau 05.</b> Principales classes des non flavonoïdes et leurs structures).....	<b>22</b>
<b>Tableau 06.</b> Principales classes des flavonoïdes et leurs structures) .....	<b>24</b>
<b>Tableau 07.</b> Méthodes utilisées pour identifier quelques groupes phytochimiques.....	<b>38</b>
<b>Tableau 08.</b> Le rendement d'extraction (%) des plantes étudiées.....	<b>48</b>
<b>Tableau 09.</b> Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins condensés et hydrolysables des extraits aqueux de trois plantes étudiées. ....	<b>51</b>
<b>Tableau 10.</b> Résultats de test phytochimique des extraits des plantes étudiées. ....	<b>53</b>
<b>Tableau 11.</b> Activité antioxydante des extraits aqueux de trois plantes étudiées mesurée par trois méthodes différentes. ....	<b>58</b>

# Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction** ..... 1

## **PARTIE I RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE**

I.	Monographie des plantes étudiées.....	4
I.1	<i>Phagnalon rupestre</i> (L.) DC.....	4
I.1.1	Position systématique .....	4
I.1.2	Noms vernaculaires et synonymes .....	5
I.1.3	Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat.....	5
I.1.4	Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques .....	5
I.1.5	Composition chimique de l'espèce.....	6
I.2	<i>Teucrium polium</i> L. ....	6
I.2.1	Place de <i>T. polium</i> dans la systématique botanique .....	6
I.2.2	Noms vernaculaires et synonymes .....	7
I.2.3	Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat.....	7
I.2.4	Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques .....	8
I.2.5	Composition chimique de l'espèce.....	9
I.3	<i>Zygophyllum album</i> L. ....	9
I.3.1	Position systématique .....	9
I.3.2	Noms vernaculaires et synonymes .....	9
I.3.3	Description botanique, distribution géographique et habitat.....	10
I.3.4	Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques .....	10
I.3.5	Phytochimie de la plante .....	11
II.	Généralités sur l'oxydation et les antioxydants.....	11
II.1	Radicaux libres et espèces réactives .....	12
II.2	Antioxydants.....	13
II.2.1	Définition .....	13
II.2.2	Classification.....	13
II.3	Méthodes d'évaluation des propriétés antioxydantes.....	27

## **PARTIE II MATERIEL ET METHODE**

I.	Équipement, solvants, réactifs et standards utilisés .....	30
II.	Matériel végétal.....	30
III.	Méthodes d'étude .....	31
III.1	Extraction et préparation des extraits.....	31
III.2	Évaluation de rendement d'extraction .....	32
III.3	Analyses phytochimiques .....	32
III.3.1	Dosage colorimétrique des composés phénoliques .....	32
III.3.2	Screening phytochimique par des réactions de coloration .....	37
III.4	Détermination de l'activité antioxydante .....	42
III.4.1	Pouvoir scavenger du radical DPPH .....	42
III.4.2	Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP) .....	43
III.4.3	Test de blanchissement de $\beta$ -carotène / acide linoléique .....	44
IV.	Étude statistique .....	45

## **PATIE III RESULTATS ET DISCUSSIONS**

I.	Extraction et caractérisation phytochimique .....	47
I.1	Rendements d'extraction .....	47
I.2	Analyses phytochimiques des extraits étudiées .....	48
I.2.1	Dosage colorimétrique des composés phénoliques .....	48
I.2.2	Screening phytochimique .....	51
II.	Détermination de l'activité antioxydante .....	53
II.1	Piégeage du radical libre DPPH .....	53
II.2	Pouvoir réducteur de l'ion ferrique (FRAP) .....	55
II.3	Test de blanchiment de $\beta$ -carotène / acide linoléique.....	56
	<b>Conclusion</b> .....	60
	<b>Références bibliographiques</b> .....	63

# **INTRODUCTION**

Les espèces réactives oxygénées sont produits dans les cellules de manière permanente par divers mécanismes physiologiques et elles sont indispensables pour l'organisme (Halliwell et Gutteridge, 2015). Cette production physiologique est équilibrée par des systèmes de défense antioxydants. Un déficit en antioxydants ou par suite d'une surproduction de radicaux sont conduits à un stress oxydatif (Halliwell, 2012). Ces espèces réactives peuvent endommager les biomolécules telles que les protéines, les lipides et l'ADN et peuvent donc provoquer de nombreuses maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson, Huntington), diabète et cancer (Halliwell, 2012; Carocho *et al.*, 2013). Durant ces dernières années, de nombreuses études scientifiques ont été établies sur les vertus thérapeutiques des plantes médicinales; qui fournissent une protection contre les maladies associées au stress oxydatif; dont le but de rechercher de nouvelles molécules bioactives alternatives aux substances chimiques synthétiques qui présentent des effets néfastes sur la santé humaine (Ahmad *et al.*, 2017; Blanco et Blanco, 2017; Ighodaro et Akinloye, 2018 ). Les métabolites secondaires présentent un groupe important des substances naturelles, en particulier les composés phénoliques (acides phénoliques, coumarines, flavonoïdes et tanins), les alcaloïdes et les terpénoïdes qui possèdent un intérêt considérable dans l'industrie alimentaire, en cosmétologie et en pharmacologie (Zillich *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2017; Tanase *et al.*, 2019). La consommation des polyphénols est devenu de plus en plus privilégié grâce à leur propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires (Mohamed, 2014; Soto-Hernández *et al.*, 2017; Vega *et al.*, 2018), antidiabétiques (Dias *et al.*, 2017), antimicrobiennes (Cushnie *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2019), anti-ulcéreuses (Vimala *et al.*, 2014), anti-cancérigènes et anti-mutagènes (Basli *et al.*, 2017; Prakas *et al.*, 2018).

L'Algérie, par sa situation géographique particulière, reconnue par une végétation riche et diversifiée. La valorisation des plantes médicinales fait l'objet de plusieurs études en vue d'exploiter leurs extraits ou leurs principes actifs. Le choix des plantes est justifié d'une part par le caractère endémique de la plupart des plantes investiguées, et d'autre part, par une recherche bibliographique qui a révélé qu'il y a un nombre restreint de rapports scientifiques pour certaines espèces. Dans ce contexte, les objectifs visés à travers cette étude sont à étudier l'activité antioxydante de trois plantes médicinales à savoir des parties aériennes de *Phagnalon rupestre*, *Teucrium polium* et *Zygophyllum album* in vitro par trois tests: DPPH, FRAP et  $\beta$ -carotène, aussi à établir une étude phytochimique de différents métabolites secondaires par des réactions de coloration ainsi à estimer spectrophotométriquement des composés phénoliques. De ce fait, cette étude comporte trois parties:

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique, qui y a introduit une description botanique de chacune de ces plantes et une présentation détaillée de la phytochimie rapportée dans la littérature. Leurs utilisations en médecine traditionnelle ainsi que leurs propriétés thérapeutiques y sont aussi décrites. Ce chapitre présente également des généralités sur les oxydants suivie par des définitions sur les antioxydants, leurs classification et leurs mécanismes d'action ainsi qu'une citation de méthodes utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante.

La seconde partie concerne la partie expérimentale qui est consacrée à la description du matériel utilisé et les méthodes procédées dans ce travail désignant la méthode d'extraction réalisée, les méthodes qualitatives et quantitatives des principaux métabolites secondaires ainsi les techniques *in vitro* de l'activité antioxydante.

La troisième partie regroupe l'ensemble des résultats obtenus lors des études de la phytochimie des espèces végétales et de leurs activités antioxydantes et qui seront suivis d'une discussion. Enfin nous avons terminés ce travail par une conclusion ainsi que des perspectives.



**RAPPEL**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I. Monographie des plantes étudiées

Historiquement, les plantes ont été souvent sélectionnées pour des programmes de développement de médicaments car soit elles contiennent des classes spécifiques de composés, tels que les alcaloïdes, les composés phénoliques et les terpénoïdes, dont on connaît leurs activités biologiques, soit en raison de leurs utilisations médicinales traditionnelles (**Atanasov et al., 2015**).

Les plantes médicinales sont utilisées dans le monde entier, et les réglementations définissant leur utilisation correcte, telles que l'identification des espèces appropriées et la vérification de la présence de la pureté et de la concentration requise des composés chimiques, sont largement reconnues (**Palhares et al., 2015**). Dans le monde, Il est estimé qu'il existe d'environ 70.000 espèces de plantes médicinales, utilisées comme des produits pharmaceutiques ou cosmétiques (**Jamshidi-Kia et al., 2018**).

Cependant, La flore algérienne renferme environ plus de 3000 espèces, dont 15% sont endémiques, reste entre-elles très peu explorées sur le plan phytochimique ainsi que pharmacologique (**Quezel et Santa, 1963; Arab et al., 2014**). Dans ce qui suit, nous présentons la monographie de trois plantes médicinales appartiennent de trois différentes familles à savoir *Phagnallon rupestre* (L.) DC. (Asteraceae), *Teucrium polium* L. (p.p.) (Lamiaceae) et *Zygophyllum album* L. (Zygophyllaceae).

### I.1 *Phagnallon rupestre* (L.) DC.

#### I.1.1 Position systématique (APG III, 2009)

Règne	: Plantae
Embranchement	: Phanérogames ou Spermaphytes
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Magnoliopsida
Sous classe	: Asteridae
Ordre	: <i>Asterales</i>
Famille	: <i>Asteraceae</i>
Genre	: <i>Phagnallon</i>
Espèce	: <i>Phagnallon rupestre</i> (L.) DC.

### I.1.2 Noms vernaculaires et synonymes (Quezel et Santa, 1962; Duret, 2011)

- Synonyme: *P. tenorii* Presl.; *P. spathulatum*
- Nom arabe/ Berbère: Foddia, Arfedj, lamâ,(لامة)
- Nom français: Phagnalon des rochers
- Nom anglais: Rock Phagnalon
- Nom maltais: Lixka tal-blat

### I.1.3 Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat

C'est une espèce suffrutescente de 5-40 cm à inflorescence monocéphale, à tiges ramifiées et souvent sont ligneuses couchées à la base et à rameaux ascendants, en touffes denses. Les feuilles sont spatulées, oblongues-lancéolées, velus souvent plus ou moins laineux, blanches-tomenteuses en dessous, vertes ou un peu tomenteuses en dessus, les inférieures sont planes, et les supérieures sont étroites, presque linéaires, à bords roulés en dessous, ordinairement ondulées sur les bords. Capitule à bractées non ondulées de l'involucre glabres, scarieuses. Ainsi, les extérieures sont ovales et obtuses, alors que les intérieures sont oblongues. Les fleurs sont jaunes (Ozenda, 2004; Quezel et Santa, 1962).

Elle se pousse dans les rochers, les éboulis calcaires, murs de la région méditerranéenne, des Alpes-Maritimes aux Pyrénées centrales, Drome, l'Ardèche et l'Aveyron, Corse, Espagne, Italie, Malta et sud du Portugal (Quezel et Santa, 1962; Duret, 2011).

### I.1.4 Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques

Toute la plante est largement utilisée pour traiter l'asthme, les maux de tête et comme analgésique pour les maux de dents (Ali-Shtayeh *et al.*, 1998). Cependant, aucun rapport n'a été effectué sur les activités biologiques de cette espèce. Seulement, Peu d'études récentes ont été effectuées sur les autres espèces de *Phagnalon*. Cependant, Conforti *et al.* (2010) ont été démontrés l'activité antioxydante, anti-acétylcholinestérase et anti-inflammatoire des parties aériennes de l'extrait méthanolique de *Phagnalon saxatile*. De même, l'activité antioxydante, anti-acétylcholinestérase, anti-butrylcholinestérase, anti-lipoxygénase, et anti-tyrosinase ont été précédemment signalées par Orhan *et al.*, (2013).

La propriété antimicrobienne des extraits aqueux et éthanolique de cette plante a été illustrée contre les bactéries à gramme positives et négatives (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, et *Klebsiella pneumoniae*) et contre *Candida albicans* (Ali-Shtayeh *et al.*, 1998).

### I.1.5 Composition chimique de l'espèce

Des enquêtes phytochimiques ont été établies sur cette espèce, soulignées la présence des flavonoïdes (lutéoline-7-*O*-bêta-glucoside et lutéoline-7-*O*-bêta-glucuronide), des glycosides de prenylhydroquinone et d'hydroquinone, des dérivés d'acide caféoylquinique et des huiles essentielles (Góngora *et al.*, 2002; Orhan *et al.*, 2013).



Figure 01. *P. rupestre* (L.) DC. (<https://sites.google.com/site/floremisserghin/>)

## I.2 *Teucrium polium* L.

### I.2.1 Place de *T. polium* dans la systématique botanique selon APG III, 2009

Règne	: Plantae
Embranchement	: Spermatophyta
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Astéridées
Sous classe	: Lamiidées
Ordre	: Lamiales
Famille	: Lamiaceae
Genre	: <i>Teucrium</i>
Espèce	: <i>T. Polium</i> L. (p.p.)

**I.2.2 Noms vernaculaires et synonymes (Quezel et Santa, 1962; Rameau *et al.*, 2008)**

- Synonyme: *Chamaedrys polium* (L.) Raf.; *Monochilon tomentosus* Dulac; *Teucrium commune* Rouy
- Nom arabe/ Berbère: Kayatta, Djaâda ou Gattaba (Algérie), Timzourin (Berbère-Algerie), Takmazzut (Touaregs-Algerie), Jaaida (Algérie et Maroc), Elgaslam et Elhelal (Yémen), Hachichet elrih (Liban) (جمعيدة)
- Nom français: Germandrée tomenteuse
- Nom anglais: Felty germander, Ezovion



Figure 02. *T. polium* L. (<https://sites.google.com/site/floremisserghin/>)

**I.2.3 Caractères morphologiques, distribution géographique et habitat**

Cette plante est vivace herbacée, parfumée, très polymorphe et velue-laineuse, à tiges nombreuses et ramifiées. Les feuilles sont petites, opposées ou en touffes, à très court pétiole, entières ou faiblement crénelées sur les bords, tomenteuses enroulées et blanchâtres en dessous. Les fleurs sont blanches ou jaunâtres, en grappes denses au sommet des rameaux (Ozenda, 2004; Quezel et Santa, 1962). Le calice est vert-grisâtre, la corolle est blanche, les inflorescences en têtes compactes. Le fruit est constitué de quatre parties brunes et orné en réseau à sa surface (Rameau *et al.*, 2008).

C'est une espèce méditerranéenne commune dans les régions d'Europe et de l'Afrique du Nord qui se prédomine particulièrement en Algérie, au Maroc et en Tunisie. En Algérie, elle se localise dans la région du Tell, les Hauts plateaux, l'Atlas saharien, les montagnes du Hoggar, elle se trouve peu au Sahara septentrional et au Tassili. Elle pousse dans les lieux arides, rocailleux, éboulis et sableux, surtout dans les lits pierreux des oueds et dans les roches en altitude entre 1200 et 2600 m (Ozenda, 2004; Sahki et Sahki, 2004; Quézel et Santa, 1963).

#### I.2.4 Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques

En médecine traditionnelle, la décoction des parties aériennes de *Teucrium polium* est employée pour les maux de tête, les désordres gastro-intestinaux tels que la colite. Elle est également utilisée comme analgésique, anorexiques, antipyrétique, cholagogue, fébrifuge, tonique, vermifuge et antispasmodique (Bellakhdar, 1997; De Marino *et al.*, 2012; El Ajjouri *et al.*, 2013; Meguellati *et al.*, 2018).

Les feuilles sont légèrement poivrée, étaient couramment utilisées pour préparer le thé et pour épicer les salades et les fromages de chèvres (Meguellati *et al.*, 2018).

Plusieurs recherches ont démontré certains effets pharmacologiques de *Teucrium polium* comme un agent antioxydant (De Marino *et al.*, 2012), antibactérienne (Fertout-Mouri *et al.*, 2016), anti-inflammatoire (Rahmouni *et al.*, 2017), anti-nociceptive (Zendehdel *et al.*, 2011), stimulante et sternutatoire (Rameau *et al.*, 2008), antispasmodique (Abadian *et al.*, 2017), antidiabétique (Sabet *et al.*, 2013; Mousavi *et al.*, 2015), diurétique (Malki et Yahia, 2014); hypolipidémique (Safaeian *et al.*, 2015), antifongique (Othman *et al.*, 2017); et cytotoxique (Movahedi *et al.*, 2014). Récemment, L'activité anticancéreuse est aussi approuvée. Ainsi, l'extrait hydro-éthanolique des racines de *T. polium* possèdent une bonne activité anticancéreuse *in vitro* contre deux lignées de cellules cancéreuses humaines adénocarcinome de sein (MCF7) et adénocarcinome du foie (HepG2) (El-Naggar *et al.*, 2018). Par conséquent, d'autres investigations seront nécessaires pour identifier les composants bioactifs responsables de telles actions afin d'élucider leur efficacité thérapeutique.

### I.2.5 Composition chimique de l'espèce

Plusieurs travaux ont été menés sur les différentes classes phytochimiques de cette espèce. Subséquemment, Des études ont été faites ont montré que les huiles essentielles de la partie aérienne de *T. polium* sont caractérisées par une richesse en sesquiterpènes (El Hilaly *et al.*, 2003, 2006, 2007; Elmasri *et al.*, 2014a; Elmasri *et al.*, 2016; El Atki *et al.*, 2019).

Les différentes investigations chimiques ont été également exhibées que cette plante possède des phényl-propanoïdes glycosides, des iridoïdes glycosides, des flavonoïdes, des saponines glycosides à base de triterpénoïdes et stéroïdes (Ali *et al.*, 2011; De Marino *et al.*, 2012; Elmasri *et al.*, 2014b, Elmasri *et al.*, 2015a,b; El-Naggar *et al.*, 2018), des diterpènes, des sesquiterpènes (Cozzani *et al.*, 2005), et des monoterpènes (Wassel et Ahmed, 1974).

## I.3 *Zygophyllum album* L.

### I.3.1 Position systématique (APG III, 2009)

Règne	: Plantae
Embranchement	: Phanérogames ou Spermaphytes
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Magnoliopsida
Sous classe	: Rosidae
Ordre	: Sapindales
Famille	: Zygophyllaceae
Genre	: <i>Zygophyllum</i>
Espèce	: <i>Zygophyllum album</i> L.

### I.3.2 Noms vernaculaires et synonymes

- Synonyme: *Tetraena alba* (L. f.) Beier & Thulin
- Nom arabe: Agga, Aggaya; Bou gribá; Haaka (عقاية)



**Figure 03.** *Z. album* L. (Kchaou *et al.*, 2016)

### **I.3.3 Description botanique, distribution géographique et habitat**

C'est une espèce halophyte, endémique Saharo-méditerranéenne connue sous le nom arabe «Aggaya». C'est une plante vivace herbacée et comestible, en petit buisson à tige très ramifiée, pouvant dépasser les 50 cm de haut et 1 m, d'une couleur verte blanchâtre. Les feuilles sont opposées et composées à deux folioles charnues à stipules épineuses. Les fleurs petites sont blanchâtres. Les fruits sont dilatés en cinq lobes au sommet. Le pédoncule est fructifère bien plus court que le fruit, la partie libre des carpelles est aussi longue que la partie soudée. C'est une espèce est répandue dans les déserts, les terrains salés ou gypseux. Elle est commune dans les régions du sud-algérien, sud-tunisien, Sud d'Afrique, Égypte, Palestine et Arabie saoudite. (Ozenda, 2004; Alzahrani et Albokhari, 2017).

### **I.3.4 Propriétés pharmacologiques et usages thérapeutiques**

En Algérie, toutes les patries de *Z. album* sont employées traditionnellement en décoction pour traiter le diabète, les coliques, la goutte, l'hypertension, les spasmes, les rhumatismes, les problèmes hépatiques, les troubles gastriques et les dermatoses. La décoction de parties aériennes est également utilisée comme agent diurétique, antihistaminique et analgésique. La poudre de parties aériennes est utilisée, en usage externe, pour les brûlures et l'eczéma (Hammiche et Maiza, 2006).



