

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERY de TIZI OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Biologiques

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

En Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie végétale

Thème

**Approche bibliographique concernant le dosage
et l'extraction de composés phénoliques du
pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)**

Soutenu le :

Par : M^{elle} HAREB Aldja

Devant le jury :

Président	GUECHAOUI-MESTAR N.	MCB	UMMTO
Promotrice	SMAIL-SAADOUN N.	Professeur	UMMTO
Co-promotrice	Melle MECHIAH F.	Doctorante	UMMTO
Examineur	Melle OUZID Y.	MCB	UMBB

2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH notre créateur pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage a fin d'accomplir ce modeste travail.

Mes remerciements les plus profonds à Madame SMAIL SAADOUN Noria (professeur à l'UMMTO) de m'avoir encadré pour mon mémoire de Master, qui a guidé, surveillé le déroulement et l'exécution du travail de ce mémoire, en me prodiguant tout aide possible, et en me consacrant beaucoup de son temps précieux.

Ma sincère gratitude pour Mademoiselle MECHIAH FAHIMA pour son soutien, son aide et surtout pour toutes les informations qu'elle m'a donné. Merci d'avoir pris le temps de corriger ce travail.

Je remercie Mme MESTAR-GUECHAOUI de présider le jury et Mlle OUZID pour avoir accepté d'examiner le travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une éducation digne de confiance, ceux qui ont attendu avec patience les fruits de leur bonne éducation à mes très chers parents

- 🌈 *A mes chères sœurs : Nora et Sabrina*
- 🌈 *A mon cher frère : Mouloud*
- 🌈 *A tous mes cousins*
- 🌈 *A ma chère amie Kaïssa et Wissam*
- 🌈 *A tous mes amis et toute la promotion de BEV*
- 🌈 *A tous ce qui m'aiment et qui sont les plus chères pour moi*

Liste des figures

Figure 01 : squelette de base des polyphénols (Vermerris et Nicholson, 2006).....	6
Figure 02 : structure de base des acides benzoïque et p coumarique (Bruneton, 2009).	8
Figure 03 : squelette de base des flavonoïdes (Collin et Creast, 2011).	9
Figure 04 : différentes classes des flavonoïdes (Bruneton, 1999).	10
Figure 05 : structure chimique de l'acides gallique (A) et ellagique (B) (Bruneton 1993).	11
Figure 06 : structures chimiques de tannins hydrolysables (Conrad 1998).	12
Figure 07 : structure générale de tannins condensés (Gilbert et Norris, 1968).....	13
Figure 08 : structure chimique d'anthocyane (Havsteen, 2002).	14
Figure 09 : structure chimique de Stilbènes (Muanda, 2010).	14
Figure 10 : structures chimiques de Xanthones (Muanda, 2010).	15
Figure 11 : structure chimique de coumarines (Muanda, 2010).	15
Figure 12 : structure chimique de lignanes (Muanda, 2010).	16
Figure 13 : pistachier de l'Atlas (<i>Pistacia atlantica</i>) (Haddouche, avril 2014).....	19
Figure 14 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Limane, 2018).	21
Figure 15 : feuillage du pistachier de l'Atlas (Haddouche, avril 2014).....	22
Figure 16 : floraison du pistachier de l'Atlas (Haddouche, avril 2014).	22
Figure 17 : fruit du pistachier de l'Atlas (Haddouche, avril 2014).....	23
Figure 18 : <i>Pistacia atlantica</i> avec <i>Zizyphus lotus</i> (google).	24
Figure 19 : situation géographique des stations d'échantillonnage (Source : Google earth 2020)	28
Figure 20 : protocole expérimentale du dosage des phénols totaux.	29
Figure 21 : protocole expérimental de flavonoïdes totaux.....	31
Figure 22 : protocole expérimentale des tanins totaux	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : classification des composés phénoliques (Crozier et <i>al.</i> , 2006).....	7
Tableau 2 : principales coordonnées géographiques et climatiques des stations d'étude.....	27
Tableau 3 : rendement des extraits des feuilles et des fruits de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	34
Tableau 4 : teneur en flavonoïdes des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	35
Tableau 5 : teneur en phénols totaux et tannins hydrolysables des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> et <i>Pistacia lentiscus</i>	36
Tableau 6 : teneurs en phénols totaux, flavonoïdes et tanins de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	36

Sommaire

Introduction.....	1
--------------------------	----------

CHAPITRE 1 : composés phénoliques..... 4

1. Généralités.....	5
2. Classe des polyphénols	6
2.1. Acides phénoliques	8
2.2. Flavonoïdes	8
2.3. Tanins (hydrolysables et condensés).....	10
2.4. Anthocyanes.....	13
2.5. Stilbènes.....	14
2.6. Xanthones	14
2.7. Coumarines	15
2.8. Lignanes et lignines	15
3. Localisation des composés phénoliques.....	16
4. Rôles des composés phénoliques	16

CHAPITRE 2 : présentation de la plante étudiée..... 18

1. Introduction.....	19
2. Systématique	20
3. Description botanique de <i>Pistacia atlantica</i> Desf	20
4. Ecologie et aire de répartition.....	23
5. Propriétés et usages thérapeutiques	24