Plusieurs études pharmacologiques et cliniques sur cette espèce ont été montrées leurs vertus pharmaceutiques. Les activités anti-acétylcholinestérases, antibactériennes, anticancéreuses, anti-diarrhéiques, antifongiques, anti-inflammatoires, antioxydantes, anti-hypoglycémiques, anti-hyperlipidémiques et antipaludiques de différents extraits de cette espèce algérienne ont été précédemment décrites (**Atta et Mouneir, 2004; El Ghouli et al., 2011, 2012; Ksouri et al., 2013, Kchaou et al., 2016**).

### I.3.5 Phytochimie de la plante

Les propriétés phytothérapeutiques de cette plante sont directement liées à la présence de différents composés phytochimiques de métabolites secondaires, tels que les huiles essentielles de parties aériennes (obtenues par extraction hydro-distillation), les saponines triterpénoïdes, les stérols, les triterpènes glycosidiques et les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes comme la quercétine, la quercétine 3-*O*-rutinoside et isorhamnétine 3-*O*-rutinoside (**Hani et al., 1995; Hussein et al., 2011; Ksouri et al., 2013**).

## II. Généralités sur l'oxydation et les antioxydants

L'oxydation c'est un processus indispensable dans le métabolisme des cellules aérobies de l'organisme pour la production des espèces réactives dérivées de l'oxygène (**Sarr et al., 2015**). Chaque cellule du corps humain maintient une homéostasie entre les oxydants et antioxydants. Ainsi, 1 à 3% de l'apport pulmonaire en oxygène chez l'homme est converti en E.R.O. Dans des conditions de métabolisme normal, la formation continue de ROS et d'autres radicaux libres est importante pour les fonctions physiologiques normales telles que la génération d'ATP, les divers processus cataboliques et anaboliques et les cycles d'oxydoréduction cellulaires (**Rahal et al., 2014**).

L'organisme doit confronter et contrôler la présence des antioxydants et des pro-oxydants continuellement, ces derniers sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable. Le stress oxydant est le terme se rapportant au déséquilibre entre la génération excessive des espèces radicalaires toxiques «les oxydants» et l'activité des systèmes de défense antioxydants, qui pourrait mener aux dommages oxydatifs (**Ríos-Arrabal et al., 2013**). Sous certaines conditions, un déséquilibre provoqué soit par une production excessive des radicaux libres soit par une diminution des défenses antioxydantes sous l'effet de certains stimuli exogènes (polluants environnementaux, tabagisme...) ou endogène. On parle alors de stress oxydant à l'origine d'altérations moléculaires attaché à de nombreux processus pathologiques

comme l'athérosclérose, l'inflammation, les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et le cancer (Phaniendra et al., 2015).

## II.1 Radicaux libres et espèces réactives

Un radical libre est définie comme étant une molécule qui possède un ou plusieurs électrons non appariés, cette molécule est très instable et réagit rapidement avec d'autres composants, tentant de capturer l'électron nécessaire pour acquérir la stabilité (Halliwell, 2012; Halliwell et Gutteridge, 2015). Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, ils conviennent de distinguer un ensemble restreint de composés radicalaires qui jouent un rôle particulier en physiologie et que nous appellerons radicaux primaires. Les autres radicaux libres, dits radicaux secondaires (Tableau 01), se forment par la réaction de ces radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule (lipides, protéines, glucides...) (Halliwell, 2012; Carocho et al., 2013). Les espèces réactives sont un groupe chimique regroupant les dérivés non radicalaires (ne possédant pas d'électron célibataire) dont la toxicité est importante et les radicaux libres. D'autre classification basé sur le type de radical en donnant deux groupes principales: des radicaux dérivé de l'oxygène (*Reactive oxygen species: R.O.S* ou E.R.O) ou d'autres atomes comme l'azote (*Reactive nitrogene species : R.N.S* ou E.R.N) (Gutowski et Kowalczyk, 2013; Yan, 2014). Les radicaux libres sont formés au niveau de divers organites cellulaires: les mitochondries, les microsomes, le cytosol à travers plusieurs systèmes enzymatiques tels que la xanthine oxydase, la monoamine oxydases, la NAD(P)H oxydase, la cyclooxygenase et la lipooxygenase (Berger, 2006; Halliwell et Gutteridge, 2015).

**Tableau0 1.** Différents types des espèces réactives (Gutowski et Kowalczyk, 2013).

Espèces radicalaires		Espèces non radicalaires	
Anion superoxyde	$O_2^{\cdot-}$	Hypochlorite	$^-\text{OCl}$
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	$ONOO^-$
Oxyde nitrique	$NO$	Ozone	$O_3$
Dioxyde nitrique	$NO_2$		

## II.2 Antioxydants

### II.2.1 Définition

Les antioxydants sont définis comme toute substance qui en faible concentration par rapport au substrat susceptible d'être oxydé retarde ou inhibe l'oxydation de ce substrat (**Halliwell, 1999; Sindhi *et al.*, 2013**). Ces molécules interviennent en protégeant les cellules des dommages oxydatifs induits par les radicaux libres (**Sindhi *et al.*, 2013**). Les antioxydants piègent les radicaux libres en inhibant les réactions à l'intérieur des cellules provoquées par les E.R.O et E.R.N (**Kumar *et al.*, 2017**).

Face à la production permanente des espèces réactives, les organismes vivants ont développé des systèmes de défense qui les protègent des dommages oxydatifs. On peut distinguer un système de défense antioxydant endogène (les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques) et autre exogène (les antioxydants naturels et synthétiques).

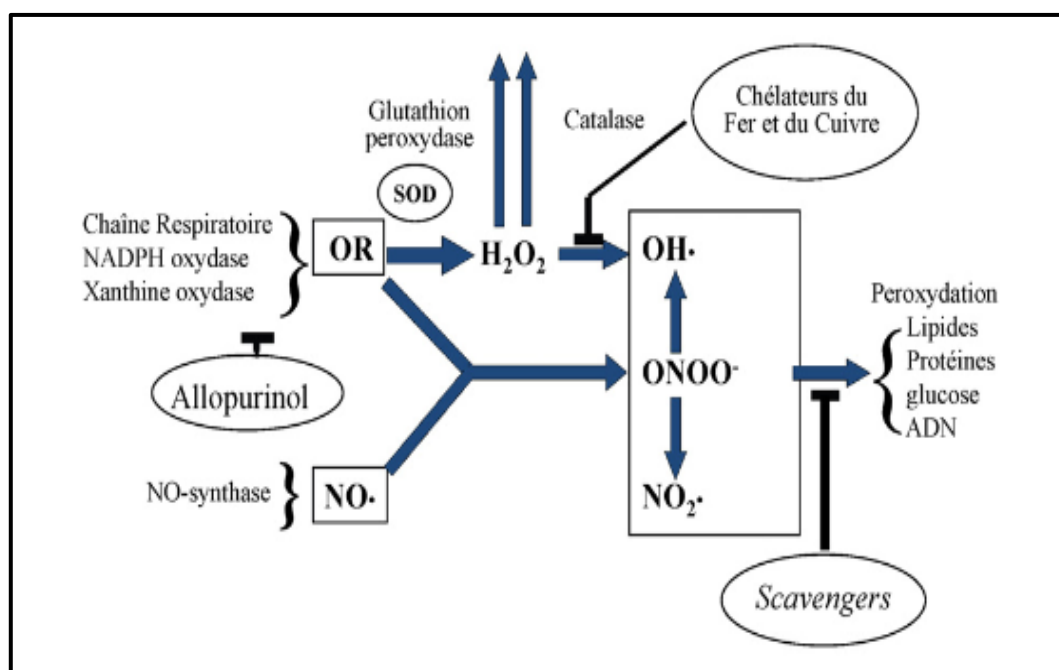
### II.2.2 Classification

#### II.2.2.1 Systèmes d'antioxydants endogènes

Ce sont des molécules qui sont produites par les cellules de notre organisme, on peut distinguer:

##### ❖ Système enzymatique

Les principaux systèmes enzymatiques antioxydants les plus efficaces chez les mammifères ainsi que chez les plantes sont au nombre de trois et de fonctionnement complémentaires (**Figure 04**). Elles réagissent très rapidement avec les espèces réactives afin de les neutraliser et qui sont regroupées dans le tableau 02 (**Sharma *et al.*,2012; Boubekri , 2014**).



**Figure 04.** Action des antioxydants au cours du métabolisme des espèces réactives (Leverve, 2009)

**Tableau 02.** Différents systèmes enzymatiques d'antioxydants et leurs principales propriétés.

Système enzymatique d'antioxydant	Propriété	référence
Superoxyde dismutase (SOD) (EC 1.15.1.1)	Elle catalyse la dismutation des ions superoxydes en peroxyde d'hydrogène et en oxygène moléculaire par la réaction suivante: $2 O_2^{\cdot-} + 2 H^+ \longrightarrow H_2O_2 + O_2$	Papa <i>et al.</i> (2014); Ighodaro et Akinloye (2018)
Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6)	Elle transforme le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire selon la réaction suivante: $2H_2O_2 \longrightarrow 2 H_2O + O_2$	Bonnefont-Rousselot et Collin (2010); Ighodaro et Akinloye (2018)

Glutathion peroxydase (GPx) (EC 1.11.1.9)	Elle détoxifie le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes d'origine lipidique selon les deux réactions suivantes: $-ROOH + 2 GSH \rightarrow ROH + GSSG + H_2O$ (reaction 1) $-H_2O_2 + 2 GSH \rightarrow 2H_2O + O_2 + GSSG$ (reaction 2)	<b>Lobo et al. (2010); Jacquot (2013); Lonn et al. (2012)</b>
Autres systèmes comme la glutathion réductase; la thioredoxine réductase et la glutathion transférase.		<b>Lobo et al. (2010)</b>

#### ❖ Système antioxydant non enzymatique

Les systèmes antioxydants non-enzymatiques endogènes incluent de nombreux thiols présentés dans le tableau 03.

**Tableau 03.** Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions.

Antioxydant	Fonction	Références
<b>Glutathion</b>	-Il intervient dans la détoxification des xénobiotiques, -Il se débarrasse des toxines et des polluants indésirables (métaux lourds, médicaments, solvants et pesticides), -Il protège les lipides, les protéines et les acides nucléiques contre l'oxydation.	<b>Beaudeau et Geneviève (2011)</b>
<b>Acide lipoïque</b>	-Il piège des E.R.O, -Il régénère des antioxydants endogènes et exogènes tels que le glutathion, la vitamine C et E, -Il chélate les des métaux de transition tels que le fer et le cuivre	<b>Valko et al. (2006); Kurutas (2016)</b>

<b>Bilirubine</b>	-Elle est capable de piéger les ROO <sup>•</sup> et l'oxygène singulet.  -Ainsi, elle protège l'albumine et les acides gras liés à l'albumine vis-à-vis les attaques radicalaires.	<b>Haleng et al. (2007); Kurutas (2016)</b>
<b>Acide urique</b>	-Il piège le HO <sup>•</sup> , ROO <sup>•</sup> , HOCl <sup>•</sup> et <sup>1</sup> O <sub>2</sub> ,  -Il peut également régénérer d'autres antioxydants tels que les vitamines C et E.	<b>David (2015); Kurutas (2016)</b>

### II.2.2.2 Systèmes antioxydants exogènes

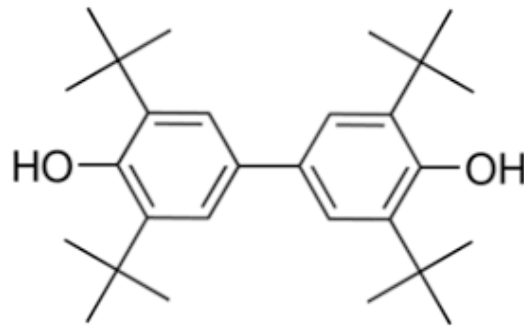
Notre consommation quotidienne d'un régime alimentaire surtout ceux compris dans les fruits et les légumes joue un rôle important dans la capacité de notre organisme à lutter contre les effets néfastes de surproduction des espèces réactives (**Murthy et Naidu, 2012; Ighodaro et Akinloye, 2018**).

Les antioxydants chimiques exogènes comprennent les antioxydants synthétiques et majoritairement les antioxydants naturels présentés par les vitamines A, C et E, les caroténoïdes et les composés phénoliques... (**Tableau 04**) (**Romero et al., 2013; Blanco et Blanco, 2017**). Ces molécules doivent être présentes à des faibles concentrations en les comparant avec les substances qu'elles doivent protéger (**Romero et al., 2013**).

#### II.2.2.2.1 Antioxydants de synthèse

Il existe de nombreux antioxydants synthétiques dont les squelettes sont souvent dérivés des antioxydants naturels (**Lee et al., 2009; Ahmad et al., 2017**). Pour une utilisation pratique, les antioxydants ne doivent pas être toxiques, ils doivent être hautement actifs à des faibles concentrations (0.01- 0.02%). Parmi les polyphénols de synthèse, on peut citer à titre d'exemple: la 3,3',5,5'-Tetra-t-butyl-biphenyl-4,4'-diol (**Figure 05**) qui a montré un effet protecteur des cellules neuronales (**Duong et al., 2008**).

Les antioxydants synthétiques tel que le butylhydroxyanisole (BHA), butylhydroxytoluène (BHT), gallate propylée (PG) et le tétrabutylhydroquinone (TBHQ) sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire parce qu'ils sont efficaces et moins chers que les antioxydants naturels (**Çabuk, 2017**). Cependant, il a été montré que ces antioxydants de synthèse pouvaient être toxiques (**Yu et al., 2000; Ahmad et al., 2017**).



**Figure 05.** Structure chimique d'un polyphénol de synthèse (3,3',5,5'-Tetra-t-butylbiphenyl-4,4'-diol)

#### II.2.2.2.2 Antioxydants naturels

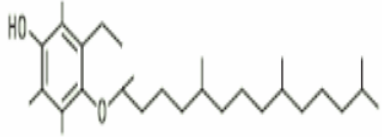
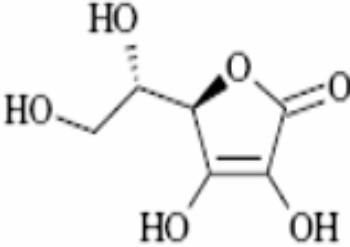
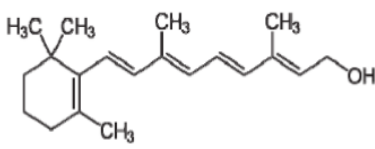
Au cours de ces dernières années, les antioxydants naturels dérivés de plantes médicinales ont été fréquemment utilisés, étant donné qu'ils présentent une activité comparable aux antioxydants synthétiques les plus continement utilisés (**Xu et al., 2017**). Les antioxydants se trouvent également dans une variété d'herbes et d'aliments tels que le thé vert, les légumes et les fruits (**Romero et al., 2013; Atta et al., 2017**). Ces antioxydants naturels incluent en particulier les polyphénols, les caroténoïdes et les vitamines qui présentent de divers d'effets biologiques, notamment anti-inflammatoires, antiviellissement, anti-athérosclérose et anticancer (**Atta et al., 2017**). L'extraction efficace et la bonne évaluation des antioxydants contenus dans les aliments et les plantes médicinales sont essentielles pour explorer les sources d'antioxydants potentielles et promouvoir l'application des aliments fonctionnels, des produits pharmaceutiques et des additifs alimentaires (**Xu et al., 2017**).

##### II.2.2.2.2.1 Vitamines

Les vitamines sont des micronutriments organiques sans valeur énergétique, biologiquement actifs, qui sont nécessaires à l'homme en très petites quantités et qui devraient être fournis par l'alimentation pour maintenir la santé (**Romero et al., 2013**).

De plus, aujourd'hui, les vitamines antioxydantes sont connues par leur rôle dans la prévention de certaines maladies chroniques associées au stress oxydatif (**Evans et Lawrenson, 2017**). Les principales vitamines antioxydantes sont résumées dans le tableau 04.

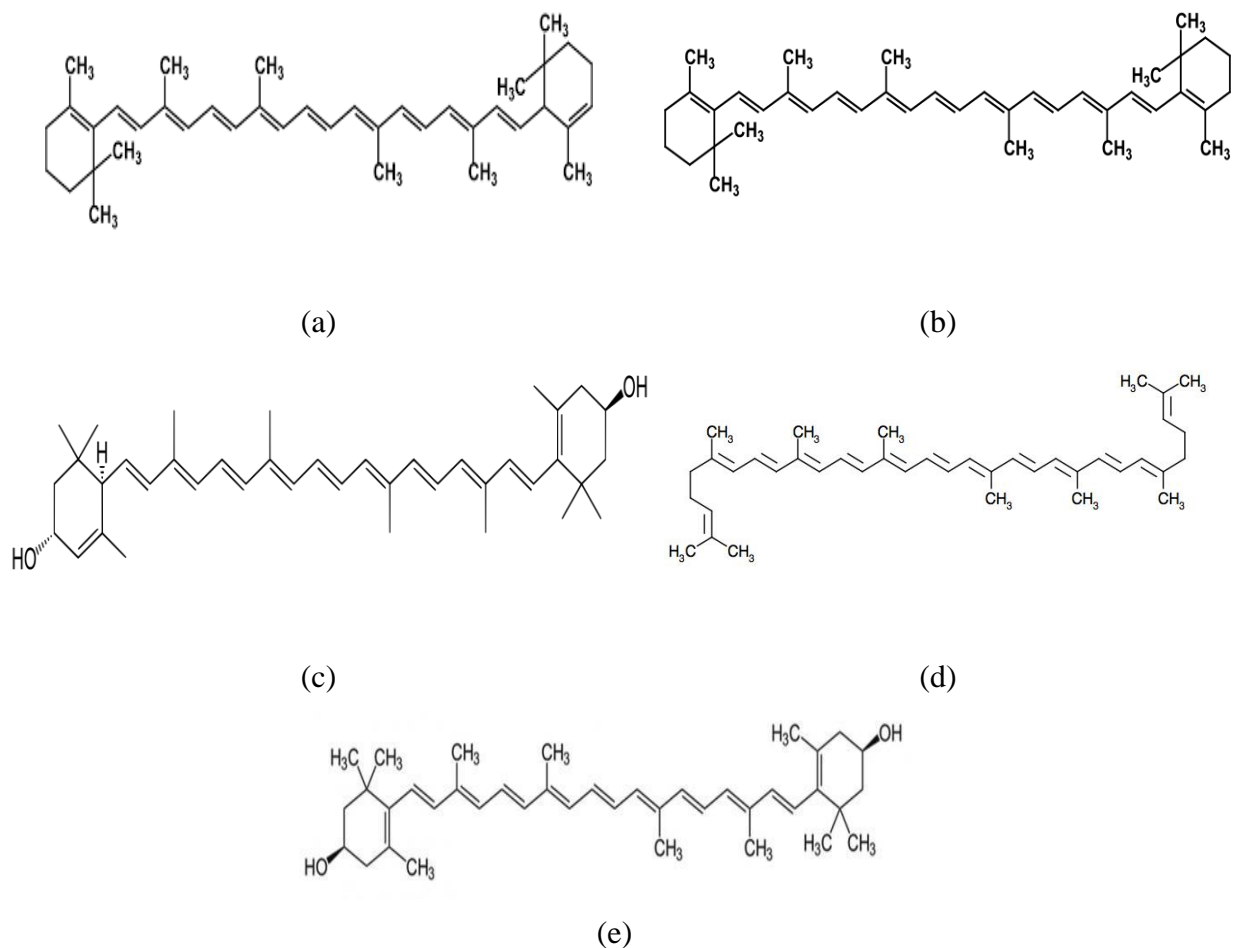
Tableau 04. Propriétés antioxydantes de quelques vitamines antioxydantes.

Vitamine	Fonction	Structure	Références
<b>Vitamine E</b> « atocophérol »	<p>C'est une vitamine liposoluble.</p> <p>-Elle permet d'inhiber la propagation de la peroxydation lipidique.</p> <p>-Elle possède aussi la capacité du piéger de radicaux lipidiques, en particulier LO<sup>•</sup> et LOO<sup>•</sup>.</p>		<p>Neve et Pincemail (2008); Romero <i>et al.</i> (2013)</p>
<b>Vitamine C</b> « Acide ascorbique »	<p>-Elle assurant la régénération de l'alpha-tocophérol en se transformant en un radical très peu réactif (C-O<sup>•</sup>). - Elle piège directement les radicaux hydroxyles, et un surplus d'acide ascorbique peut s'avérer néfaste (c'est-à-dire avoir un effet oxydant), surtout lorsque les membranes sont pauvres en alpha-tocophérol ou en présence d'une concentration élevée de métaux de transition.</p>		<p>Neve et Pincemail (2008); Kurutas (2016).</p>
<b>Vitamine A</b> « rétinol »	<p>C'est une vitamine liposoluble piègeur de radicaux.</p>		<p>Haleng <i>et al.</i> (2007); Romero <i>et al.</i> (2013)</p>



## II.2.2.2.2 Caroténoïdes

Ce sont des pigments fabriqués par les végétaux. Les plus importants caroténoïdes sont le bêta-carotène, l'alpha-carotène, la lutéine, le lycopène, et la zéaxanthine. Ils donnent aux fruits et légumes des couleurs orange, rouge et jaune (**Figure 6**) (**Merhan, 2017; Young et Lowe, 2018**). 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 06.** Structure de quelques caroténoïdes. a: alpha-carotène, b: bêta-carotène, c: lutéine, d: lycopène, e: zéaxanthine (**Merhan, 2017**)

### II.2.2.2.3 Composés phénoliques

Ce sont des antioxydants naturels puissants; en luttant contre la production des radicaux libres néfastes impliqués dans l'apparition de diverses maladies, ainsi en restaurant les antioxydants enzymatiques (Neve et Pincemail, 2008; Pourreza, 2013). Dans cette étude, Le groupe des antioxydants naturels qui nous intéressent sont les composés phénoliques.

#### ❖ Définition et rôles

Ces molécules constituent une famille de produits du métabolisme secondaire très largement répandues dans le règne végétal, depuis les racines jusqu'aux fruits, et comportant au moins 9000 différentes structures connues ce qui signifie qu'ils n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance, ou la reproduction (Pourreza, 2013; Tanase *et al.*, 2019). La structure chimique des polyphénols caractérisée par un ou plusieurs noyaux aromatiques hydroxylés (de la Rosa *et al.*, 2019). Ces corps jouent un rôle fondamental car ils sont des éléments importants de qualités sensorielles (couleur et caractères organoleptiques) et nutritionnelles des végétaux, tels que les légumes, les fruits, les céréales ou les fruits secs, ainsi que dans les boissons, le café, le cacao ou le thé. Une alimentation équilibrée fournit à l'Homme (environ 1g de polyphénols/ chaque jour) soit dix fois plus que de vitamine C et 100 fois plus que de caroténoïdes ou vitamine E (Kaurinovic et Vastag, 2019).

Les composés phénoliques peuvent être contribués (Pereira *et al.*, 2009; Cuevas-Valenzuela *et al.*, 2016; Tanase *et al.*, 2019):

- à la couleur des plantes notamment à celle des fleurs. Or, c'est par la couleur de ses fleurs que la plante exerce un effet attracteur sur les insectes et les oiseaux pollinisateurs, assurant par ce biais une étape fondamentale de sa reproduction.
- dans le goût désagréable, peuvent jouer un rôle dans la protection des plantes contre certains insectes.
- dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec les diverses hormones végétales de croissance. Certains d'entre eux jouent également un rôle de phytoalexines, c'est-à-dire de métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries.

- dans la protection de l'homme vis-à-vis de certaines maladies en raison de leurs interactions possibles avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes, cardio-protectrices, anti-inflammatoires, anti-athérogénique, anti-tumorales (anti-mutagénique et anti-carcinogénique) antimicrobiennes, antiallergiques, antivirales, antimicrobiennes, immunomodulateurs et oestrogéniques. Les effets bénéfiques des polyphénols intéressent particulièrement de plusieurs domaines et surtout la phytothérapie, l'hygiène alimentaire et le domaine de cosmétique.

### ❖ Classification

Les polyphénols sont classés en différents groupes en fonction du nombre de noyaux aromatiques qui les composent et en fonction des substitutions qui les relie (Manallah, 2012; de la Rosa *et al.*, 2019). De ce fait, On distingue les flavonoïdes et les composés non flavonoïdiques.

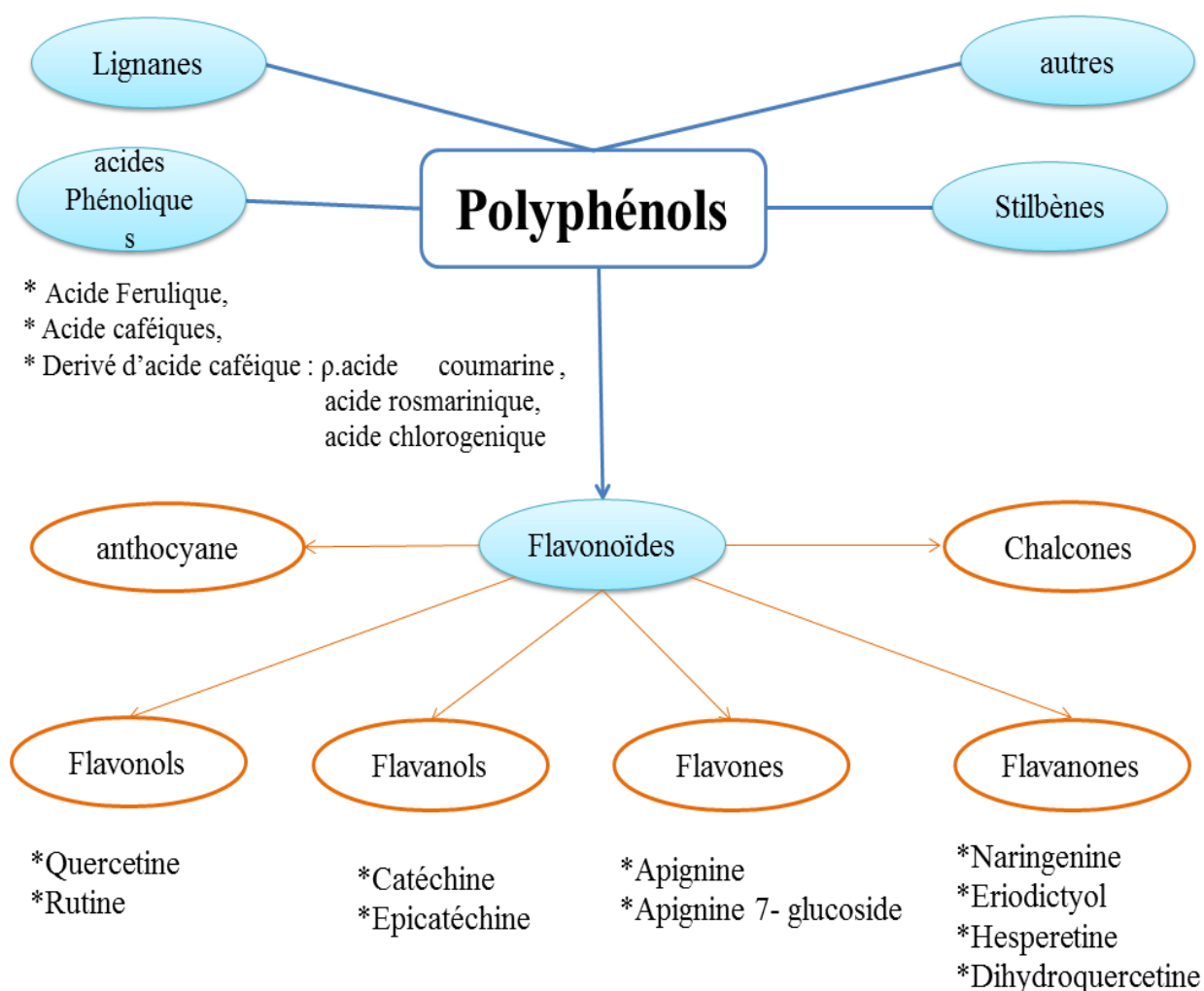
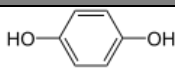
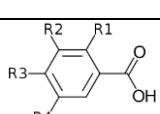
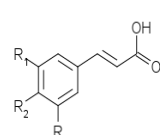


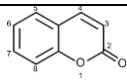
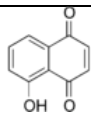
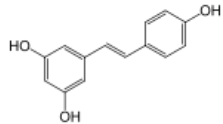
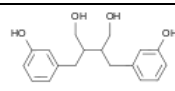
Figure 07. Classification des polyphénols (de la Rosa *et al.*, 2019)

## ➤ Non flavonoïdes

Ces composés regroupent les acides phénoliques (les dérivés de l'acide benzoïque et l'acide hydroxycinnamique) ainsi que d'autres dérivés tels que les stilbènes dont le plus connu est le resvératrol et les tanins hydrolysables (gallo ou ellagitanins) (Collin et Crouzet, 2011; Cuevas-Valenzuela *et al.*, 2016). Ils sont considérés comme substances phytochimiques avec des effets antioxydants, anticancéreux, antimicrobiens et anti-inflammatoires. Leur toxicité est très faible (Bhuyan et Basu, 2017). Parmi les composés dérivés des plantes qui possèdent des propriétés pharmacologiques intéressantes tels que les gallo-tanins et ellagitanins de thé vert, acide rosmarinique de romarin, la curcumine de curcuma et le gingérol de gingembre montrant des effets anticancéreux (Figure 07) (Wang *et al.* 2012; Shahidi *et al.*, 2019). En se basant sur la structure carbonée de base, les principales classes de composés phénoliques non flavonoïdiques sont citées dans le tableau 05.

**Tableau 05.** Principales classes des non flavonoïdes et leurs structures (Cuevas-Valenzuela *et al.*, 2016)

Sous classe	Structure	Exemple (substitution)
Phénols simples (phénols alcoolique) (C <sub>6</sub> )		-Hydroquinone
-Acide hydroxybenzoïque		-Acide parahydroxybenzoïque (3: OH)
		-Acide protocatéchique (2,3: OH), -Acide vanillique (2,3: OCH <sub>3</sub> , OH) -Acide gallique (2,3,4: OH)
-Acide hydroxycinnamique		-Acide paracoumarique (2: OH),

		-Acide caféique (1,2: OH)
<b>Coumarines</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> )		-Hydroxycoumarines: ombelliférone -Furanocoumarines: angélicine -Pyranocoumarines: decursinole
<b>Naphtoquinones</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub> )		-Juglone
<b>Stilbénoides</b> <b>anthraquinones</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> )	et 	-Trans-resvératrol
<b>Xantones</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> )		
<b>Lignanes</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		-Entérodiol
<b>Tanins hydrolysables</b>		-Tanins galliques ou gallo-tanins; -Tanins ellagiques ou ellagi-tanins
<b>Lignines</b> (C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>		

### ➤ Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires ubiquistes des plantes. Ils occupent une place prépondérante dans le groupe des phénols. L'expression flavonoïde désigne les pigments ayant un squelette (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>), provenant du mot latin flavus qui signifie jaune. (Egert et Rimbach, 2011) Leur structure fait de deux cycles benzéniques C<sub>6</sub> reliés par une chaîne en C<sub>3</sub> (Milane, 2004, Shahidi *et al.*, 2019). Le pont à 3 carbones entre les deux phényles forme généralement un troisième cycle pyrone. La distinction des sous-classes se

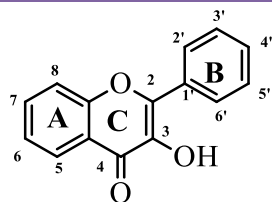
fait sur la conformation de cette structure centrale. Parmi les flavonoïdes les plus couramment vendus ou utilisés dans l'industrie alimentaire comme compléments alimentaires sont la vanilline, l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide vanillique, le resvératrol, l'acide ellagique, la curcumine, les stilbènes, l'épigallocatechine gallate, et la quercétine (**Kaurinovic et Vastag, 2019**). Ces composés sont considérés comme des micronutriments importants puisqu'ils peuvent être des antioxydants qui possèdent de diverses propriétés biologiques comme l'effet antiviellissement, antidiabétique, vasculoprotectrice, antihépatotoxique, antiallergique, anti-inflammatoire, antiulcéreuse et antitumorale (**Mida, et al., 2012; Wang et al. 2012; Mangambu et al., 2014; Shahidi et al., 2019**).

Parmi les principales classes des flavonoïdes, on distingue notamment les flavones et les flavonols de couleur crème ou jaune clair, les flavanes (flavanols) dont les produits de condensation sont à l'origine d'un groupe important des tanins et des isoflavones, qui jouent un rôle sérieux dans la santé humaine (**Bruneton, 2009**), les (prényl) chalcones et les dihydrochalcones ainsi que les anthocyanines ou anthocyanidines, des pigments rouges ou bleus (**Tableau 06**) (**Bhuyan et Basu, 2017; Shahidi et al., 2019**). De façon générale, les flavonoïdes se trouvent soit à l'état libre, dans ce cas ils sont dits aglycones, soit sous forme de C- ou O-glycosides et dans ce cas ce sont des hétérosides. Les sucres qui sont couramment liés aux flavonoïdes sont le glucose, le rhamnose, l'arabinose, ils peuvent en outre être des monomères ou des oligomères (**Cuevas-Valenzuela et al., 2016**) (**Tableau 06**).

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

Flavonoïdes	Structure	Exemple (substitution)
Structure de base $(C_6-C_3-C_6)_n$		
Flavones		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apigénine: 5,7,4' tri OH</li> <li>-Lutéoline: 5, 7, 3',4'tetraOH</li> <li>-Rutine: 5,7,3',4' tetra OH (Rutoside)</li> <li>-Baicaline</li> </ul>

## Flavonols

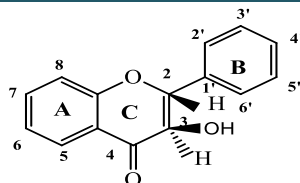


-Quercétine: 5,7,3,4' tetra OH

-Kaempférol: 5,7,4' triOH

-Myricétine: 5,7,3',4',5' penta OH

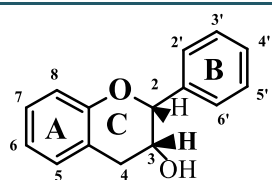
## Dihydroflavonols



-Taxifoline: 5,7,3',4' tetraOH

- Fisétine: 7,3',4'triOH

## Flavanols



-(+)Catéchine: 5,7,3',4'tetraOH,

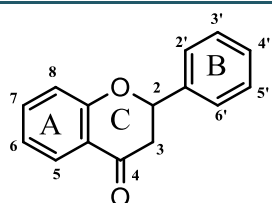
()epicatéchine: 5,7,3',4',

(+)gallocatéchine: 5,7,3',4',5' pentaOH,

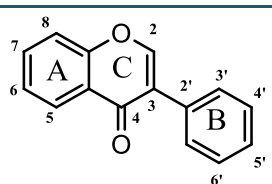
epigallocatéchine: 5,7,3',4' pentaOH

tetraOH 3galoyl

## Flavanones

-Naringénine: 5,7,4' triOH, taxifoline:  
5,7,4',5' tetraOH

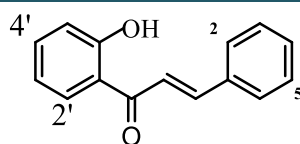
## Isoflavones



-Génicéteine: 5, 7, 4' tri OH

-Daidzéine: 7,4'-diOH

## Chalcones

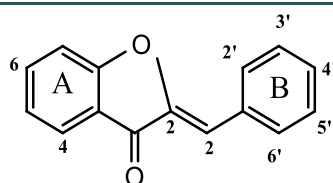


-Butéine: 3,4,2',4',tetrahydroxychalcone;

davidigénine: 4,2',4' triOH; rengasine:

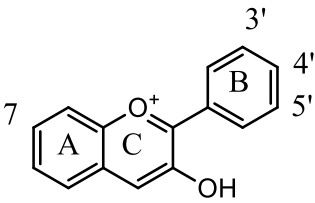
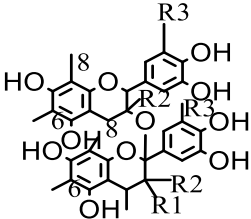
4-O-méthylauréusidine

## Aurones



-Auronol: 4,6,4'-trihydroxyaurone

-Maritimétine: 6,7,3',4' tetraOH

Anthocyanidines		<p>-Cyanidine:(3,5,7,3',4'-pentaOH)          -Apigéninidine: (5,7,4'-triOH)          -Lutéolinidine: (5,7,3', 4'-tetraOH)          -Pélargonidine:(3,5,7,4'-tetraOH)          -Malvédine</p>
<p><b>Tanins condensés</b>          (polymères de flavan3ol)          (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>)<sub>n</sub></p>		-Procyanidine

### ❖ Activité antioxydante des composés phénoliques

De nombreuses études ont été effectuées sur les polyphénols dérivés de plantes médicinales grâce de leurs bienfaits sur la santé humaine et notamment en raison de leur capacité antioxydante qui contribue à la prévention ou le traitement de diverses pathologies associées au stress oxydatif. Ils sont également utilisés comme additifs soit colorant, conservateur ou un complément alimentaire dans les industries agroalimentaire en préservant les qualités nutritionnelles et sensorielles ou les intégrés dans des formulations cosmétiques et pharmaceutiques (**Zillich *et al.*, 2015; Tungmunnithum *et al.*, 2018**).

Plusieurs auteurs ont été prouvés que la capacité antioxydante de plusieurs fruits est due à la présence des flavonoïdes, en fait, la plus part des constituants polyphénoliques montre un pouvoir antioxydant élevé en comparant avec les autres antioxydants connus tels que la vitamine C, la vitamine E, et la  $\beta$ -carotène (**Kaurinovic et Vastag, 2019**).

Des études expérimentales sur des souris ont montré que la consommation quotidienne des composés phénoliques dérivés des plantes médicinales, des épices et des fruits riches aux antioxydants s'accompagne avec une augmentation du statut antioxydant plasmatique et une diminution de paramètre biochimique lipoprotéines de faible densité ce qui prévient contre les maladies cardiovasculaire (**Tressera-Rimbau *et al.*, 2017**).

Des travaux antérieurs ont montré qu'il existe une relation entre la structure et l'activité antioxydante. Les mécanismes d'actions des polyphénols peuvent se faire par (**Bouayed et Bohn, 2012; Zhang et Tsao, 2016; Kaurinovic et Vastag, 2019**):



- neutraliser les radicaux libres étant un donneur d'électron ou atome d'hydrogène à une large gamme des espèces réactifs d'oxygène y compris  $O^{\bullet-2}$ ,  $OH^{\bullet}$ , radicale peroxy  $LO_2$ , Acide hypochloreux (HOCl) et acide peroxyntrique (ONOOH).
- interagir avec les ions métalliques responsables de la production des E.R.O; aboutissant à la formation de complexe chélateur stable et inerte.
- inhiber des enzymes responsables de la production des E.R.O (exemple: xanthine oxydase et cyclooxygenase).
- assurer l'inhibition de la peroxydation lipidique par l'inhibition de la phase de propagation dans les réactions en chaînes.

### II.3 Méthodes d'évaluation des propriétés antioxydantes

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**). Ces molécules antioxydantes peuvent inclure l'acide ascorbique,  $\alpha$ -tocophérol (vitamine E), acide urique, bilirubine, les composés polyphénoliques comme les catéchines et d'autres flavonoïdes. Les méthodes utilisées peuvent être classées en deux groupes selon deux mécanismes: soit par le transfert d'atome d'hydrogène, soit par le transfert d'un simple électron (**Sanchez-Moreno, 2002; Huang et al., 2005**). Les techniques du premier groupe sont employées pour évaluer la peroxydation lipidique en utilisant un substrat lipidique ou lipoprotéique. La quantification de cette propriété est exprimée par la mesure du degré d'inhibition de l'oxydation (**Miguel-Chávez, 2017**). Alors que, les méthodes du deuxième groupe sont celles qui interviennent dans la mesure de l'habilité du piégeage des radicaux libres. Elles comportent le balayage du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), de l'acide hypochloreux (HOCl), de l'hydroxyle ( $\bullet OH$ ), des anions superoxyde ( $O^{\bullet-2}$ ), du peroxyde ( $ROO^{\bullet}$ ) et de l'oxyde nitrique ( $NO^{\bullet}$ ) (**Sanchez-Moreno, 2002; Miguel-Chávez, 2017**). Parmi ces différentes méthodes analytiques, nous distinguons (**Peng, 2009; Pisoschi et Negulescu, 2011; Miguel-Chávez, 2017**):

- La méthode de DPPH (2,2-diphényl-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 Photochemiluminescence, *Photochemiluminescence 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-phenylenediamine dihydrochloride assay* )
- La méthode de FRAP (Test de la réduction du fer ou test de pouvoir réducteur ; *ferric reducing-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 oxygen species*))
- La méthode de piégeage du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$  *hydrogen pyroxide scavenging activity*)

**MATERIEL**

**ET**

**METHODE**

### I. Équipement, solvants, réactifs et standards utilisés

Dans cette étude, nous allons utiliser de divers solvants, réactifs, standards commerciaux ainsi que de divers dispositifs:

❖ Appareils: Agitateur magnétique, bain-marie thermostaté, balance de précision, étuve, évaporateur rotatif R210 (Büchi, Heating Bath B-300 Base), hotte, lyophilisateur (Gardiner, NY, USA), spectrophotomètre UV-Visible (UViline 9400, SECOMAM), ultrason, plaque chauffante, vortex.