CHAPITRE 3 : matériel et méthodes..... 26

1. Matériel végétal.....	27
2. Extraction des composés phénoliques.....	28
2.1. Dosage des polyphénols.....	28

Sommaire

2.1.1. Dosage des phénols totaux	28
2.1.1.1. Principe	29
2.1.1.2. Protocole	30
2.1.2. Dosage des flavonoïdes totaux.....	30
2.1.2.1.Principe	30
2.1.2.2. Protocole	30
2.1.3. Dosage des tanins totaux.....	31
2.1.3.1. Principe	31
2.1.3.2. Protocole	31
CHAPITRE 4 : résultats et discussion	33
1. Rendement d'extraction des feuilles	34
2. Teneur en flavonoïdes totaux.....	34
3. Teneur en tanins totaux.....	36
Conclusion générale	38
Références bibliographiques	40

Introduction générale

Introduction générale

Depuis l'antiquité, les produits naturels, notamment ceux d'origine végétale ont toujours été une source importante d'agents thérapeutiques. Actuellement, environ 25-30% de tous les médicaments disponibles pour le traitement des maladies sont des dérivés des produits naturels (Boldi, 2004).

L'usage des remèdes à base de plantes utilisés par les pharmacopées traditionnelles pour le traitement des maladies de l'homme est très ancien. La grande majorité des populations rurales se soigne exclusivement avec des plantes médicinales (Newman et *al.*, 2007).

A travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales avec, pour objectif de vaincre la souffrance et améliorer la santé des hommes (Iserin, 2001). De nos jours, les vertus thérapeutiques des plantes connaissent un regain d'intérêt grâce à l'amélioration des techniques extractives et aux progrès des méthodes d'analyses structurales pour la découverte de nouveaux principes actifs. On estime que deux tiers des médicaments actuels ont une origine naturelle ou sont obtenus par modification d'un produit naturel (Newman et *al.*, 2007).

Dans le monde, environ 20000 espèces végétales sont utilisés à des fins thérapeutiques, et selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), près de 6377 espèces de plantes sont utilisées en Afrique (Diallo, 2005). L'Algérie fait partie des pays riches en ressources phytogénétiques à intérêt médicinal et aromatique. On dénombre plus de 300 espèces à usage aromatique et médicinal (Tetenyl, 1985). Elle possède une grande biodiversité végétale grâce à sa diversité bioclimatique.

Pistacia atlantica Desf. fait partie des plantes médicinales qui appartient à la famille des Anacardiacees et à l'ordre des Sapindales. C'est une espèce ligneuse et spontanée. On la trouve au cœur du Sahara et jusqu'aux marges du bioclimat humide. C'est une espèce circumméditerranéenne méridionale, elle est présente surtout en bioclimat semi-aride (Quézel et Médail, 2003).

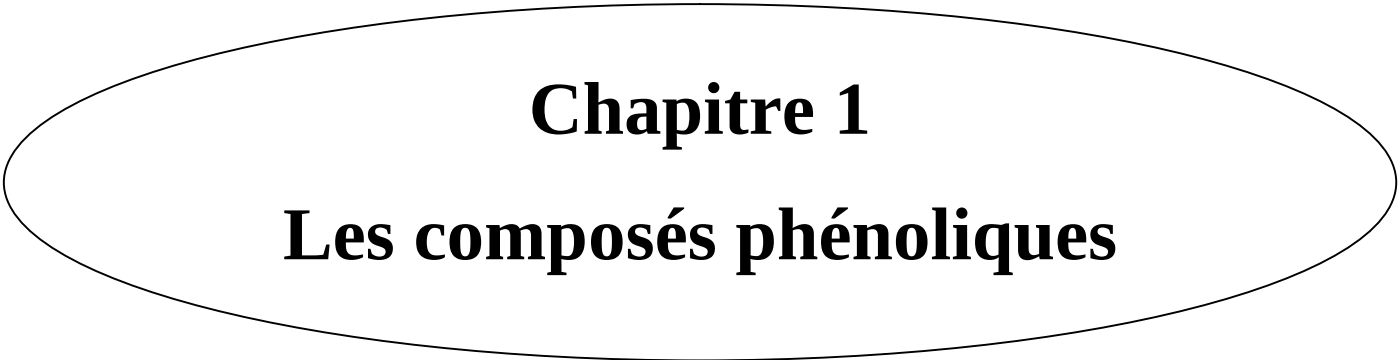
L'objectif de ce travail est une approche bibliographique concernant l'identification de différents composés phénoliques du pistachier de l'Atlas, des méthodes d'extraction des polyphénols à partir de ses différentes parties (feuilles et fruits), ainsi que les méthodes et les résultats du dosage de quelques composés (phénols totaux, flavonoïdes, tanins), obtenus par

Introduction générale

les différents auteurs. L'apparition de la pandémie de covid19 cette année, ne nous pas permis de faire la partie expérimentale.

Notre travail est organisé en quatre chapitres principaux, dont :

-) le premier chapitre concerne la recherche bibliographique où nous donnons quelques généralités sur les composés phénoliques ;
-) le deuxième chapitre est une description de *Pistacia atlantica* Desf. ;
-) le troisième chapitre concerne les différentes méthodes d'extraction et de dosage des polyphénols ;
-) le quatrième chapitre synthétise les résultats obtenus par les différents auteurs et leurs discussions
-) Enfin, nous terminons par une conclusion générale.



Chapitre 1

Les composés phénoliques

1. Généralités

Le terme polyphénols est fréquemment utilisé dans le langage courant et même dans des articles scientifiques ou de vulgarisation pour désigner l'ensemble des composés phénoliques des végétaux (Fleuriet, 2005). L'appellation générique « composés phénoliques » englobe un vaste ensemble de substances chimiques de plus de 8000 molécules, qui ont été isolées et identifiées (Mompon et *al.*, 1998). Selon leurs caractéristiques structurales, ils se répartissent en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (Hennebelle et *al.*, 2004). Ces composés phénoliques sont des monomères, des polymères ou des complexes (Harbone, 1993).

Les polyphénols sont issus du métabolisme secondaire des plantes. Quand on parle de métabolisme secondaire, on fait référence à des composés qui sont synthétisés en dehors des voies métaboliques primordiales, qui assurent son autosuffisance et donc sa survie. Les polyphénols ne sont donc pas synthétisés en priorité et leurs effets sont très complexes sur l'environnement de la plante. En effet, ces composés sont synthétisés, par des plantes au cours de leur développement normal, en réponse à des infections, des blessures, des rayons ultra-violet (UV) et des insectes. Ces composés phytochimiques provenant de la phénylalanine et la tyrosine sont ubiquitaires dans les plantes (Pereira Nunes et *al.*, 2012).

Ils sont divisés en plusieurs catégories, dont la structure est relativement proche : les flavonoïdes (pigments végétaux jaunes-orangés) représentent le groupe le plus commun et largement distribué, les anthocyanes (composés de couleur rouge à violet responsables de la couleur pourpre des raisins rouges), les tannins, les coumarines, les acides phénols, etc... La grande diversité structurale des composés phénoliques rend difficile une présentation globale des méthodes qui permettent leur extraction et leur isolement, des processus mis en jeu au cours de leur biosynthèse, de leur propriétés physico-chimiques et biologiques (Bruneton, 1993).

Les polyphénols sont présents partout dans la plante : les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits de tous les végétaux. Les principales sources alimentaires sont les fruits et légumes, les boissons (vin rouge, thé, café, jus de fruits), les céréales, les graines oléagineuses et les légumes secs (Middleton et *al.*, 2000).

Des travaux plus anciens (Nitsch, 1961 ; Alibert et *al.*, 1977) ont montré que les phénols seraient associés à de nombreux processus physiologiques : croissance cellulaire, différenciation organogène, dormance des bourgeons, floraison, tubérisation et lignification. De plus, ils participent à deux processus de l'activité des plantes : la photosynthèse et la respiration. Les composés phénoliques sont aussi connus pour leurs effets protecteurs contre le rayonnement UV, l'effet attracteur sur les insectes et les oiseaux pollinisateurs et pour leurs propriétés antifongique et antibactérienne (Heimeur et *al.*, 2004).

Chez l'homme, la consommation d'aliments riches en polyphénols réduit l'incidence de nombreuses pathologies, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les diabètes (Hanhineva, 2010). Cela peut être expliqué par le fait que ces composés ont la capacité antioxydant.

2. Classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols constituent un groupe largement distribué des substances dans le règne végétal, avec plus de 8000 structures phénoliques présentes dans tous les organes de la plante (Lugasi, 2003 ; Hopkins, 2003) (Figure1).

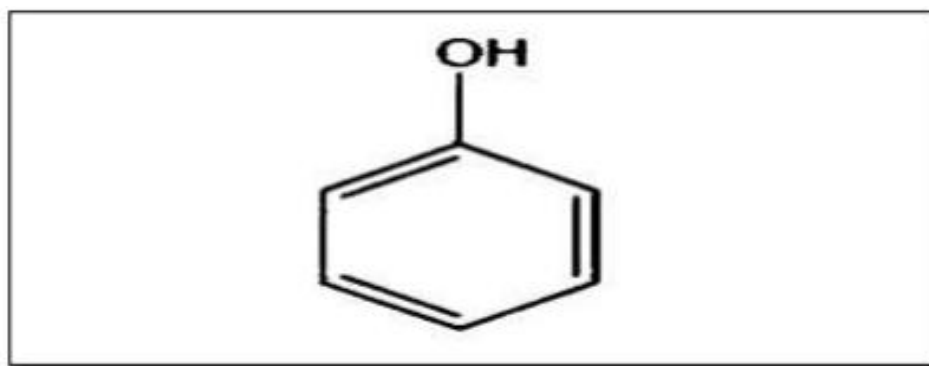
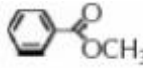
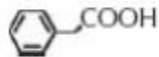
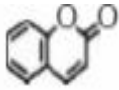
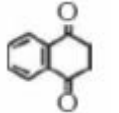
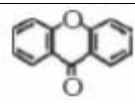
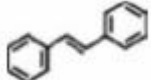
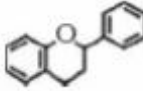
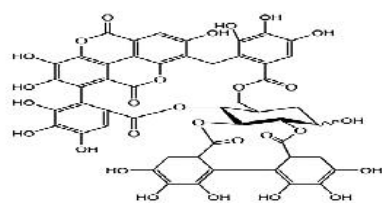
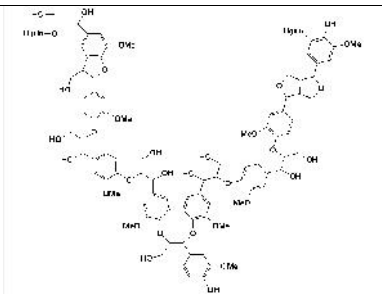


Figure 1 : squelette de base des polyphénols (Vermerris et Nicholson, 2006).