❖ Réactifs chimiques: acétate de plomb<sup>II</sup>, Acide ascorbique (Panreac-Barcelone), acide linoléique (Sigma-Aldrich- St. Louis), Acide nitrique,  $\beta$ -carotène, Bismuth subnitrate, chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ), chlorure de mercure(II), DPPH: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (Alfa Aesar-Ward Hill), Folin-Ciocalteu, iodure de potassium, ninhydrine (2,2-dihydroxyindane-1,3-dione), perchlorure de fer ( $FeCl_3$ ), trolox: acide 6-hydroxy-2,5,7,8-tetraméthylchroman-2-carboxylique (Sigma-Aldrich), Tween 80 (Panreac), vanilline.

❖ Solvants organiques: Chloroforme, éthanol, heptane, méthanol.

❖ Acides et bases: Acide acétique, acide chlorhydrique, acide phosphomolybdique, acide sulfurique, carbonate de sodium anhydre, hydroxyde d'ammonium, hydroxyde de potassium (KOH), hydroxyde de sodium (NaOH), phosphate disodique, phosphate monosodique, TCA: Acide trichloracétique (Panreac-Barcelone).

❖ Standards commerciaux utilisés: Acide gallique, acide tannique (+), catéchine.

### II. Matériel végétal

Les parties aériennes (feuilles, fleurs et tiges) de *Phagnalon rupestre* (*Asteraceae*) et *Teucrium polium* (*Lamiaceae*) sont recueillies dans la région de Misserghin (Oran). Tandis que, les parties aériennes de *Zygophyllum album* (*Zygophyllaceae*) sont prélevées dans la région d'Aïn Sefra (Naâma). Les plantes choisies sont récoltées dans la même période en Janvier 2019 et sont botaniquement authentifiées par les botanistes du laboratoire de botanique au niveau de département de Biologie (Université d'Oran 1).

Le matériel végétal ainsi récolté a été trié, séché à l'air libre, à l'ombre, à l'abri de l'humidité et à une température ambiante pendant une quinzaine de jours. Une fois séchées, les parties aériennes de chaque plante ont été concassées séparément dans un mortier, puis broyées en poudre fine  $\approx 40$  mesh à l'aide d'un broyeur à couteau. Les poudres végétales sont, ensuite, conservées et stockées dans des flacons sombres à l'obscurité et à température ambiante jusqu'à leur utilisation.



**Figure 08.** Poudres des parties aériennes séchées des plantes étudiées.

### III. Méthodes d'étude

#### III.1 Extraction et préparation des extraits

Les extraits aqueux des parties aériennes de trois plantes sont préparés par décoction dont le but d'extraire les substances polaires telles que les composés phénoliques selon la méthode décrite par **Rached *et al.* (2016)** avec quelques modifications et en suivant les étapes suivantes:

- ❖ Une décoction aqueuse à 10% est effectuée en plaçant 20 g de chaque poudre de plante dans 200 mL d'eau distillée
- ❖ L'ensemble est porté à bouillir pendant 15 minutes;
- ❖ Les décoctés sont laissés refroidir;
- ❖ Ensuite, ils sont filtrés à l'aide d'un papier filtre;
- ❖ Puis, les filtrats sont récupérés et mis de nouveau avec 200 mL d'eau distillé en les portés à l'ébullition. cette étape est répétée trois fois;
- ❖ Les filtrats obtenus sont transférés dans des flacons puis congelés à température de  $-20^{\circ}\text{C}$ ;
- ❖ Les produits congelés sont ensuite lyophilisés à l'aide d'un lyophilisateur afin d'obtenir des poudres brunes sèches qui seront conservées ultérieurement à  $-20^{\circ}\text{C}$  jusqu'à l'utilisation.

L'extrait aqueux brut obtenu de chaque plante est dissout dans l'eau distillée à une concentration de 5 mg/mL pour l'évaluation de l'activité antioxydante et de 2 mg/mL pour le profil des composés phénoliques.

### III.2 Évaluation de rendement d'extraction

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse des extraits aqueux obtenus et la masse sèche du matériel végétal à traiter.

Le pourcentage de rendement pour chaque extrait a été calculé par la formule suivante:

$$R (\%) = m / M_0 \times 100$$

(%) : Rendement exprimé en %.

m: Masse en gramme de l'extrait sec résultant après la lyophilisation (g).

M<sub>0</sub> : Masse sèche initiale en gramme du matériel végétal à traiter (g).

Cinq paramètres majeurs peuvent être influencés sur le rendement d'extraction et la qualité de l'extrait: la nature et le volume du solvant, le temps et la température d'extraction, et la nature de la matrice.

### III.3 Analyses phytochimiques

#### III.3.1 Dosage colorimétrique des composés phénoliques

##### III.3.1.1 Dosage des polyphénols totaux

###### III.3.1.1.1 Principe

La teneur en polyphénols totaux des extraits aqueux est estimée par le réactif du Folin-Ciocalteu selon la méthode colorimétrique de Singleton et Rossi (1965). La technique spectrophotométrique est facile à effectuer, à faible coût, rapide et réalisable dans l'utilisation routine de laboratoire. Cette méthode permet alors de mesurer la concentration totale de groupes hydroxyle des composés phénoliques contenus dans les extraits de plante où ils réagissent avec des réactifs rédox spécifiques comme le réactif de Folin-Ciocalteu pour former un complexe bleu détectable et quantifiable par le spectrophotomètre à 765 nm. Cette technique est donc basée sur la réaction d'oxydoréduction entre les phénols présents dans les extraits et le réactif de Folin-Ciocalteu, qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et d'acide phosphomolybdique (H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>), dans un milieu alcalin en formant un chromophore bleu constitué par un complexe phosphotungstique-phosphomolybdique (Miguel-Chávez, 2017). L'absorption maximale des chromophores dépend sur la concentration en composés phénoliques où elle est proportionnelle à la quantité des composés phénoliques présente (Singleton *et al.*, 1999).

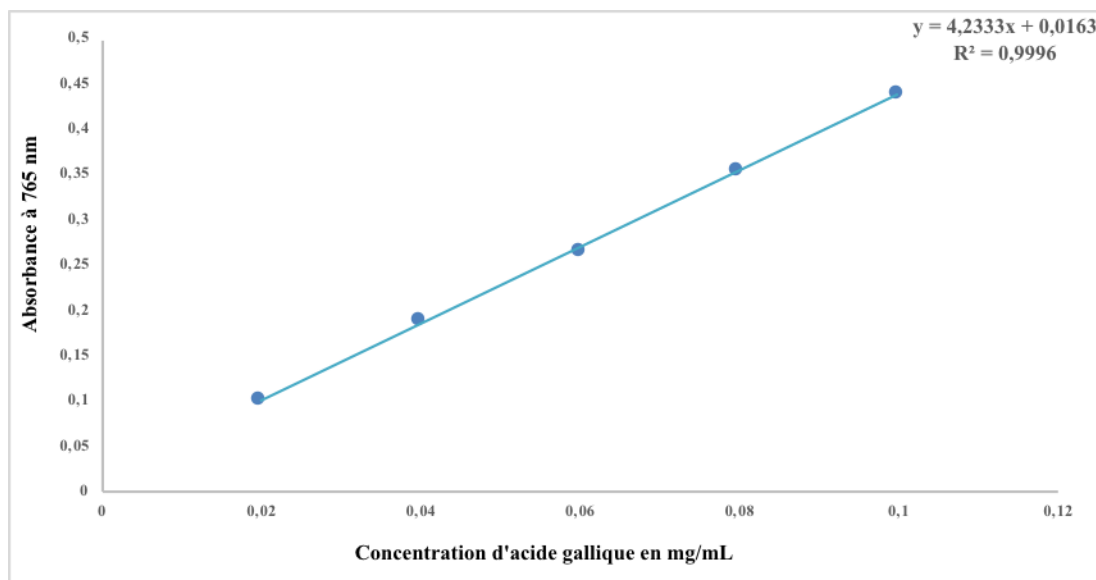
Cependant, il est important de noter que ce test colorimétrique doit utiliser une substance de référence, en générale, l'acide gallique (Blainski *et al.*, 2013).

### III.3.1.1.2 Méthodologie

La technique est réalisée selon le protocole suivant:

- ❖ 0,1 mL d'extrait de chaque plante sont mélangés avec 0,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (1:10 v/v, H<sub>2</sub>O). Le mélange est agité à l'aide d'un vortex puis incubé pendant 5 min à l'obscurité et à température ambiante;
- ❖ Ensuite, 1,5 mL de la solution aqueuse de carbonate de sodium anhydre (2% p/v) sont ajoutés puis agités;
- ❖ Après l'incubation de mélange pendant une heure, l'absorbance est mesurée à 765 nm.

Les teneurs en polyphénols totaux sont exprimées en mg d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec lyophilisé (mg EAG/g d'extrait), calculées à partir d'une droite (équation de régression linéaire:  $y = 4,2333x + 0,0163$ ;  $R^2 = 0,9996$ ) préparée à l'aide de différentes concentrations d'acide gallique (0,02 ; 0,04 ; 0,06 ; 0,08 et 0,1 mg/mL, H<sub>2</sub>O) (Figure 09). Cette courbe est réalisée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons étudiés. Les dosages sont effectués en triplicata.



**Figure 09.** Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

### III.3.1.2 Dosage des flavonoïdes totaux

#### III.3.1.2.1 Principe

L'analyse quantitative des flavonoïdes totaux est réalisée selon un dosage colorimétrique par le trichlorure d'aluminium en présence de  $\text{NaNO}_2$  en milieu alcalin suivant la méthode décrite par Kim *et al.* (2003).

Cette méthode est couramment reposée sur la formation d'un complexe entre les groupements hydroxyles des flavonoïdes avec le chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ), suivie par une mesure spectrophotométrique de ce complexe produit (Mammen et Daniel, 2012). La coloration rosâtre produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait, mesurée à 510 nm (Pękal et Pyrzynska, 2014).

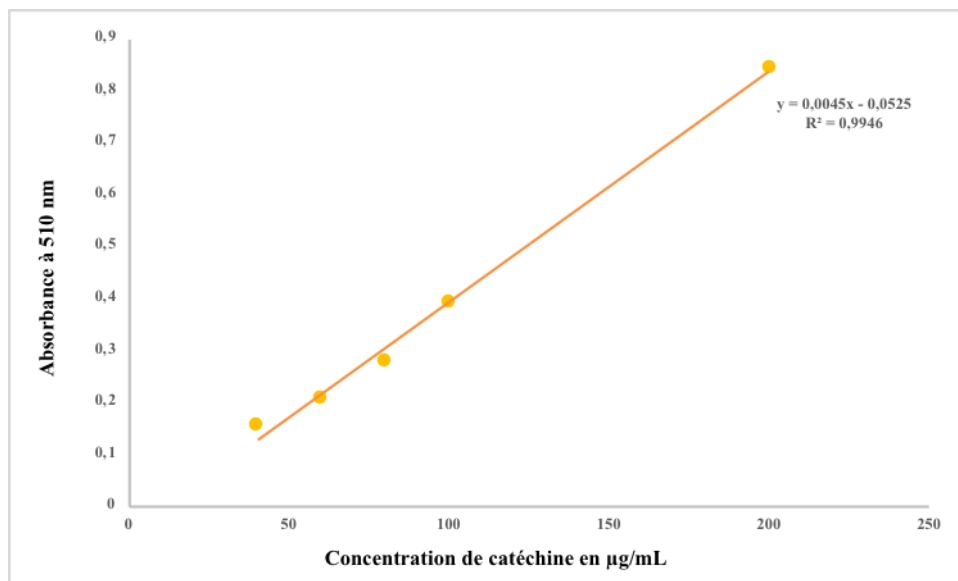
#### III.3.1.2.2 Méthodologie

Cette méthode est adoptée pour déterminer la teneur en flavonoïdes présents dans chaque matrice à base de plantes ou d'aliments selon la procédure suivante:

- ❖ 0,5 mL de chaque extrait sont mélangés avec 1,5 mL d'eau distillé;
- ❖ à T=0, 0,150 mL de nitrate de sodium (5% p/v,  $\text{H}_2\text{O}$ ) sont ajoutés;
- ❖ à T= 5 min, 0,150 mL de trichlorure d'aluminium (10% p/v,  $\text{H}_2\text{O}$ ) sont additionnées;
- ❖ Après 6 minutes, 0,5 mL d'hydroxyde de sodium (1M p/v,  $\text{H}_2\text{O}$ ) sont ajoutés. La solution du mélange est bien homogénéisée à l'aide d'un vortex, puis l'absorbance est mesurée immédiatement à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (UViline 9400, Secomam).

Les concentrations en flavonoïdes totaux sont exprimées en mg d'équivalent de catéchine par gramme d'extrait lyophilisé sec (mg EC/g d'extrait), calculées à partir d'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 10). Cette courbe est procédée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons étudiés. Les dosages sont encore effectués en triplicata.





**Figure 10.** Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux.

### III.3.1.3 Dosage des tanins condensés

#### III.3.1.3.1 Principe

L'analyse quantitative des tanins condensés ou proanthocyanidines (dérivés polymériques de flavan-3-ol, tanins catéchiques) sont déterminés par la méthode à la vanilline suivant la procédure rapportée par Julkunen-Tiitto (1985). Cette méthode est basée d'une part sur la dépolymérisation des tanins condensés dans des conditions acide et d'autre part sur la capacité de réagir avec la vanilline pour produire un complexe coloré et mesurable à 500 nm (Schofield *et al.*, 2001; Heimler *et al.*, 2006).

#### III.3.1.3.2 Méthodologie

Le dosage est effectué selon le protocole suivant:

- ❖ Une quantité de 25 µL d'une solution aqueuse de chaque plante est mélangée avec 750 µL d'une solution méthanolique de vanilline (4% p/v);
- ❖ Ensuite, 375 µL d'HCl concentré sont ajoutés;
- ❖ Après l'incubation de ce mélange pendant 20 min à obscurité et à température ambiante,
- ❖ la lecture d'absorbance est effectuée contre un blanc.

La catéchine (gamme d'étalon: 10-80 µg/mL; Méthanol) est utilisée pour préparer la courbe d'étalonnage ( $y = 0,0014x + 0,0067$ ;  $R^2 = 0,9973$ ) qui est réalisée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons (**Figure 11**). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent de catéchine par gramme de matière sèche (mg EC/g MS).

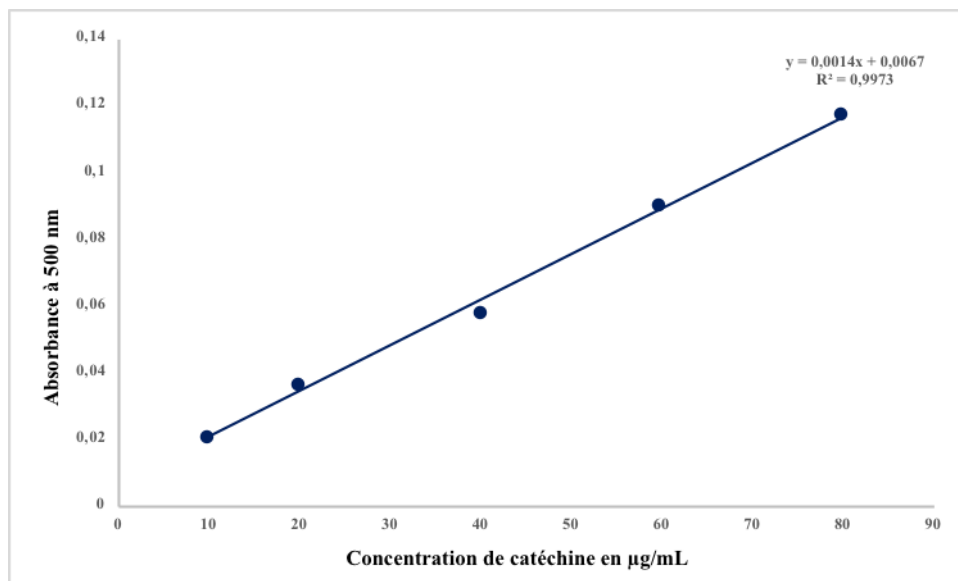


Figure 11. Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des tanins condensés.

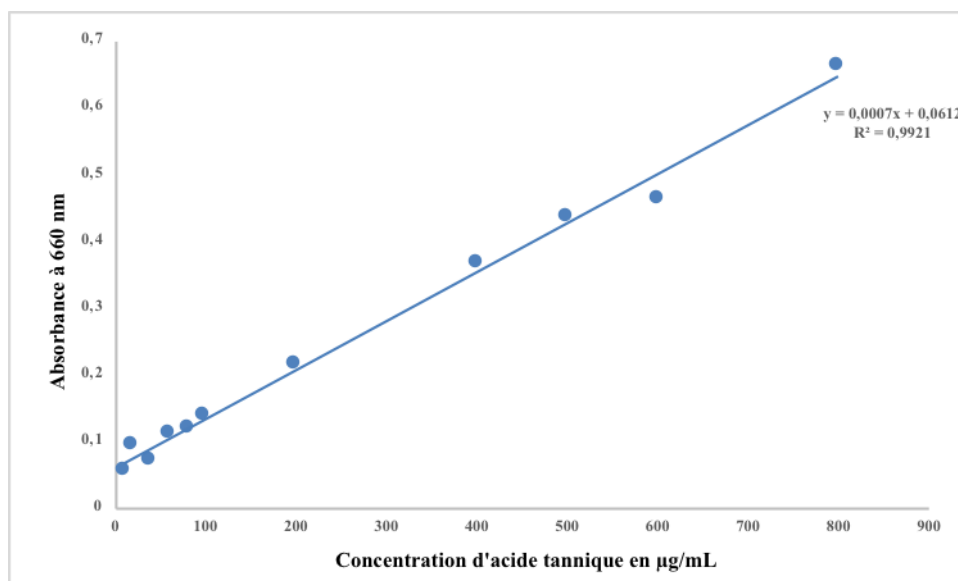
### III.3.1.4 Dosage des tanins hydrolysables

#### III.3.1.4.1 Principe

Le taux des tanins hydrolysables (tanins ellagiques et galliques) est estimé par la méthode de Mole et Waterman (1987) avec quelques modifications mineurs. Ce test est basé sur la réaction des tanins hydrolysables avec le chlorure ferrique qui donnent une coloration bleue mesurée spectrophotométriquement à 660 nm.

#### III.3.1.4.2 Méthodologie

Ce dosage est effectué par un mélange d'extrait (0,5 mL) avec 1,75 mL d'une solution de perchlorure de fer (0,01 M p/v préparé dans 0,001 M d'acide chlorhydrique (HCl) v/v). L'absorbance est lue à 660 nm contre un blanc. La même procédure réalisée avec l'acide tannique. La concentration des tannins hydrolysables est estimée en milligramme (mg) équivalents d'acide tannique par gramme (g) du poids de la matière sèche (mg EAT/g) à partir d'une courbe d'étalonnage (équation de la régression linéaire:  $y = 0,0007x + 0,0612$ ;  $R^2 = 0,9921$ ; (Figure 12) obtenue à partir d'une gamme d'étalon réalisée avec l'acide tannique (0,01-0,8 mg/mL, H<sub>2</sub>O).