Les composés phénoliques dérivent du phénol C_6H_5OH , qui est un monohydroxybenzène. La couleur et l'arôme, ou l'astringence des plantes dépendent de la concentration et des transformations des phénols. Les composés phénoliques représentent de 2 à 3% de la matière organique des plantes et dans certains cas jusqu'à 10% et même d'avantage (Rakipov, 1987). Ces substances chimiques peuvent être classées selon le nombre et l'arrangement de leurs atomes de carbone (Crozier et *al.*, 2006) (Tableau 1).

Chapitre 1 : Les composés phénoliques

Tableau 1 : classification des composés phénoliques (Crozier et *al.*, 2006).

Nombre de carbones	Squelette	Classification	Structure de base
7	C ₆ -C ₁	Acide phénols	
8	C ₆ -C ₂	Acétophénonnes	
8	C ₆ -C ₂	Acide phénylacétiques	
9	C ₆ -C ₃	Acide hydroxycinamiques	
9	C ₆ -C ₃	Coumarines	
10	C ₆ -C ₄	Naphthoquinones	
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xanthones	
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbènes	
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoïdes	
n	(C ₁₅) _n	Tannins	
n	(C ₆ -C ₃) _n	lignines	

2.1. Acides phénoliques

Les phénols ou les acides phénoliques sont des petites molécules constituées d'un noyau benzénique et au moins d'un groupe hydroxyle ; elles peuvent être estérifiées, étherifiées et liées à des sucres sous forme d'hétérosides. Ces phénols sont solubles dans les solvants polaires. Leur biosynthèse dérive de l'acide benzoïque (C6-C1), très présent dans le règne végétal et de l'acide p coumarique (C6-C3) (Wichtl et Anton, 2009) (Figure 2).

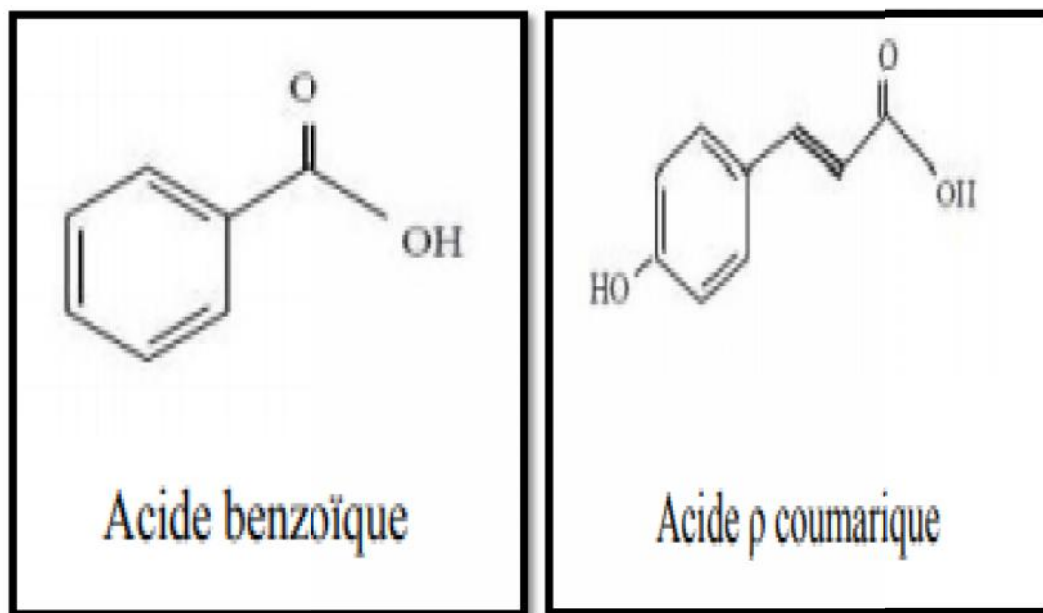


Figure 2 : structure de base des acides benzoïque et p coumarique (Bruneton, 2009).

2.2. Flavonoïdes

Le nom flavonoïde proviendrait du terme flavedo, désignant la couche externe des écorces d'orange (Zeghad, 2008). Cependant d'autres auteurs supposent que le terme flavonoïde a été plutôt prêté de flavus (« jaune » en latin). Il désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Bouakaz, 2006 ; Seyoum et *al.*, 2006). Ils forment une importante famille de colorants naturels où dominent le jaune (flavones), le rouge ou le bleu (Hertog et *al.*, 1993 ; Havasteen, 2002).

Les flavonoïdes ont tous la même structure chimique de base. Ils possèdent un squelette carboné de quinze atomes de carbone constitué de deux cycles aromatiques (A) et (B), qui sont reliés entre eux par une chaîne en C3 en formant ainsi l'hétérocycle (C) (Erdman et *al.*, 2007).

Généralement, la structure des flavonoïdes est représentée selon le système C6-C3-C6 (Emerenciano et *al.*, 2007), en formant une structure de type diphényle propane dont des groupements hydroxyles, oxygènes, méthyles, ou des sucres peuvent être attachés sur les noyaux de cette molécule (Narayana, 2001 ; Malesev et Kuntie, 2007) (Figure 3).

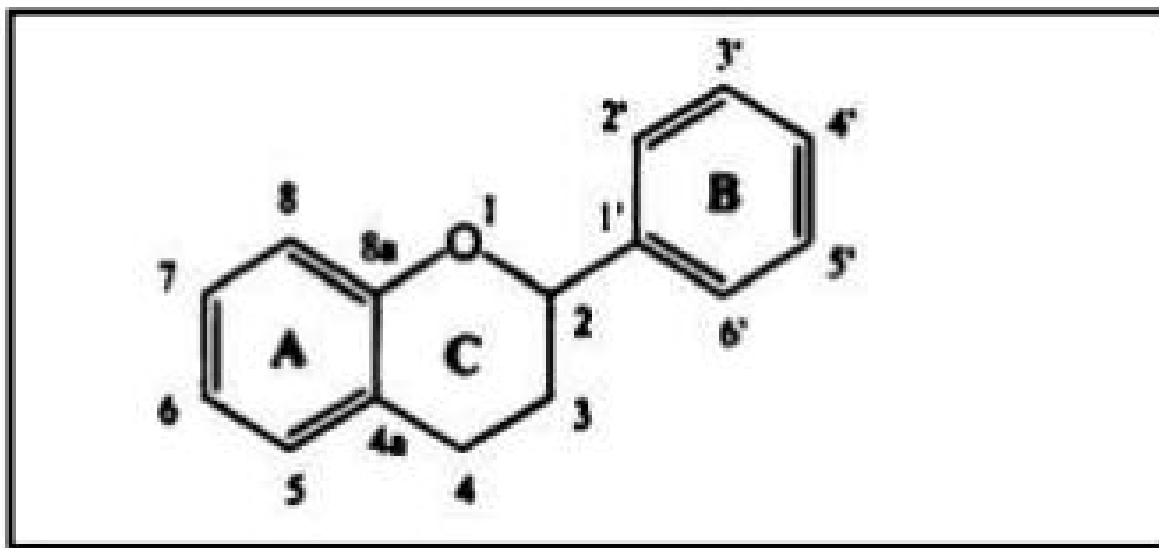


Figure 3 : squelette de base des flavonoïdes (Collin et Creast, 2011).

En se basant sur leur squelette, les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes : anthocyanidines, flavonoles, isoflavonoles, flavones, isoflavones, flavanes, isoflavanes, flavanols, isoflavanols, flavanones, isoflavanones (Havsteen, 2002 ; Edenharder et Grunhage, 2003) (Figure 4).