**Figure 12.** Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage des tanins hydrolysables.

### III.3.2 Screening phytochimique par des réactions de coloration

Afin de mettre en évidence les différentes classes chimiques de métabolites secondaires présentes dans les extraits aqueux de trois espèces testées, plusieurs réactions de caractérisation ont été établies. Ce criblage phytochimique qualitatif réalisé est basé sur des réactions de précipitation ou de coloration à l'aide des réactifs spécifiques qui nous permettent d'une identification préliminaire des substances chimiques, et qui sont regroupées dans le tableau 07.

## Matériel et méthodes

**Tableau 07.** Méthodes utilisées pour identifier quelques groupes phytochimiques.

Phytoconstituant	Réactif	Composition de réactif	Méthode	Observation lors de la révélation	Référence
<b>Amines</b>	-Réactif de ninhydrine	-On mélange 1 g de ninhydrine avec 4 mL d'éthanol et 2 mL d'acide acétique. Après on ajoute le mélange de 1,8 mL d'éthanol et 40 ml d'heptane. La solution obtenue est agitée manuellement.	Une goutte de 50 µL de chaque extrait est déposée sur un papier filtre. après le séchage dans une étuve à 80°C, le papier est pulvérisé avec une solution de ninhydrine. Ensuite on met le papier à séché à 110°C pendant 5 minutes.	Après le séchage de papier, on observe l'apparition des taches violettes (pourpre).	<b>Cegielska et Kacprzak (2009).</b>
<b>Alcaloïdes</b>	-Réactif de Dragendorff (tétraiodobismuthate de Potassium)	-Solution A: 8g de Bismuth subnitrate (Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O) dissout dans 30 % (P/v) d'acide nitrique (HNO <sub>3</sub> ) Solution B: 27,2 g d'iodure de potassium (KI) dissout dans 50 mL d'eau distillé, la procédure consiste ensuite à combiner délicatement les deux solutions et laisser la mixture se reposer 24 heure puis après filtration le tous sont dilués avec 100 mL d'eau distillée.	2 mL de chaque extrait sont ajoutés à 10 mL d'HCl à 1%. Le mélange est mis dans un bain marie à 100°C pendant 2 à 3 min, puis le volume final chaque extrait est divisé en quatre volumes égaux. Chaque extrait est traité par un seul réactif.	-Formation d'un précipité blanc jaunâtre.	<b>Wagner et Bladt (1996); Bekro et al. (2007); El Yahyaoui et al. (2017)</b>
	-Réactifs de Mayer,	-Dissoudre 1,358 g de Chlorure de mercure(II) (HgCl <sub>2</sub> ) dans 60 mL d'eau distillée puis 5g de KI dans 10 mL d'eau distillée. Mélanger les deux solutions et ajuster le volume total à 100 mL.		-Formation d'un précipité rouge-orangé.	

## Matériel et méthodes

	-Réactif de Wagner,	-Dans 75 mL d'eau distillée, dissoudre 2 g de KI et 1,27 g de I <sub>2</sub> . Le volume obtenu est ajusté à 100 mL avec l'eau distillée.		-Formation d'un précipité brun.	
	-Réactif de Bouchardat	- 2 g d'iode bisublimé (I <sub>2</sub> ) et 2 g de KI sont mélangés dans 100 mL d'eau distillée.		-Formation d'un précipité orange ou rouge vermillon.	
<b>Coumarines</b>	<b>-Méthode 1</b> Hydroxyde de sodium (NaOH)	-10 % dans l'eau distillée	-2 mL de chaque extrait sont ajoutés avec 3 ml d'hydroxyde de sodium avec agitation.	Apparition de couleur jaune.	<b>El Yahyaoui et al. (2017)</b>
	<b>-Méthode 2</b> NaOH + HCl	-NaOH (10%, eau distillée) - HCl (10%)	-2 mL de chaque l'extrait sont ajouté avec 10 gouttes d'hydroxyde de potassium à 10% et 5 gouttes d'HCl à 10%.	-Apparition de couleur rouge	
<b>Flavonoïdes</b>	<b>-Méthode 1</b> Copeaux de magnésium		-2 mL de chaque extrait sont ajoutés avec 2 à 3 copeaux de magnésium et 1mL d'HCl avec 4 mL d'éthanol. -l'ajout de 3 gouttes de l'alcool isoamylique intense la coloration.	-Apparition d'une coloration: -verte: indique la présence des polyphénols -rouge: indique la présence des flavonols: -rose orangée indique la présence de flavones; -rose violacée indique la présence de flavanones;.	<b>Yahyaoui et al. (2017)</b>
	<b>-Méthode 2</b> Acétate de plomb	-Solution d'acétate de plomb à 10% (H <sub>2</sub> O)	-A 1 mL de chaque extrait nous avons ajouté 1 mL de solution d'acétate de plomb.	-Apparition de couleur vert jaunâtre.	

## Matériel et méthodes

<b>Huiles essentielles</b>	NaOH et HCl	NaOH 10% et d'HCl à 10%.	-A 2 mL de chaque extrait sont ajouté à 100 µL de NaOH et 100 µL d'HCl.	-Formation d'une précipitation blanche.	<b>Cahyono (2015)</b>
<b>Saponines</b>	<b>-Méthode 1</b>				
	Acétate de plombII (Pb(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )		-2 mL d'une solution d'acétate de plomb sont ajoutés à 2 mL de chaque extrait.	-Formation d'une précipitation blanche	<b>Yadav et Agarwala (2011)</b>
	<b>-Méthode 2</b>				
	Test d'agitation		-3 mL d'eau distillée sont ajoutés avec 1mL de chaque extrait puis agités vigoureusement pendant 2 min. Ensuite, le mélange est laissé reposer pendant 20 min.	-Formation d'une mousse persistante.	
<b>Stéroïdes</b>	-Anhydride acétique		2,5 mL d'anhydride acétique et 500 µL d'acide sulfurique concentré sont ajoutés avec 2,5 mL de chaque extrait ensuite, le mélange est laissé réagir pendant 20 min.	-Apparition de couleur bleu verte.	<b>N'Guessan et al., 2009</b>
<b>Quinones libres</b>	<b>-Méthode 1</b>				
	Ammoniaque (Hydroxyde d'ammonium; NH <sub>4</sub> OH)	-Dilué deux fois	-2 gouttes d'HCl concentré et 500 µL d'hydroxyde d'ammonium sont mélangés avec 1 mL de chaque extrait puis agités	-Apparition de couleur rouge ou précipité violette ou bleu.	<b>Dohou et al., 2003</b>

## Matériel et méthodes

---

	<b>-Méthode 2</b> Hydroxyde de sodium	-10% (H <sub>2</sub> O)	-Quelques gouttes d'hydroxyde de sodium avec 5 gouttes d'HCl sont mélangées avec 1 mL de chaque extrait.	-Apparition d'une couleur jaune, rouge ou violette.	
<b>Tannins</b>	-Perchlorure de fer (FeCl <sub>3</sub> )	-2%, MeOH	-2,5 mL de chaque extrait sont additionnés avec 0,5 mL de FeCl <sub>3</sub> .	-Il se développe un précipité: -brun verdâtre en présence de tanins catéchiqes -bleu-noire en présence de tanins galliques.	<b>Yahyaoui et al. (2017)</b>
			-100uL d'extrait sont mélangés avec 3mL de solution de vanilline	-apparition d'une couleur rouge	
<b>Terpénoïdes</b>	<b>-Méthode 1</b> Acide sulfurique		-1 mL de chloroforme et 1,5 mL d'acide sulfurique concentré sont additionnés à 2,5 mL d'échantillon.	-La formation d'un anneau rouge ou violet.	<b>N'Guessan et al., 2009</b>
	<b>-Méthode 2</b> Solution phosphomolybdique	-2 g d'acide phospholybdique, 4 mL d'eau distillé et 6 mL d'acide sulfurique.	-2,5 mL d'acide phosphomolybdique et 2,5 mL d'acide sulfurique concentré sont mélangés avec 2,5 mL de chaque extrait.	-Apparition de coloration bleue.	

### III.4 Détermination de l'activité antioxydante

Dans cette partie nous nous intéressons d'étudier l'activité antioxydante, *in vitro*, par plusieurs méthodes. Ces essais sont totalement classifiés selon leur mécanisme d'action en deux grandes catégories:

- ✓ des désactivateurs (quencher) de l'oxygène singulet (*single-electron transfert*; SET) essentiellement représentés par la méthode de pouvoir antioxydant de réduction de fer (FRAP) et la méthode de scavenger du radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- ✓ des donneurs d'hydrogène (*hydrogen-atom transfert*; HAT) relatif à la méthode d'inhibition de blanchissement de  $\beta$ -carotène.

Dans notre étude, l'activité antioxydante des extraits aqueux des plantes étudiées a été évaluée *in vitro* selon la méthode décrite par Barros et al. (2013).

#### III.4.1 Pouvoir scavenger du radical DPPH

##### III.4.1.1 Principe

La molécule de 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (Sigma,  $C_{18}H_{12}N_5O_6$ ; MM = 394,33 g/mol) est un radical libre stable à une coloration violette en solution dans le méthanol ou l'éthanol. Il possède une absorption caractéristique à 517 nm. Quand une solution de DPPH est mélangée avec une substance donneuse d'atomes d'hydrogène, substance antioxydante, il se transforme à la forme réduite (diphényl picryl-hydrazine) d'une couleur jaunâtre dont l'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu réactionnel. Le virage vers cette coloration et l'intensité de la décoloration découle, de la nature, de la concentration et de la puissance des principes actifs présents (**Miguel-Chávez, 2017**).

##### III.4.1.2 Méthodologie

Pratiquement, Cette méthodologie est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre (UViline 9400, Secomam). Elle consiste donc à mélanger 100  $\mu$ L de différentes concentrations de chaque extrait de plante (0,019 – 5 mg/mL) avec 900  $\mu$ L d'une solution méthanolique de DPPH (0,06 mM). La lecture des absorbances est effectuée à 517 nm après avoir laissé incuber la réaction, à l'obscurité, pendant une heure. Les extraits sont testés contre un blanc qui contient la solution méthanolique de DPPH incubée dans les mêmes conditions que les échantillons. Le Trolox, l'acide ascorbique et la catéchine sont utilisés



comme des témoins positifs (substances de références). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est calculé selon la formule suivante:

$$PI\% = [(A_C - A_E) / A_C] \times 100$$

Où

A<sub>C</sub>: Absorbance de solution DPPH;

A<sub>E</sub>: Absorbance de la solution contenant l'extrait.

Les résultats sont exprimés en valeur d'IC<sub>50</sub> où la concentration inhibitrice de 50% (aussi appelée *EC*<sub>50</sub> pour *Efficient concentration 50*) est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH°. Les IC<sub>50</sub> sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés, représentées par pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des extraits testés.

### III.4.2 Pouvoir réducteur d'ions ferriques (FRAP)

#### III.4.2.1 Principe

La méthode de pouvoir réducteur de fer est basée sur le changement de coloration lors de la réduction du fer de forme ions ferriques (Fe<sup>3+</sup>) en ions ferreux (Fe<sup>2+</sup>) en présence d'un antioxydant par transfert d'électrons (**Chung *et al.*, 2006; Benzie et Devaki, 2018**). La forme réduite donne une couleur bleue qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait. De ce fait, cette densité de couleur est mesurée à 690 nm. Ce test est peu coûteux, simple, reproductible et rapide utilisé pour indiquer la présence des composés phénolique (**Benzie et Devaki, 2018**).

#### III.4.2.2 Méthodologie

Les différentes concentrations des extraits aqueux et des substances de références (0,019 - 5 mg/mL; 0,5 mL) sont mélangées avec quantité égale de tampon phosphate (200 mM p/v; pH=6,6 ; 0,5 mL) et 0,5 mL de ferricyanure de potassium (K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>; 1% p/v; H<sub>2</sub>O). Après 20 mn d'incubation, à 50°C pendant, 0,5 mL d'acide trichloracétique (10% p/v) sont ajoutés au mélange. Ensuite, 0,8 mL de mélange sont mélangés avec 0,8 mL d'eau distillée et 160 µl du chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>; 10%) et l'absorbance est lue à 690 nm contre un témoin négatif sans extrait. L'absorbance est directement proportionnelle au pouvoir réducteur. Les résultats sont exprimés en valeurs IC<sub>50</sub> qui est calculée à partir de la courbe d'absorbance en fonction de la concentration de l'échantillon.

### III.4.3 Test de blanchissement de $\beta$ -carotène / acide linoléique

#### III.4.3.1 Principe

C'est une méthode colorimétrique basée sur la capacité des extraits à inhiber la blanchiment de  $\beta$ -carotène. Cette décoloration résulte par l'oxydation du  $\beta$ -carotène par les produits des hydroperoxydes et diène conjugués formés durant l'oxydation de l'acide linoléique sous l'action thermique (Merouane *et al.*, 2014).

Cette méthode est sensible, rapide et simple s'accomplissant à mesurer spectrophotométrique l'émulsion du système  $\beta$ -carotène/acide linoléique dans le visible à 470 nm (Prieto *et al.*, 2012). Elle peut être utilisée dans la méthode de bioautographie couplée à la chromatographie sur couche mince (CCM) (Dewanjee *et al.*, 2015).

#### III.4.3.2 Méthodologie

2 mL d'une solution chloroformique de  $\beta$ -carotène (0,2 mg/mL) sont évaporés à l'aide d'un évaporateur rotatif (Büchi, Heating Bath B-300 Base), le résidu obtenu est mélangé avec 400 mg de Tween 80 et 40 mg d'acide linoléique. Puis, un volume de 100 mL de l'eau distillée est additionné et agité vigoureusement. Dans des tubes à essai, 0,2 mL des différentes concentrations des extraits, des contrôles négatif et positif (triplicata) sont mélangés avec 4,8 mL de la solution d'émulsion  $\beta$ -carotène/acide linoléique. Le mélange est mesuré immédiatement à temps 0 ( $T_0$ ) à 470 nm contre un contrôle, à l'aide d'un spectrophotomètre (UViline 9400, Secomam). Les tubes fermés sont ensuite placés dans un bain marie avec agitation à 50°C pendant 2 h ( $T_{120}$ ). Une nouvelle lecture des concentrations est effectuée à la même longueur d'onde. Les résultats obtenus sont exprimés en pourcentage d'inhibition de la décoloration du  $\beta$ -carotène en utilisant la formule suivante:

$$\% \text{ AA} = (A_{T_{120}} / A_{T_0}) \times 100$$

PI : pourcentage d'inhibition

$A_{T_0}$ : Absorbance de l'échantillon à  $t_0$ ;

$A_{T_{120}}$  : Absorbance de l'échantillon après incubation de 120 minutes;

A : absorbance en présence de l'extrait, contrôle négatif ou Trolox.

**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).

**RESULTETS**

**ET**

**DISCUSSION**

## I. Extraction et caractérisation phytochimique

### I.1 Rendements d'extraction

Le tableau 08 indique les résultats du rendement d'extraction des parties aériennes de trois plantes médicinales étudiées. Ces plantes sont décoctées par l'eau distillée sous des conditions de chauffage. La décoction de *Phagnalon rupestre*, *Teucrium polium* et *Zygophyllum album* a donné un rendement de 12,5% ; 15,85% et 34,08% respectivement.

Des solvants polaires ont été préférés du fait que les plantes testées sont largement consommées comme tisane soit sous la forme décoctée ou infusée. D'après les résultats rendus, nous constatons que le rendement de ces plantes est supérieurs à ceux trouvé par Shtukmaster *et al.*, 2010; Haddouchi *et al.*, 2014 et El Ghouli *et al.* 2012 dans l'extrait hydro-méthanolique de *P. rupestre*, les extraits aqueux de *T. polium* et *Z. album* avec des valeurs de 10,00% ; 11,5% et 18,3% respectivement.

L'extraction est la première étape cruciale de l'étude des antioxydants naturels issus des plantes. La technique d'extraction est celle qui permet d'obtenir des extraits avec un rendement élevé (Altemimi *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2017). Ainsi, la capacité d'extraction des solvants dépend principalement de la solubilité du composé dans le solvant (Dhanani *et al.*, 2017). Plusieurs études ont signalé des variations dans les activités biologiques d'extraits préparés en utilisant des différentes techniques d'extraction (de Lima Silva *et al.*, 2015; Cikoš *et al.*, 2018). Par conséquent, il est nécessaire de sélectionner la méthode d'extraction appropriée ainsi que le solvant en fonction des propriétés de la matrice de l'échantillon, des propriétés chimiques des analytes, de l'interaction matrice-analyte (De Monte *et al.*, 2014; Cikoš *et al.*, 2018). Les techniques les plus courantes pour extraire les composés phénoliques utilisent des solvants, organiques ou inorganiques (Altemimi *et al.*, 2017). De nombreuses paramètres peuvent être influer sur le rendement en composés phénoliques, notamment le temps d'extraction, la température, le solvant utilisé pour l'échantillon ainsi que le type de solvant (Brglez Mojzer *et al.*, 2016). En outre, la différence entre le rendement des plantes utilisées dans cette étude est due au type de plante et au ses composés actifs. Le choix des solvants d'extraction tels que l'eau, l'acétone, l'acétate d'éthyle, alcools (méthanol, éthanol et propanol) et leurs mélanges influenceront sur les rendements en extraits phénoliques (Altemimi *et al.*, 2017; Sulaiman *et al.*, 2017). Outre le choix du solvant d'extraction optimal, il existe deux autres paramètres importants affectent le rendement des composés phénoliques des extraits des plantes médicinales qui sont le temps et la température d'extraction (Khoddami *et al.*, 2013; Sulaiman *et al.*, 2017).

**Tableau 08.** Le rendement d'extraction (%) des plantes étudiées.

Plante	Masse (gramme)	Rendement (%)
<i>Z. Album</i>	6,817	34,08
<i>T. Polium</i>	3,17	15,85
<i>P. rupestre</i>	2,5	12,5

## I.2 Analyses phytochimiques des extraits étudiées

### I.2.1 Dosage colorimétrique des composés phénoliques

Afin de caractériser quantitativement les extraits préparés à partir des parties aériennes des plantes étudiées, un dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes, des tanins condensés et hydrolysable a été effectué.

#### I.2.1.1 Dosage des polyphénols totaux

Les teneurs en composés phénoliques des différents extraits issus des espèces testées sont indiqués dans le tableau 09. D'après les résultats obtenus, tous les extraits montrent la présence de ces composés avec des teneurs varient entre  $12,16 \pm 0,4$  et  $105,21 \pm 2,5$  mg/g, ainsi, le taux le plus élevé a été détecté dans l'extrait aqueux de *T. Polium* ( $105,21 \pm 2,5$  mg/g) et *P. rupestre* ( $90,97 \pm 1,7$  m/g); tandis que, les teneurs les plus basses sont remarquées dans l'extrait de *Z. album* ( $12,16 \pm 0,4$  mg/g).

De plus, les composés présents dans une plante peuvent être de nature polaire ou non polaire. les composés phénolique sont plus solubles dans les solvants organiques polaires en raison de la présence d'un groupement hydroxyle, dont l'eau a été choisi comme un solvant d'extraction (Widyawati *et al.*, 2014; Khoddami *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2015; Elnour *et al.*, 2018).

Les analyses phytochimiques des extraits des plantes médicinales est une étape préliminaire, d'une grande importance, puisqu'elle révèle la présence des constituants bioactives responsables des vertus thérapeutiques (Wang *et al.*, 2018).

L'évaluation du contenu en polyphénols totaux adaptée par la méthode de Folin-Ciocalteu, indique que les trois espèces sont riches en composées phénoliques mais avec des valeurs variables fortement dépendantes de l'espèce botanique (facteur génétique) ou de la région de croissance de cette espèce (aspect géographique) (Konieczynski *et al.*, 2016).

Les résultats d'une étude réalisée par Fettah. (2019), sur l'extrait aqueuse de *Teucrium Polium L.Thymoïdes* de la région de Beni Souik à Biskra mesurée les composés phénoliques par la méthode de Folin-Ciocalteu. Montre des valeurs différentes de notre résultat avec teneurs de 49,89 mg/g. Ainsi, une autre étude a été faite sur l'extrait méthanolique de cette espèce récolté du nord de la Tunisie réalisée par Ghazghazia *et al.* (2013) montre des valeurs différentes et très faibles (3,47 mg/g). Cette différence dans les quantités peut être associée au solvant utilisé, la région et la saison de la récolte.