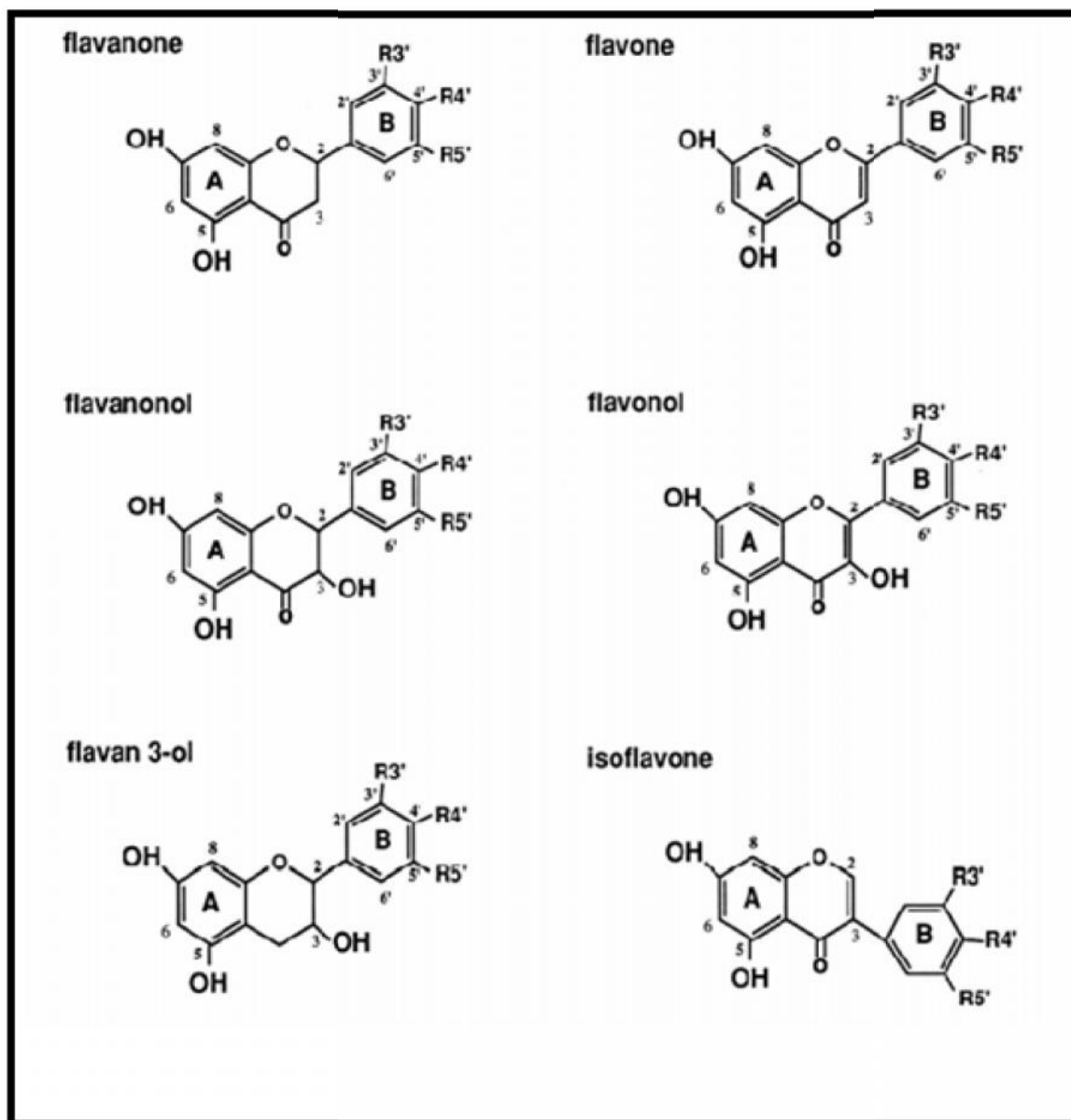


Figure 4 : différentes classes des flavonoïdes (Bruneton, 1999).

2.3. Tannins

Tannin est un terme qui provient d'une pratique ancienne qui utilisait des extraits de plantes pour tanner les peaux d'animaux (Hopkins, 2003). Les tanins sont des composés phénoliques, de haut poids moléculaire, utilisés dans l'industrie du cuir, également responsables de l'astringence de certains aliments (Haslam, 1989).

Cette classe désigne le nom général descriptif du groupe des substances phénoliques polymériques, ayant une masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 qui présente, à côté des réactions classiques des phénols, la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et

d'autres protéines (Haslam, 1996 ; Cowan, 1999). Les tannins sont caractérisés par une saveur astringente et sont trouvés dans toutes les parties de la plante : les racines, l'écorce, le bois, les feuilles et les fruits (Scalbert, 1991). On distingue deux groupes de tannins différents par leur structure et par leur origine biogénétique.

2.3.1. Tannins hydrolysables

Les tannins hydrolysables sont des oligo ou des polyesters d'un sucre et d'un nombre variable d'acide phénol. Le sucre est très généralement le D-glucose et l'acide phénol est soit l'acide gallique dans le cas des gallotannins, soit l'acide ellagique dans le cas des tannins classiquement dénommés ellagitannins (Bruneton, 1993 ; Cowan, 1999) (Figure 5).

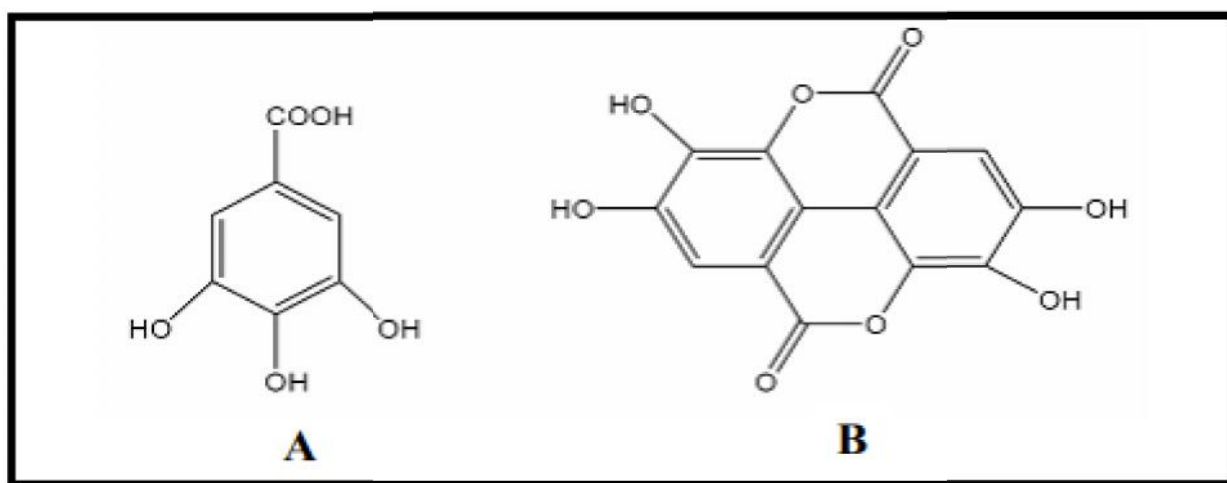


Figure 5 : structure chimique de l'acide gallique (A) et ellagique (B) (Bruneton, 1993).

Dans les deux cas, la fraction osidique est estérifiée par plusieurs molécules d'acide ellagique (Ghestem et *al.*, 2005). Ils sont caractérisés par le fait qu'ils peuvent être dégradés par hydrolyse chimique (alcaline ou acide) ou enzymatique (Macheix et *al.*, 2005) (Figure 6).