Les résultats obtenus par Haddouchi *et al.* (2014) sur l'extraits hydro-méthanolique des parties aériennes de *Phagnalon saxatile* subsp *rupestre* montrent que le niveau des teneurs en polyphénols totaux est plus faible ( $4,80 \pm 0,2$  mg/g) par la comparaison à celui de notre résultats. Dans le même contexte, nous remarquons que l'extrait aqueux de *Z. album* montre la présence des teneurs en polyphénols totaux avec une valeur de  $12,16 \pm 0,4$  mg/g et qui sont différentes aux ceux trouvés par Benhammou (2012) sur l'extrait méthanolique de *Z. album* ( $6,927 \pm 0,628$  mg/g).

De nombreuses espèces de genre *Phagnalon*, *Teucrium* et *Zygophyllum* sont utilisés depuis longtemps, ainsi, la plupart d'entre-elles sont des sources riches des composés phénoliques et terpénoïdes, et qu'elles contiennent également une grande quantité de divers glycosides iridoïdes, des flavonoïdes et des acides phénoliques tels que l'acide rosmarinique, acide caféique, acide férulique et d'autres composés phénoliques (**Conforti *et al.*, 2010; Rahim *et al.*, 2013; dos Santos *et al.*, 2018**).

#### I.2.1.2 Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode au trichlorure d'aluminium qui révèle les flavonoïdes en jaune (**Lagnika, 2005**). Les résultats montrent que les concentrations de ces composés dans les extrait aqueux des espèces étudiées varient entre  $11,98 \pm 1,3$  mg/g et  $94,63 \pm 0,5$  mg/g (**Tableau 09**). Ainsi, Les teneurs les plus élevées sont repérées chez les extraits de *T. polium* et *P. rupestre* avec un contenu de  $94,63 \pm 0,5$  mg/g et de  $71,73 \pm 0,7$  mg/g, respectivement. Tandis que les teneurs les plus faibles sont enregistrées chez l'extrait aqueux de *Z. album* ( $11,98 \pm 1,3$  mg/g).

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré la présence des flavonoïdes dans les extraits étudiés avec des quantités distinctes. Ceci est en accord avec des études antérieures sur ce type de dosage, en particulier l'étude réalisée par Ghazghazia *et al.*, 2013 sur l'extrait

méthanolique de *T. polium* de la Tunisie et qui montrent la présence des flavonoïdes avec une quantité de 2,67 mg/g.

Plusieurs études ont été effectuées sur le genre de *Phagnalon*, en outre, Haddouchi *et al.* (2014) indique la présence des flavonoïdes sur l'extrait hydro-méthanolique des parties aérienne de *P. saxatile* subsp. *rupestre* qui est de  $13,08 \pm 0,28$  mg/g, alors que l'extrait aqueux de *P. rupestre* testé dans ce travail montre la présence des teneurs fortes ( $71,73 \pm 0,7$  mg/g). De même, Nous constatons que nos résultats sur l'extrait aqueux de *Z. album* montrent la teneur des flavonoïdes totaux avec une valeur de  $11,98 \pm 1,3$  mg/g, qui sont supérieures à celle obtenue par Benhammou (2012) sur l'extrait méthanolique de *Z. album* avec une concentration de  $1,610 \pm 0,02$  mg/g. En effet, la différence existée dans la composition phytochimique des composés flavonoïdiques présente dans les différentes espèces est induite en réponse à l'influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la synthèse des métaboliques secondaires par la plante comme les agents pathogènes, température, lumière et humidité (Wang, *et al.*, 2018).

#### I.2.1.3 Dosage des tannins condensés et hydrolysables

Les tanins; compris les tanins condensés et hydrolysables; sont un groupe important des métabolites secondaires présents dans les plantes et qui possèdent des activités bénéfiques, surtout l'activité antioxydante qui fait l'objet de notre étude. En effet, Ils peuvent éliminer les radicaux libres en fonction de leur capacité de donneur d'électrons. Ils sont également importants dans l'industrie alimentaire, en raison de sa capacité à réduire la peroxydation des lipides (Cirkovic Velickovic et Stanic-Vucinic, 2018).

Les résultats obtenus lors du dosage des tanins hydrolysables indiqués dans le tableau 9, montrent que les teneurs de ces composés varient entre  $10,12 \pm 2$  et  $22,79 \pm 0,7$  mg/g. Les taux les plus élevés ont été détectés dans l'extrait aqueux de *T. Polium* avec une concentration de  $22,79 \pm 0,7$  mg/g, suivi par l'extrait de *P. rupestre* ( $20,4 \pm 0,7$  mg/g); alors que, les teneurs les plus faibles sont remarquées dans l'extrait de *Z. album* ( $10,12 \pm 2$  mg/g).

En suivant notre connaissance bibliographique, aucune étude a été effectuée sur la composition chimique des tanins hydrolysables sur les extraits aqueux de plantes étudiées. Notre étude montre la richesse de *T. Polium* et *P. rupestre* en tanins hydrolysables par contre, l'extrait aqueux de *Z. album* présente une faible concentration.



Concernant la quantification des teneurs en tanins condensés totaux, les extraits aqueux testés montrent la présence des faibles concentrations et légèrement semblables avec des valeurs comprises de  $1,16 \pm 0,2$  mg /g chez *Z. album* et  $1,33 \pm 0,2$  mg/g chez *T. Polium*. Les résultats obtenus montrent que d'extrait aqueux de *Z. album* présente une légère différence à ceux obtenus par Mahdi Belguidoum *et al.* (2015) sur l'extrait hydro-éthanolique de *Z. album* du sud d'Algérie ( $197,875 \pm 25,46$  µg/g). Ainsi, Nos résultats montrent une similitude avec ceux trouvés par l'étude exécutée par Hadouchi *et al.* (2014) sur l'extrait hydro-méthanolique des parties aériennes de *P. saxatile* subsp. *saxatile* récoltées de la région de Tlemcen (Algérie) qui ont dosé les tanins condensés et obtenu les valeurs de  $3,21 \pm 0,19$  mg/g. Ces résultats montrent que cette espèce possède une faible dose des tanins condensés avec une légère similitude comparativement à nos résultats ( $1,19 \pm 0,5$  mg/g).

**Tableau 09.** Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins condensés et hydrolysables des extraits aqueux de trois plantes étudiées.

Plante	Polyphénols totaux (mg/g)	Flavonoïdes totaux (mg/g)	Tanins condensés (mg/g)	Tanins hydrolysables (mg/g)
<i>P. rupestre</i>	$90,97 \pm 1,7^a$	$71,73 \pm 0,7^a$	$1,19 \pm 0,5^a$	$20,4 \pm 0,7^a$
<i>T. polium</i>	$105,21 \pm 2,5^a$	$94,63 \pm 0,5^b$	$1,33 \pm 0,2^a$	$22,79 \pm 0,7^a$
<i>Z. album</i>	$12,16 \pm 0,4^b$	$11,98 \pm 1,3^c$	$1,16 \pm 0,2^a$	$10,12 \pm 2^b$

Les valeurs des teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et en tanins condensés et hydrolysables sont exprimées en mg équivalent d'un standard par g de matière sèche (moyenne  $\pm$  SD). Les différentes lettres signifient des différences significatives entre les différents extraits de plantes testées ( $p < 0,05$ ).

### I.2.2 Screening phytochimique

Cette étude permet de déterminer les différents groupes chimiques contenus dans un organe végétal. Ainsi, Des réactions physicochimiques sont réalisées. La phytochimie qualitative est basée sur des réactions colorées ou de précipitation par des réactifs chimiques spécifiques exécutée sur des extraits à partir de poudre lyophilisée de chaque échantillon végétal qui génère pour une première estimation des données préliminaires sur les constituants des extraits.

Les principaux groupes phytochimiques détectés par ce screening préliminaire sont les alcaloïdes, les amines, les glucosides, les huiles essentielles, les polyphénols (flavonoïdes, coumarines, quinones et tannins), les saponines, les stéroïdes et les terpénoïdes. Les résultats de criblage phytochimique sont résumés dans le tableau 10 et montrent que l'extrait aqueux de *T. polium* est riche en amines, flavonoïdes, coumarines, quinones, stéroïdes et en tanin, tandis qu'il est dépourvu en huiles essentielles, alcaloïdes, glucosides et en saponines. De même, l'extrait aqueux de *Z. album* est riche en amines, coumarines, flavonoïdes, huiles essentielles, quinones, saponines, stéroïdes et en tanins. Tandis, plusieurs composés secondaires sont mis en évidence des amines, des coumarines, des flavonoïdes, des quinones, des stéroïdes et des terpénoïdes dans l'extrait aqueux de *P. rupestre*, mais l'extrait est pauvre en alcaloïdes, glucosides et en saponines.

La mise en évidence des flavonoïdes, des coumarines, des quinones et des tanins dans les différents extraits étudiés sont confirmés par des dosages spectrophotométriques.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Aouadhi *et al.* (2013) sur l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* L. *capitatum* collecté de Tunisie, et qu'ils révèlent la présence des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins par une quantification colorimétrique. Ainsi Malki *et al.* (2017) illustrent la présence de différents groupes chimiques (flavonoïdes, anthocyanines, tanins galliques, saponines, terpènes, *O*-hétérosides à génines réduites, *C*-hétérosides, huiles essentielles, glycosides) sur l'extrait méthanolique avec l'absence des tanins catéchiques et des coumarines qui sont présents dans ce présent travail. D'autres travaux sur la composition chimique effectuée par des tests préliminaires de coloration établis par Khammes et Oucif Lebehi (2017) sur l'extrait méthanolique de *Z. album* révèlent la présence des alcaloïdes, des flavonoïdes, des saponines, des tanins et des terpénoïdes.

Des travaux antérieurs sur l'extrait brut du *P. rupestre* signalent la présence des flavonoïdes et terpénoïdes (**Bicchi *et al.*, 1979; Dolci et Tira., 1982**).

Tableau 10. Résultats de test phytochimique des extraits des plantes étudiées.

	<b>T.polium</b>	<b>P.rupestre</b>	<b>Z.album</b>
<b>Amines</b>	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Coumarines</b>	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Flavonoïdes</b>	+ +	+ +	+ +
<b>Glucosides</b>	+	+	+
<b>Huile essentielles</b>	-	-	+ + +
<b>Quinones</b>	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Saponines</b>	-	-	+ + +
<b>Stéroïdes</b>	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Tanins</b>	+ + +	+ + +	+ + +
<b>Terpénoïdes</b>	+ +	+ +	-
<b>Alcaloïdes</b>	-	-	-

(+) : Présence faible; (+ +) : Présence moyenne; (+ + +) : Présence forte; (-) : Absence.

## II. Détermination de l'activité antioxydante

La capacité antioxydante des aliments, des plantes médicinales et des fruits est déterminée par le mélange de différents antioxydants présents, et qui réagissent par différents mécanismes d'action, parmi lesquels des interactions synergiques. Il est nécessaire de combiner plusieurs méthodes afin de déterminer *in vitro* la capacité antioxydante de ces plantes (Almeida *et al.*, 2011).

### II.1 Piégeage du radical libre DPPH

La méthode de piégeage du radical DPPH est parmi les méthodes spectrophotométriques les plus répondues et très utilisées pour l'évaluation de la capacité des antioxydants naturels comme d'extraits de plantes, de végétaux, de fruits et des composés chimiques (Burgoset *al.*, 2013). L'estimation de l'activité antioxydante des extraits aqueux de *P. rupestre*, *T. polium* et *Z. album* est effectuée ainsi leurs activités sont comparées à celles de l'acide ascorbique (vitamine C), la catéchine et le Trolox qui sont des antioxydants

synthétiques connus par leurs propriétés antioxydantes et sont couramment utilisés comme substances de référence.

Les valeurs de la concentration inhibitrice 50 (IC<sub>50</sub>) des différents extraits bruts et standards sont représentées dans le tableau 11, qui est un paramètre employé pour quantifier l'activité antioxydante d'un produit chimique. L'IC<sub>50</sub> d'une substance antioxydante correspond à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % d'un oxydant impliqué. Plus cette concentration est faible plus l'effet antioxydant est très élevé (Chen *et al.*, 2013).

A des fins comparatives, les trois antioxydants standards concernant l'acide ascorbique, la catéchine et le Trolox, ont montré des activités antioxydantes importantes présentant des IC<sub>50</sub> avec des valeurs respectivement de  $0,45 \pm 0,02$ ;  $1,0493 \pm 0,01$  et  $2,76 \pm 0,04$  µg/mL.

Tous d'abord, l'extrait aqueux des feuille de *T. polium* a montré une activité antioxydante plus au moins élevée comparativement à celle de deux autres plantes étudiées avec une IC<sub>50</sub> =  $13,53 \pm 0,01$  µg/mL suivie par *P. rupestre* (IC<sub>50</sub> =  $19,83 \pm 0,01$  µg/mL) et ensuite *Z. album* (IC<sub>50</sub> =  $572,8 \pm 0,1$  µg/mL) (Tableau 11). Nous remarquons que Les trois extraits bruts des plantes testées s'avèrent moins actifs en comparaison avec les antioxydants standards.

Le potentiel antioxydant remarqué sur l'extrait de *T. polium* est supérieure à celui trouvée par plusieurs travaux antérieurs. Ainsi, Fettah. (2019) a démontré que l'extrait aqueuse de même espèce de la région de Beni Souik à Biskra possède une IC<sub>50</sub> de 129,92µg/mL. De même, Ghazghazi *et al.* (2013) ont montrés que l'extrait méthanolique de *T. polium* récolté de la Tunisie donne une IC<sub>50</sub> de 22µg/ml. Aussi, l'extrait brut de la partie aérienne de *P. rupestre* a exhibé une forte activité antioxydante avec une IC<sub>50</sub> de  $19,83 \pm 0,01$ µg/ml. Cette activité est supérieure à celle trouvée par Haddouchi *et al.* (2014) sur l'extrait hydro-méthanolique des parties aériennes de *P. saxatile* de la région de Tlemcen, avec une IC<sub>50</sub> de  $129,77 \pm 0,55$  µg/mL. En outre, l'extrait aqueux de *Z. album* présente une très faible activité antioxydante par-rapport aux autres plantes et les antioxydants de référence. Des travaux similaires sont réalisés par Belmimoun *et al.* (2016) sur l'extrait méthanolique et l'huile essentielle des parties aérienne de *Z. album* de la région de Sidi Khouiled à Ouargla ont trouvés que les extrais présentent des très faibles activités antioxydantes comparativement aux notre extrait, avec une IC<sub>50</sub> de 6016 µg/ml pour les huiles essentielles et 1017 µg/ml pour l'extrait méthanolique.

## II.2 Pouvoir réducteur de l'ion ferrique (FRAP)

Le test FRAP est plus réponde pour déterminer la capacité antioxydante des extraits végétaux à réduire les ions ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (El Jemli *et al.*, 2016).

Les résultats observés dans les extraits bruts des plantes étudiées sont illustrés dans le tableau 11. La capacité réductrice d'ion ferrique obtenue est variable entre les trois plantes étudiées. Elle est plus ou moins importante dans les extraits bruts de *T. Polium* et *P. rupestre* avec des  $\text{IC}_{50}$  de  $42,6 \pm 0,001$  et de  $42,79 \pm 0,001$   $\mu\text{g/mL}$  respectivement. Tandis que, l'extrait aqueux de *Z. album* présente un faible pouvoir réducteur dont la valeur d' $\text{IC}_{50}$  est de  $741,9 \pm 0,02$   $\mu\text{g/mL}$ . Nous remarquons que tous les extraits testés s'avèrent moins actifs en les comparants avec les contrôles positifs.

L'extrait aqueux de *T. polium* a montré une capacité considérable de réduction comparativement aux deux autres plantes étudiées et aux substances de référence, avec une  $\text{IC}_{50}$  de  $42,6 \pm 0,001$   $\mu\text{g/mL}$ . Dans ce même contexte, Une étude établie par Malki *et al.* (2017) sur les extraits éthanoliques des feuilles de *T. polium* appartiennent de deux régions de l'est d'Algérie; Biskra et Sétif; testés par l'essai de FRAP. Ces extraits ont montrés simultanément, qu'ils contiennent de faible activité comparativement à nos résultats obtenus avec des  $\text{IC}_{50}$  de  $0,954 \pm 0,30$  et  $0,79 \pm 0,19$   $\text{mg/mL}$  de la Wilaya de Biskra et Sétif respectivement.

Pareillement, l'extrait aqueux de *P. rupestre* a montré une capacité de chélation des ions ferriques comparable à celle de *T. polium* et plus élevée à celle de *Z. album* ( $\text{IC}_{50} = 42,79 \pm 0,001$   $\mu\text{g} /\text{mL}$ ). D'après les résultats observés, l'extrait de *P. rupestre* enregistre un bon pouvoir réducteur comparativement à une étude réalisée par Haddouchi *et al.* (2014) sur l'extrait hydro-méthanolique des parties aériennes de *P. saxatile* testé par la méthode de FRAP avec une valeur d' $\text{IC}_{50}$  de  $3335,4 \pm 16,95$   $\mu\text{g/mL}$ .

L'extrait aqueux de *Z. album* a montré un très faible effet antioxydant comparativement aux autres extraits avec une  $\text{IC}_{50}$  de  $741,9 \pm 0,02$   $\mu\text{g/mL}$ . La valeur enregistrée est supérieure à celle trouvée par Rafi *et al.* (2016) sur l'extrait aqueux des parties aériennes de *Z. album* de la région de sud d'Algérie avec une  $\text{IC}_{50}$  de  $2399,65 \pm 12,31$   $\mu\text{g/mL}$ .

### II.3 Test de blanchiment de $\beta$ -carotène / acide linoléique

Le pourcentage d'inhibition de l'activité antioxydante par le test de blanchiment de système  $\beta$ -carotène/acide linoléique est proportionnel à la concentration des antioxydants naturels présents. Tous les extraits des plantes inhibent le blanchiment du  $\beta$ -carotène.

Les résultats obtenus sont soulignés dans le tableau 11 et montré que les extraits bruts de *P. rupestre* et *T. polium* contiennent une forte activité inhibitrice contre l'oxydation de  $\beta$ -carotène avec des  $IC_{50}$  de  $5,35 \pm 0,005 \mu\text{g/mL}$  et  $5,24 \pm 0,005 \mu\text{g/mL}$ , respectivement, suivi par *Z. album* avec l'enregistrement d'une activité de  $54,04 \pm 0,001 \mu\text{g/mL}$ . Les valeurs d' $IC_{50}$  des extraits sont comparées avec celle de Trolox ( $IC_{50} = 20,375 \pm 2 \mu\text{g/mL}$ ).

L'extrait aqueux de *T. polium* donne une activité importante à inhiber l'oxydation du  $\beta$ -carotène avec  $IC_{50}$  de  $5,24 \pm 0,005 \mu\text{g/mL}$  qui est comparable à celle de l'extrait de *P. rupestre* ( $IC_{50} = 5,35 \pm 0,005 \mu\text{g/mL}$ ) et quatre fois supérieure à celle de Trolox ( $IC_{50} = 20,375 \pm 2 \mu\text{g/mL}$ ). Les résultats obtenus sur l'extrait brut de *T. polium* enregistrent une forte activité inhibitrice comparativement à ceux enregistrés par Ljubuncic, et al. (2006) sur l'extrait aqueux des parties aériennes de germandrée tomenteuse Palestinienne, qui ont souligné une  $IC_{50} = 60,0 \pm 2,4 \mu\text{g/mL}$ . Également, L'extrait aqueux de *P. rupestre* montre une activité puissante avec une valeur d' $IC_{50}$  de  $5,35 \pm 0,005 \mu\text{g/mL}$  qui est quatre fois très élevée par rapport le Trolox. Par contre, l'extrait aqueux de *Z. album* présente une faible activité pour empêcher le blanchement du  $\beta$ -carotène avec  $IC_{50}$  de  $54,04 \pm 0,001 \mu\text{g/mL}$  comparativement aux autres extraits ainsi le contrôle positif.