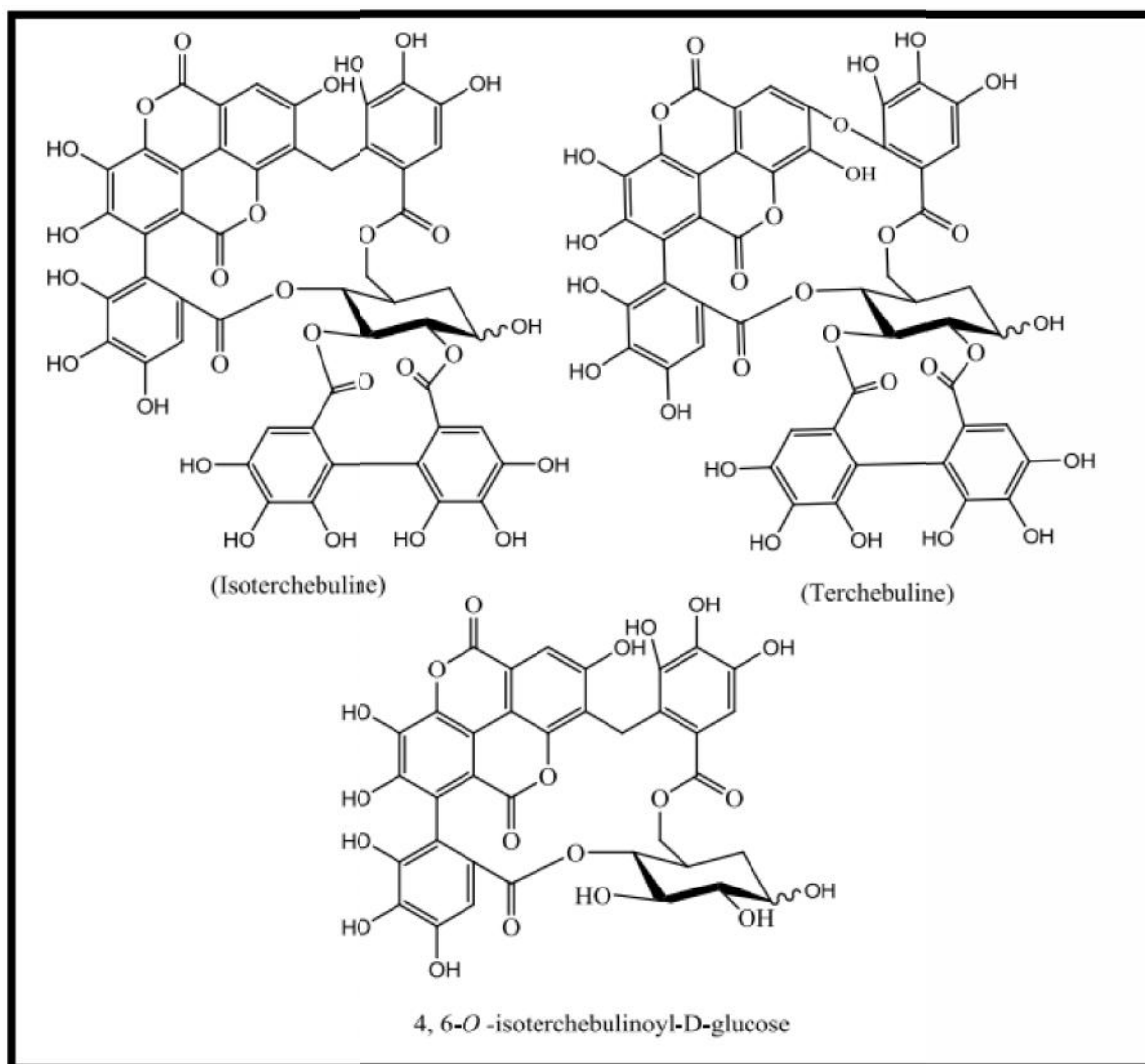


Figure 6 : structures chimiques de tannins hydrolysables (Conrad, 1998).

2.3.2. Tannins non hydrolysables ou tannins condensés

Les tanins condensés diffèrent fondamentalement des tannins hydrolysables, car ils ne possèdent pas de sucre dans leur molécule et leur structure est voisine de celle des flavonoïdes. Il s'agit des polymères flavaniques, constitués d'unité de flavan-3-ols liées entre elles par liaisons carbone-carbone (Bruneton, 1999).

Ce sont des tannins non hydrolysables (dits catéchiques et proanthocyaniques). Ils sont résistants à l'hydrolyse et seules les attaques chimiques fortes permettent de les dégrader. Ainsi par traitement acide à chaud, ils se transforment en pigments rouges (Macheix et *al.*, 2005) (Figure 7).