Selon nos connaissances bibliographiques, Les deux extraits de plantes à savoir la plante méditerranéenne *P. rupestre* et l'espèce endémique Saharo-méditerranéenne *Z. album* ont été examinées pour leurs activités antioxydantes au moyen de test FRAP et le test de  $\beta$ -carotène pour la première fois.

Ces résultats nous ont permis de conclure que les extraits de deux espèces prélevées de la région d'Oran; *T. Polium* et *P. rupestre*; présentent des bonnes activités antioxydantes, leurs fortes activités peuvent être attribuées à l'effet antioxydant collectif (effet de synergie) de différents flavonoïdes et autres phytoconstituants de différents groupes chimiques (**Kumar et al., 2013; Bag et Chattopadhyay, 2015**).

En générale, les résultats observés dans l'activité antioxydante montrent que les extraits les plus actifs contiennent des quantités considérables en composés phénoliques. Plusieurs études ont montrés les propriétés antioxydantes des composés phénoliques présentes dans les extraits des plantes (**Tungmunnithum et al., 2018**). La différence existée dans l'activité entre les extraits peut être provient à la différence dans la quantité ainsi de la qualité des constituants phytochimiques présents au niveaux des parties de ces plantes étudiées, la synthèse et distribution de phytoconstituants aux différentes parties de plantes qui sont influées selon l'espèce botanique (facteur génétique), la région de la récolte (facteurs environnementales), le climat et la saison de la récolte (**Liu et al., 2016; Altemimi et al., 2017; Kumar et al., 2017**).

**Tableau 11.** Activité antioxydante des extraits aqueux de trois plantes étudiées mesurée par trois méthodes différentes.

Activité antioxydante (valeurs d'IC <sub>50</sub> en µg/mL)	<i>P. rupestre</i>	<i>T. polium</i>	<i>Z. album</i>	Acide* ascorbique	Catéchine*	Trolox*
Test de DPPH	19,83 ± 0,01 <sup>b</sup>	13,53 ± 0,01 <sup>a</sup>	572,8 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,45 ± 0,02	1,0493 ± 0,01	2,76 ± 0,04
Test de pouvoir réducteur	42,79 ± 0,001 <sup>a</sup>	42,6 ± 0,001 <sup>a</sup>	741,9 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,32 ± 0,01	2,9 ± 0,4	3,271 ± 0,01
Test de β-carotène	5,35 ± 0,005 <sup>a</sup>	5,24 ± 0,005 <sup>a</sup>	54,04 ± 0,001 <sup>b</sup>	n.d	n.d	20,375 ± 2

\* 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 IC<sub>50</sub> (moyenne ± SD), ce qui signifie que plus cette valeur est faible, plus le pouvoir antioxydant est fort. IC<sub>50</sub>: 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).



**CONCLUSION**

**ET**

**PERSPECTIVES**

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Le travail entrepris a pour objectif de valoriser trois plantes médicinales largement utilisées dans la médecine traditionnelle algérienne et maghrébine. Les espèces choisies pour cette étude sont: *P. rupestre*, *T. polium* et *Z. album*. Les résultats des études expérimentales nous ont permis de mieux connaître le profil phytochimique et la capacité antioxydante de ces espèces.

Le screening phytochimique, en tant qu'analyse qualitative, mis en évidence la richesse de ces espèces en métabolites secondaires avec les profils suivants:

-une prédominance des coumarines, des stéroïdes, des quinones, et des tanins catéchiques chez les différents extraits des plantes testées.

-la présence exceptionnelle des saponosides et des huiles essentielles chez *Z.album*.

-la détection des terpénoïdes chez les extraits aqueux de *P. rupestre* et *T.polium*.

L'analyse quantitative des extraits des plantes est représentée par le dosage colorimétrique des trois substances bioactives: les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins. L'extrait brut de *T. polium* est le plus riche en métabolites dosés avec des teneurs considérables, suivie par l'extrait aqueux de *P. rupestre*. Tandis que l'extrait aqueux de *Z. album* présente les teneurs les plus faibles.

En outre, une détermination de la capacité antioxydante des extraits bruts de ces espèces par trois tests différents, a montré que *T. polium* ainsi que *P. rupestre* exhibent un pouvoir antioxydant intéressant suggérant leur utilisation dans un but thérapeutique ou industriel. Ces deux extraits testés par l'essai de  $\beta$ -carotène montrent également un potentiel antioxydant plus élevé comparativement à trolox.

Enfin, l'ensemble de ces résultats obtenus *in vitro* ne constitue qu'une première étape dans la recherche des substances naturelles biologiquement actives. Il serait judicieux de poursuivre ce travail par:

-isolement des principes actifs responsables de cette activité et leurs évaluations biologiques par des tests *in vivo* sur des modèles animaux ainsi que la détermination de leurs toxicités éventuelles, en préalable à leurs évaluations cliniques.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

---

-exécuter d'autres activités biologiques comme l'activité antidiabétique, anti-inflammatoire et anticancéreuse.

-tester les activités biologiques des autres parties de plantes.

-extraire d'autres substances bioactives telles que les alcaloïdes

**REFERENCE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

### A

- Abadian, K., Keshavarz, Z., Mojab, F., & Bromand, N. (2017). The Biological Effects of *Teucrium polium* on the Severity of Primary Dysmenorrhea. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 3, 3: 453-456.
- Ahmad, H., Khalique, A., Naveed, S., Zia, M.W., Rasool, Z., Zahid, U., & Moeed, A. (2017). Efficacy of a synthetic antioxidant treatment in stabilizing poultry byproduct meal and subsequent impact of the treated meal on selected growth parameters of broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19, 3: 471-480.
- Algeciras-Schimnich, A., Cook, W. J., Milz, T. C., Saenger, A. K., & Karon, B. S. (2007). Evaluation of hemoglobin interference in capillary heel-Stick samples collected for determination of neonatal bilirubin. *Clinical Biochemistry*, 40, 1311 – 1316.
- Ali, N., Shah, S.S. W.A., Shah, I., Ahmed, G., Ghias, M., Khan, I., 2011. Cytotoxic and anthelmintic potential of crude saponins isolated from *Achillea Wilhelmsii* C. Koch and *Teucrium Stocksianum* boiss. *BMC Complementary Altern. Med.* 11, 106.
- Ali-Shtayeh, M. S., Yaghmour, R. M. R., Faidi, Y. R., Salem, K., & Al-Nuri, M. A. (1998). Antimicrobial activity of 20 plants used in folkloric medicine in the Palestinian area. *Journal of Ethnopharmacology*, 60(3), 265-271.
- Almeida, M.M.B., de Sousa, P.H.M., Arriaga, Â.M.C., do Prado, G.M., de Carvalho Magalhães, C.E., Maia, G.A., & de Lemos, T.L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 7: 2155-2159.
- Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D., & Lightfoot, D. (2017). Phytochemicals: Extraction, isolation, and identification of bioactive compounds from plant extracts. *Plants*, 6, 4: 42.
- Alzahrani, D.A., & Albokhari, E.J. (2017). Systematic studies on the Zygophyllaceae of Saudi Arabia: a new variety and new variety combination in *Tetraena*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24, 7: 1574-1579.
- Arab, K., Bouchenak, O., & Yahiaoui, K. (2014). Phytochemical study and evaluation of the antimicrobial and antioxidant activity of essential oils and phenolic compounds of *Pistacia lentiscus* l. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 6(1), 77-91.
- Atanasov, A.G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E.M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., Temml, V., Wang, L., Schwaiger, S., Heiss, E.H., Rollinger, J.M., Schuster,

D., Breuss, J.M. Bochkov, V., Mihovilovic, M.D., Kopp, B., Bauer, R., Dirsch, M.V., & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology advances*, 33, 8: 1582-1614.

- Atta, A.H., & Mouneir, S.M. (2004). Antidiarrhoeal activity of some Egyptian medicinal plant extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 92, (2-3): 303-309.
- Atta, E.M., Mohamed, N.H., & Abdelgawad, A.A. (2017). Antioxidants: an overview on the natural and synthetic types. *European Chemical Bulletin*, 6, 8: 365-375.

### B

- Bag, A., & Chattopadhyay, R.R. (2015). Evaluation of synergistic antibacterial and antioxidant efficacy of essential oils of spices and herbs in combination. *PloS one*, 10, 7.
- Barros, L., Pereira, E., Calhelha, R.C., Dueñas, M., Carvalho, A.M., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., (2013). Bioactivity and chemical characterization in hydrophilic and lipophilic compounds of *Chenopodium ambrosioides* L. *Journal of Functional Foods*, 5,4, 1732-1740.
- Basli, A., Belkacem, N., & Amrani, I. (2017). Health benefits of phenolic compounds against cancers. *Phenolic compounds–biological activity*. IntechOpen, London, pp. 193-210.
- Beaudeau, J. L., & Geneviève, D. (2011). *Biochimie médicale : Marqueurs actuels et perspectives*. 2ème édition. Edition Lavoisier Chantal Arpino, p 130 , 131.
- Bekro, Y.A., Mamyrbekova, J. A., Boua, B. B., Bi, F. T., Ehile, E. E. (2007). Etude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpinaceae). *Sciences & Nature*, 4,2, 217-225.
- Bellakhdar, J. (1997). *La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires*. le Fennec, Casablanca, pp. 129-533.
- Belguidoum, M., Dendougui, H., & Kendour, Z. (2015). In vitro antioxidant properties and phenolic contents of *Zygophyllum album* L. from Algeria. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7, 510-4.
- Belmimoun, A., Meddah, B., Meddah, A.T., & Sonnet, P. (2016). Antibacterial and antioxidant activities of the essential oils and phenolic extracts of *Myrtus communis* and *Zygophyllum album* from Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(2), 510-524.

- Benhammou, N. (2012). *Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien* (Doctoral dissertation).
- Benzie, I.F., & Devaki, M. (2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. *Measurement of antioxidant activity & capacity: recent trends and applications*. Wiley, New York, pp. 77-106.
- Berger, M.M. (2005). Can oxydatif damage be treated nutritionally? *Clinical nutrition*, 24: 172-183
- Bhuyan, D.J., & Basu, A. (2017). Phenolic compounds potential health benefits and toxicity. In *Utilisation of bioactive compounds from agricultural and food production waste*. CRC Press, pp. 27-59.
- Bicchi C., Frattini C., Nano G.M., Tira S., 1979. Hexahydrofarnesylacetone from *Phagnalon rupestre* *Relata Technica*; 11:64.
- Blainski, A., Lopes, G., & de Mello, J. (2013). Application and analysis of the Folin-Ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *Limonium brasiliense* L. *Molecules*, 18,6, 6852-6865.
- Blanco, G., & Blanco, A. (2017). *Medical biochemistry, defense mechanisms against reactive oxygen species*. Academic Press.
- Bonnefont-Rousselot D et Collin F. (2010) Melatonin: action as antioxidant and potential applications in human disease and aging. *Toxicology*, 278; 55-67.
- Bouayed, J., & Bohn, T. (2012). Dietary derived antioxidants: implications on health. In *Nutrition, well-being and health*. IntechOpen.
- Boubekri, N., Belloum, Z., Boukaabache, R., Amrani, A., Kahoul, N., Hamama, W., Zama, D., Boumaza, O., Bouriche, H. , Benayache, F., & Benayache, S. (2014). In vivo anti-inflammatory and in vitro antioxidant activities of *Genista quadriflora* Munby extracts. *Der Pharmacia Lettre*,6, 1: 1-7.
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*, 21, 7: 901.
- Brunneton J (1999). Flavonoïdes. In : *Pharmacognosie, Phytochimie: Plantes médicinales*, 3ème édition, Technique et Documentation (Paris), pp: 310-353.
- Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., Díaz, C., & Bonierbale, M. (2013). Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid

concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30, 1: 6-12.

### C

- Çabuk, H. (2017). Liquid chromatographic determination of synthetic antioxidant content of some vegetable oils produced in Turkey. *GIDA/The Journal of FOOD*, 42, 1.
- Cahyono, B. (2015). Optimization of eugenol extraction from clove oil using response surface methodology. *Modern Applied Science*, 9, 11: 68.
- Carocho, M., & Ferreira, I.C.R. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51: 15-25.
- Carocho, M., & Ferreira, I.C.R. (2013). The role of phenolic compounds in the fight against cancer—a review. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)*, 13, 8: 1236-1258.
- Cegielska, B., & Kacprzak, K.M. (2009). Simple and convenient protocol for staining of organic azides on TLC plates by ninhydrin. A new application of an old reagent. *Chemia Analityczna*, 54, 4: 807.
- Chen, Z., Bertin, R., & Froldi, G. (2013). EC50 estimation of antioxidant activity in DPPH assay using several statistical programs. *Food Chemistry*, 138, 1: 414-420.
- Chung Y., Chien C., Teng K. Chou T. (2006). Antioxydant and mutagenic properties of *Zanthoxylum ailanthoides* Sieb and Zucc. *Food Chemistry*, 97: 418-425.
- Cikoš, A.M., Jokić, S., Šubarić, D., & Jerković, I. (2018). Overview on the application of modern methods for the extraction of bioactive compounds from marine macroalgae. *Marine drugs*, 16, 10: 348.
- Cirkovic Velickovic, T.D., & Stanic-Vucinic, D.J. (2018). The role of dietary phenolic compounds in protein digestion and processing technologies to improve their antinutritive properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 1: 82-103.
- Conforti, F., Rigano, D., Formisano, C., Bruno, M., Loizzo, M. R., Menichini, F., & Senatore, F. (2010). Metabolite profile and in vitro activities of *Phagnalon saxatile* (L.) Cass. relevant to treatment of Alzheimer's disease. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, 25(1), 97-104.



- Cozzani, S., Muselli, A., Desjobert, J.M., Bernardini, A.F., Tomi, F., & Casanova, J. (2005). Chemical composition of essential oil of *Teucrium polium* subsp. *capitatum* (L.) from Corsica. *Flavour and Fragrance Journal*, 20,4: 436-441.
- Cushnie, T.T., Cushnie, B., & Lamb, A.J. (2014). Alkaloids: an overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 44, 5: 377-386.
- Cuevas-Valenzuela, J., Vergara-Salinas, J.R., Pérez-Correa, J.R., (2016). Advances in technologies for producing food-relevant polyphenols. CRC Press, Boca Raton, pp. 335.

### D

- Davide, G. W. (2015). Encyclopedia of Mind Enhancing, Foods, Drugs and Nutritional Substances. Second edition. Edition Mcfarland & Company, Inc, Publishers Jefferson, North Carolina, p 166.
- de la Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, O.J., Rodrigo-García, J., Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds in Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables, pp. 253-271.
- de Lima Silva, L., Heldwein, C.G., Reetz, L.G.B., Zanella, R., Pereira, A.M.S., & Heinzmann, B.M. (2015). Influence of extraction method on antibacterial activity of ethanolic extracts of *Ocimum gratissimum* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 9, 7: 199-206.
- De Marino, S., Festa, C., Zollo, F., Incollingo, F., Raimo, G., Evangelista, G., & Iorizzi, M. (2012). Antioxidant activity of phenolic and phenylethanoid glycosides from *Teucrium polium* L. *Food chemistry*, 133(1), 21-28.
- De Monte, C., Carradori, S., Granese, A., Di Pierro, G. B., Leonardo, C., & De Nunzio, C. (2014). Modern extraction techniques and their impact on the pharmacological profile of *Serenoa repens* extracts for the treatment of lower urinary tract symptoms. *BMC Urology*, 14, 1: 63.
- Dewanjee, S., Gangopadhyay, M., Bhattacharya, N., Khanra, R., & Dua, T.K. (2015). Bioautography and its scope in the field of natural product chemistry. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 5, 2: 75-84.
- 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*, 10.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

- Dias, R.T., Alves, G.M., Casal, S., Oliveira, F.P., & Silva, M.B. (2017). Promising potential of dietary (poly) phenolic compounds in the prevention and treatment of diabetes mellitus. *Current Medicinal Chemistry*, 24, 4: 334-354.
- Dohou, R., Yamni, K., Tahrouch, S., Hassani, L.I., Badoc, A., & Gmira, N. (2003). Screening phytochimique d'une endémique iberomarocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin-Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142: 61-78.
- Dolci M., Tira S., 1982. Flavonoids of Gnaphalieae: Phagnalon species. Auj dell 'Accademia delle Scienze di Torino, Classe Sci Pis Mater Nat 116:315-18.
- dos Santos, T.C., Gomes, T.M., Pinto, B.A.S., Camara, A.L., & de Andrade Paes, A.M. (2018). Naturally occurring acetylcholinesterase inhibitors and their potential use for Alzheimer's disease therapy. *Frontiers in Pharmacology*,
- Duong, T.T.H., Chami, B., McMahon, A.C., Fong, G.M., Dennis, J.M., Freedman, S.B., & Witting, P.K. (2014). Pre-treatment with the synthetic antioxidant T-butyl bisphenol protects cerebral tissues from experimental ischemia reperfusion injury. *Journal of neurochemistry*, 130, 6: 733-747.
- Duret, T. (2011). Découverte de Phagnalon rupestre (L.) DC. dans les Alpes-Maritimes. Publications de la Société Linnéenne de Lyon,80(3), 79-88.

### E

- Egert S. et rimbach G. (2011) which sources of flavonoids: complex or dietary supplements?. *Advances in nutrition*,2;8-14.
- El Atki, Y., Aouam, I., El Kamari, F., Taroq, A., Lyoussi, B., Oumokhtar, B., & Abdellaoui, A. (2019). Phytochemistry, antioxidant and antibacterial activities of two Moroccan *Teucrium polium* L. subspecies: Preventive approach against nosocomial infections. *Arabian Journal of Chemistry*.
- El Ajjouri M., Ghanmi M., Satrani B., Amarti F., Rahouti M., Aafi A., Ismail M.R. and Farah A. (2013). Composition chimique et activité antifongique des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. et *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. contre les champignons de pourriture du bois. *Acta Botanica Gallica*, 157: 285-294.
- El Ghoul, J., Smiri, M., Ghrab, S., Boughattas, N.A., & Ben-Attia, M. (2012). Antihyperglycemic, antihyperlipidemic and antioxidant activities of traditional aqueous extract of *Zygophyllum album* in streptozotocin diabetic mice. *Pathophysiology*, 19, 1: 35-42.

- El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., Lyoussi, B., 2003. Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plant in Taounate province (Northern Morocco). *Journal of Ethnopharmacology*, 86: 149-158.
- El Hilaly, J., Tahraoui, A., Israili, Z.H., & Lyoussi, B. (2006). Hypolipidemic effects of acute and sub-chronic administration of an aqueous extract of *Ajuga iva* L. whole plant in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 105: 441-448.
- El Hilaly, J., Tahraoui, A., Israili, Z.H., & Lyoussi, B. (2007). Acute hypoglycemic, hypocholesterolemic and hypotriglyceridemic effects of continuous intravenous infusion of a lyophilised aqueous extract of *Ajuga iva* L. Schreber whole plant in streptozotocin-induced diabetic rats. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20, 261-268.
- El Jemli, M., Kamal, R., Marmouzi, I., Zerrouki, A., Cherrah, Y., & Alaoui, K. (2016). Radical-scavenging activity and ferric reducing ability of *Juniperus thurifera* (L.), *J. oxycedrus* (L.), *J. phoenicea* (L.) and *Tetraclinis articulata* (L.). *Advances in Pharmacological Sciences*, 2016.
- El Yahyaoui, O., Ouaziz, N. A., Guinda, I., Sammama, A., Kerrouri, S., Bouabid, B., El Bakkall, M., Quayou, A., Lrhorfi, L.A., Bengueddour, R. (2017). Phytochemical screening and thin layer chromatography of two medicinal plants: *Adansonia digitata* (Bombacaceae) and *Acacia raddiana* (Fabaceae). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6,1, 10-15.
- Elmasri, W. A., Hegazy, M.-E. F., Aziz, M., Koksai, E., Amor, W., Mechref, Y., Hamood, A. N., Cordes, D. B., Pare, P. W., 2014a. Biofilm blocking sesquiterpenes from *Teucrium polium*. *Phytochemistry* 103, 107-113.
- Elmasri, W. A., Yang, T., Tran, P., Hegazy, M. F., Hamood, A. N., Mechref, Y., Pare, P. W., 2014b. *Teucrium polium* Phenylethanol and Iridoid Glycoside Characterization and Flavonoid Inhibition of Biofilm-Forming *Staphylococcus aureus*. *J Nat Prod.* Ahead of print.
- Elmasri, W.A., Hegazy, M.E.F., Mechref, Y., & Paré, P. W. (2016). Structure-antioxidant and anti-tumor activity of *Teucrium polium* phytochemicals. *Phytochemistry letters*, 15, 81-87.
- Elmasri, W.A., Hegazy, M.E.F., Mechref, Y., Pare, P.W., 2015a. Cytotoxic saponin poliusaposide from *Teucrium polium*. *RSC Adv*. 5, 27126–27133.
- Elmasri, W.A., Yang, T., Tran, P., Hegazy, M.E., Hamood, A.N., Mechref, Y., Pare, P.W., 2015b. *Teucrium polium* phenylethanol and iridoid glycoside characterization

and flavonoid inhibition of biofilm-forming *Staphylococcus aureus*. *J. Nat. Prod.* 78, 2–9.

- El-Naggar, S.A., Germoush, M.O., Abdel-Farid, I.B., Elgebaly, H.A., Alkazendar, A.A. (2018). Phytochemical analysis and anticancer screening of some indigenous plants grown in Saudi Arabia. *Journal of Cancer and Biomedical Research (JCBR)*, 1(1), 19-27.
- Elnour, A.A.M., Mohamed, E.S.M., Musa, K.H., Kabbashi, N.A., & Alam, M.Z. (2018). challenges of extraction techniques of natural antioxidants and their potential application opportunities as anticancer agents. *Health Science Journal*, 12, 5: 596.
- Evans, J.R., & Lawrenson, J.G. (2017). Antioxidant vitamin and mineral supplements for slowing the progression of age-related macular degeneration. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (7).

### F

- Fertout-Mouri, N., Latreche, A., Mehdadi, Z., & Bengherraz, Z. (2016). Activité antibactérienne de quatre extraits de *Teucrium polium* L. du mont de Tessala (Algérie occidentale). *Bulletin de la Société royale des Sciences de Liège*, 85, 253-262.
- Fettah, A. (2019). *Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydante-antibactérienne) des extraits de la plante Teucrium polium L. sous espèce Thymoïdes de la région Beni Souik, Biskra* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- Fiedor, J., & Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6, 2: 466-488.

### G

- Ghazghazia, H., Chediab, A., Abderrazakb, M., & Brahima, H. (2013). Comparaison des contenus en polyphénols et de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quatre plantes collectées du nord de Tunisie. *Microbiol Hyg Alim*, 25, 73: 37-41.
- Góngora, L., Giner, R.M., Máñez, S., del Carmen Recio, M., & Ríos, J.L. (2002). Phagnalon rupestre as a source of compounds active on contact hypersensitivity. *Planta medica*, 68(06), 561-564.
- Gutowski, M., & Kowalczyk, S. (2013). A study of free radical chemistry: their role and pathophysiological significance. *Acta Biochimica Polonica*, 60, 1.

### H

- Haddouchi, F., Chaouche, T. M., Ksouri, R., Medini, F., Sekkal, F. Z., & Benmansour, A. (2014). Antioxidant activity profiling by spectrophotometric methods of aqueous

- methanolic extracts of *Helichrysum stoechas* subsp. *rupestre* and *Phagnalon saxatile* subsp. *saxatile*. *Chinese journal of natural medicines*, 12(6), 415-422.
- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62, 628 – 638.
  - Halliwell, B. (2012). Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutrition Reviews*, 70, 5: 257-265.
  - Halliwell, B., & Gutteridge, J.M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford University Press, Oxford.
  - Hammiche, V., & Maiza, K. (2006). Traditional medicine in Central Sahara: pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. *Journal of ethnopharmacology*, 105, 3: 358-367.
  - Hani, M., Elgamal, A., Shaker, K.H., Pöllmann, K., & Seifert, K. (1995). Triterpenoid saponins from *Zygophyllum* species. *Phytochemistry*, 40(4), 1233-1236.
  - Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M.G., Vincieri, F.F., & Romani, A. (2006). Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chemistry*, 99, 3: 464-469.
  - Huang, D., Ou, B., & Prior, R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 53, 6: 1841-1856.
  - Hussein, S. R., Marzouk, M. M., Ibrahim, L. F., Kawashty, S. A., & Saleh, N. A. (2011). Flavonoids of *Zygophyllum album* L. f. and *Zygophyllum simplex* L. (*Zygophyllaceae*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 39(4), 778.

### I

- Ighodaro, O.M., & Akinloye, O.A. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence 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. and Hecker A. (2013) Redox regulation in plants: glutathione and “redoxin” related families. In: *Oxidative stress and redox regulation*. Springer Science Business Media Dordrecht, pp; 213-291.
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7, 1.

- Julkunen-Tiitto, R., (1985). Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33,2, 213-217.

### K

- Kaurinovic, B., & Vastag, D. (2019). Flavonoids and phenolic acids as potential natural antioxidants. In *Antioxidants*. IntechOpen, Novi Sad.
- Kchaou, M., Salah, H.B., Mhiri, R., & Allouche, N. (2016). Anti-oxidant and anti-acetylcholinesterase activities of *Zygophyllum album*. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 11(1), 54-62.
- Khammes, C., & Oucif Lebehi, S. (2017). Etude de la relation entre les croûtes biologiques du sol et les plantes sahariennes (*Zygophyllum album* L.) dans la région d'El Oued.
- Khoddami, A., Wilkes, M., & Roberts, T. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18, 2: 2328-2375.
- Kim D.O., Chun O.K., Kim Y. J., Moon H.Y., Lee C.Y. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51,22, 6509-6515.
- Konieczynski, P., Arceusz, A., & Wesolowski, M. (2016). Essential elements and their relations to phenolic compounds in infusions of medicinal plants acquired from different European regions. *Biological trace element research*, 170, 2: 466-475.  
Important pour la discussion
- Ksouri, W.M., Medini, F., Mkadmini, K., Legault, J., Magné, C., Abdelly, C., Ksouri, R. (2013). LC-ESI-TOF-MS identification of bioactive secondary metabolites involved in the antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of the edible halophyte *Zygophyllum album* Desf., *Food Chemistry*, 2013.01.047
- Kumar, S., & Pandey, A.K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Kumar, S., Sharma, S., & Vasudeva, N. (2017). Review on antioxidants and evaluation procedures. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 1-12.
- Kumar, S., Yadav, A., Yadav, M., & Yadav, J.P. (2017). Effect of climate change on phytochemical diversity, total phenolic content and in vitro antioxidant activity of *Aloe vera* (L.) Burm. f. *BMC Research Notes*, 10, 1: 60.
- 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

- Lagnika L., 2005. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur (Strasbourg/France): 268 p.
- Lee, C.Y., Sharma, A., Cheong, J.E., & Nelson, J.L. (2009). Synthesis and antioxidant properties of dendritic polyphenols. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 19, 22: 6326-6330.
- Leverve, X. (2009). Stress oxydant et antioxydants?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44, 5: 219-224.
- Lima, M.C., de Sousa, C.P., Fernandez-Prada, C., Harel, J., Dubreuil, J.D., & de Souza, E.L. (2019). A review of the current evidence of fruit phenolic compounds as potential antimicrobials against pathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis*.
- Liu, W., Yin, D., Li, N., Hou, X., Wang, D., Li, D., & Liu, J. (2016). Influence of environmental factors on the active substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment. *Scientific Reports*, 6, 28591.
- Ljubuncic, P., Dakwar, S., Portnaya, I., Cogan, U., Azaizeh, H., & Bomzon, A. (2006). Aqueous extracts of *Teucrium polium* possess remarkable antioxidant activity in vitro. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 3(3), 329-338.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4, 8: 118.
- 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.

### M

- Malki, S., & Yahia, A.L. (2014). Evaluation of diuretic activity from *Teucrium polium* L. *capitatum* extracts (Lamiaceae) in rats. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5, 4: 1259-1262.
- Malki, S., Abidi, L., Hioun, S., & Yahia, A. (2017). Variability of phenolic contents in ethanolic extracts of *Teucrium polium* L. populations and effect on antioxidant and antimicrobial activities. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 5, 4: 21-27.
- Mammen, D., & Daniel, M. (2012). A critical evaluation on the reliability of two aluminum chloride chelation methods for quantification of flavonoids. *Food chemistry*, 135, 3: 1365-1368.
- Mangambu, M. D. D., Mushagalusa, K. F., & Kadima, N. J. (2014). Contribution à l'étude photochimique de quelques plantes médicinales antidiabétiques de la ville de

- Bukavu et ses environs (Sud-Kivu, RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 75(1), 6211-6220.
- Meguellati, H., Ouafi, S., & Saad, S. (2018). Callogenesis and Analgesic Evaluation of Adult Plant Extracts and Callus in *Teucrium polium* L. Subsp. *geyrii* Maire. *Journal of Biological Sciences*, 18, 4: 192-200.
  - Merhan, O. (2017). The Biochemistry and Antioxidant Properties of Carotenoids. *In* Carotenoids. IntechOpen.
  - Merouane, A., Noui, A., Ali, K. N. B., & Saadi, A. (2014). Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4), 1865-1870.
  - Mida, K. G. R., Chtistelle, A. N. T., Akhanovna, M. B. J., & Yves-Alain, B. (2012). Phenols et Flavonoïdes totaux dans les extraits organiques de dix plantes utilisées dans la tradithérapie du cancer du Sein en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 68(2), 182-190.
  - Miguel-Chávez, S.R. (2017). Phenolic antioxidant capacity: a review of the state of the art. Phenolic compounds: Biological activity. IntechOpen, Rijika, pp. 59-74.
  - Mohammed, M.S., Osman, W.J., Garelnabi, E.A., Osman, Z., Osman, B., Khalid, H.S., & Mohamed, M.A. (2014). Secondary metabolites as anti-inflammatory agents. *The Journal of Phytopharmacology*, 3: 275-85.
  - Mole, S., & Waterman, P.G. (1987). A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. *Oecologia*, 72, 1: 137-147.
  - Mousavi, S.M., Niazmand, S., Hosseini, M., Hassanzadeh, Z., Sadeghnia, H.R., Vafae, F., & Keshavarzi, Z. (2015). Beneficial effects of *Teucrium polium* and metformin on diabetes-induced memory impairments and brain tissue oxidative damage in rats. *International Journal of Alzheimer's Disease*, 2015.
  - Movahedi, A., Basir, R., Rahmat, A., Charaffedine, M., & Othman, F. (2014). Remarkable anticancer activity of *Teucrium polium* on hepatocellular carcinogenic rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.
  - Murthy, P.S., & Naidu, M.M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 3: 897-903.



### N

- N'Guessan, K., Kadja, B., Zirihi, G., Traoré, D., & Aké-Assi, L. (2009). Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature*, 6, 1.
- Neve, J., & Pincemail, J. (2008). Antioxydants alimentaires: vitamines, oligoéléments et non-nutriments. *Aliments fonctionnels*. Paris: Lavoisier, 203-41.

### O

- Oliveira, L.D.L.D., Carvalho, M.V.D., & Melo, L. (2014). Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. *Revista Ceres*, 61: 764-779.
- Orhan, I.E., Senol, F.S., Demirci, B., Ozturk, N., Baser, K.H.C., & Sener, B. (2013). Phytochemical Characterization of Phagnalon graecum Boiss. by HPLC and GC-MS with its Enzyme Inhibitory and Antioxidant Activity Profiling by Spectrophotometric Methods. *Food analytical methods*, 6(1), 1-9.
- Othman, M.B., Salah-Fatnassi, K.B.H., Ncibi, S., Elaissi, A., & Zourgui, L. (2017). Antimicrobial activity of essential oil and aqueous and ethanol extracts of *Teucrium polium* L. subsp. *gabesianum* (LH) from Tunisia. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 3: 723-729.
- Ozenda, (2004). Flore et végétation du Sahara. 3<sup>ème</sup> édition, CNRS Éditions, Paris.

### P

- Palhares, R.M., Drummond, M.G., Brasil, B.D.S.A.F., Cosenza, G.P., Brandão, M.D.G.L., & Oliveira, G. (2015). Medicinal plants recommended by the world health organization: DNA barcode identification associated with chemical analyses guarantees their quality. *PloS one*, 10, 5.
- Panche, A.N., Diwan, A.D., & Chandra, S.R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5.
- Papa L., Manfredi G., Germain D. (2014) SOD1, an unexpected novel target for cancer therapy. *Genes and Cancer*, 5 (1-2); 15-21.
- Peçkal, A., et Pyrzyńska, K.. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*, 7,9,1776-1782.
- Peng, S. (2009). Methods and applications of antioxidant activity assays. *Pharmaceutical bioassays: Methods and applications*, 205-221.
- Pereira, D., Valentão, P., Pereira, J., & Andrade, P. (2009). Phenolics: from chemistry to biology. *Molecules*, 2009, 14: 2202-2211

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

- Phaniendra, A., Jestadi, D.B., & Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30, 1: 11-26.
- Pisoschi, A.M., & Negulescu, G.P. (2011). Methods for total antioxidant activity determination: a review. *Biochem Anal Biochem*, 1(1), 106.
- Pourreza, N. (2013). Phenolic Compounds as potential antioxidant. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 8, 4: 149.
- Prakas, V. (2018). Terpenoids as cytotoxic compounds: A perspective. *Pharmacognosy Reviews*, 12, 24: 166.
- Prieto, M.A., Rodríguez-Amado, I., Vázquez, J.A., & Murado, M.A. (2012).  $\beta$ -carotene assay revisited. Application to characterize and quantify antioxidant and prooxidant activities in a microplate. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60, 36: 8983-8993.

### Q

- Quezel, P., Santa, S., (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris.

### 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. *RSC Advances*, 6, 76: 72768-72776
- Rafi, M., Pertiwi, T.Y.R., & Syaefudin, S. Determination of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Six Ornamental Plants. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(3), 79-84.
- Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., & Dhama, K. (2014). Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed research international*, 2014.
- Rahim, G., Qureshi, R., Arshad, M., & Gulfraz, M. (2013). Phytochemical analysis and antioxidant properties of *Teucrium stocksianum* flower from Malakand division, Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15, 2.
- Rahmouni, F., Hamdaoui, L., & Rebai, T. (2017). In vivo anti-inflammatory activity of aqueous extract of *Teucrium polium* against carrageenan-induced inflammation in experimental models. *Archives of physiology and biochemistry*, 123(5), 313-321.

- Rameau, J. C., Mansion, D., & Dumé, G. (2008). Flore forestière française: guide écologique illustré. Région méditerranéenne(Vol. 3). Forêt privée française.
- 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.
- Ríos-Arrabal, S., Artacho-Cordón, F., León, J., Román-Marinetto, E., del Mar Salinas-Asensio, M., Calvente, I., & Núñez, M. I. (2013). Involvement of free radicals in breast cancer. *Springerplus*, 2(1), 404.
- 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.

### S

- Sabet, Z., Roghani, M., Najafi, M., & Maghsoudi, Z. (2013). Antidiabetic effect of *Teucrium polium* aqueous extract in multiple low-dose streptozotocin-induced model of type 1 diabetes in rat. *Journal of Basic and Clinical Pathophysiology*, 1, 2: 34-38.
- Safaeian, L., Ghanadian, M., & Shafiee-Moghadam, Z. (2018). Antihyperlipidemic effect of different fractions obtained from *Teucrium polium* hydroalcoholic extract in rats. *International Journal of Preventive Medicine*, 9.
- Sahki, A., Sahki, R., (2004). Le Hoggar: Promenade botanique. Atelier Ésope. Chamonix, pp. 110.
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science and Technology International*, 8, 3: 121-137.
- Sarr, D., Cooper, C.A., Bracken, T.C., Martinez-Uribe, O., Nagy, T., & Moore, J.M. (2017). Oxidative stress: a potential therapeutic target in placental malaria. *ImmunoHorizons*, 1, 4: 29-41.
- Schofield, P., Mbugua, D.M., & Pell, A.N. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 91, 1-2: 21-40.
- Shahidi, F., Varatharajan, V., Oh, W.Y., & Peng, H. (2019). Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 5: 57-119.
- Sharma, P., Gujral, H.S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131, 4: 1406-1413.

- Shtukmaster, S., Ljubuncic, P., & Bomzon, A. (2010). The effect of an aqueous extract of *Teucrium polium* on glutathione homeostasis in vitro: a possible mechanism of its hepatoprotectant action. *Advances in pharmacological sciences*, 2010.
- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, K., Bhatnagar, S., Kumari, R., & Dhaka, N. (2013). Potential applications of antioxidants—A review. *Journal of Pharmacy Research*, 7, 9: 828-835.
- Singleton VL, Rossi JA. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Soto-Hernández, M., Tenango, M. P., & García-Mateos, R. (2017). Phenolic compounds: Biological activity. IntechOpen, Rijika.
- Sulaiman, I.S.C., Basri, M., Masoumi, H.R.F., Chee, W.J., Ashari, S.E., & Ismail, M. (2017). Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of *Clinacanthus nutans* Lindau leaves by response surface methodology. *Chemistry Central Journal*, 11, 1: 54.
- Sun, C., Wu, Z., Wang, Z., & Zhang, H. (2015). Effect of ethanol/water solvents on phenolic profiles and antioxidant properties of *Beijing propolis* extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015: 1-9.

### T

- Tanase, C., Coșarcă, S., & Muntean, D.L. (2019). A Critical review of phenolic compounds extracted from the bark of woody vascular plants and their potential biological activity. *Molecules*, 24, 6: 1182.
- Tressera-Rimbau, A., Arranz, S., Eder, M., & Vallverdú-Queralt, A. (2017). Dietary polyphenols in the prevention of stroke. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017.
- Tungmunnithum, D., Thongboonyou, A., Pholboon, A., & Yangsabai, A. (2018). Flavonoids and other phenolic compounds from medicinal plants for pharmaceutical and medical aspects: An overview. *Medicines*, 5, 3: 93.

### 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.
- Vega, R.J.S., Xolalpa, N.C., Castro, A.J.A., González, C.P., Ramos, J.P., & Gutiérrez, S.P. (2018). Terpenes from natural products with potential anti-inflammatory activity *In Terpenes and terpenoids*, pp.59-78.
- Vimala, G., & Gricilda Shoba, F. (2014). A review on antiulcer activity of few Indian medicinal plants. *International Journal of Microbiology*, 2014.

### W

- Wagner, Hildebert et Sabine Bladt. Plant drug analysis: a thin layer chromatography atlas. Springer Science & Business Media, 1996.
- Wang, H.T.O. Khor, L., Shu, Z. , Su, F., Fuentes, J.H., Lee and Kong, A.N.T. (2012). Plants against cancer: A review on natural phytochemicals in preventing and treating cancers and their druggability. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 12: 1281-1305.
- Wang, T.Y., Li, Q., & Bi, K.S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13, 1: 12-23.
- Wassel, G.M., & Ahmed, S.S. (1974). Chemical composition of the wild Egyptian plant *Teucrium polium* L. *Die Pharmazie*, 29(8), 540-541.
- Widyawati, P.S., Budianta, T.D.W., Kusuma, F.A., & Wijaya, E.L. (2014). Difference of solvent polarity to phytochemical content and antioxidant activity of *Pluchea indica* less leaves extracts. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 6, 4: 850-855.

### X

- Xu, D.P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J.J., & Li, H. B. (2017). Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 1: 96.

### Y

- Yahia, E.M., Carrillo-Lopez, A. (2019). Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Elsevier Science, Queretaro.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

- Young, A., & Lowe, G. (2018). Carotenoids-antioxidant properties. *Antioxidants*, 7, 28: 1-4
- Yu R., Mandlekar S. & Tony Kong A.N., 2000. Molecular mechanisms of butylated hydroxyanisole-induced toxicity: induction of apoptosis through direct release of cytochrome C. *Mol. Pharmacol.* 58: 431- 437

### Z

- Zendehtdel, M., Taati, M., Jadidoleslami, M., & Bashiri Dezfouli, A. (2011). Evaluation of pharmacological mechanisms of antinociceptive effect of *Teucrium polium* on visceral pain in mice. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 12, 4: 292-297.
- Zillich, O.V., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., & Kersch, M. (2015). Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. *International Journal of Cosmetic Science*, 37, 5: 455-464.