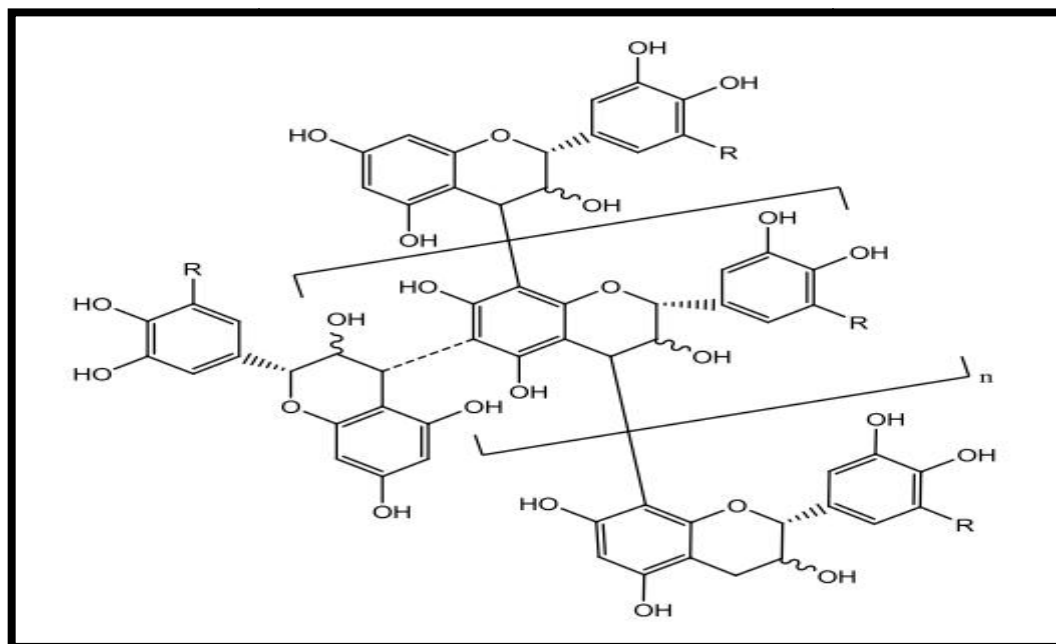


Figure 7 : structure générale de tannins condensés (Gilbert et Norris, 1968).

2.4. Anthocyanes

Les anthocyanes (du grec antho, fleur et Kuanos, bleu violet) correspondent à un terme général qui regroupe les anthocyanosides et leur dérivés glycosylés (Guignard, 1996). Les anthocyanines sont des flavonoïdes porteurs d'une charge sur l'oxygène de l'hétérocycle C. La structure de base des anthocyanines est caractérisée par un noyau « flavon » généralement glucosylé en position C3 (Ribereau et *al.*, 1968). Ils se différencient par leur degré d'hydroxylation et de méthylation, mais aussi par la nature, le nombre et la position des oses liés à la molécule (Miscanthus Sinensis, 1998).

Ces molécules font partie de la famille des flavonoïdes et sont capables d'absorber la lumière visible. Ce sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose, ou orange (Harbone et *al.*, 1967 ; Brouillard et *al.*, 1986). Leur présence dans les plantes est donc détectable à l'œil nu. A l'origine de la couleur des fleurs et des fruits, elles sont généralement localisées dans les vacuoles des cellules épidermiques, qui sont de véritables poches remplies d'eau (Harbone et *al.*, 1988) (Figure 8).

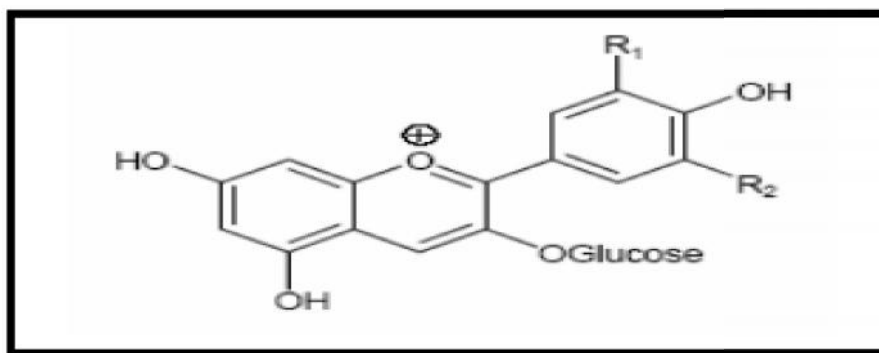


Figure 8 : structure chimique d'anthocyane (Havsteen, 2002).

2.5. Stilbènes

Cette famille possède la structure C6-C2-C6 comme les flavonoïdes. Parmi ces composés, on trouve le resveratrol, qui est un anticancéreux présent dans certaines plantes médicinales (Figure 9). Les sources principales des Stilbènes sont les raisins, les vins, le soja et les arachides (Fleuriet et *al.*, 2005).

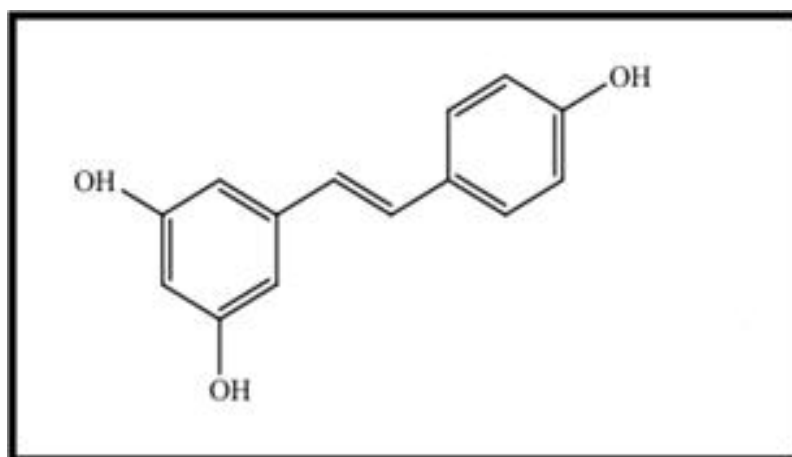


Figure 9 : structure chimique de Stilbènes (Muanda, 2010).

2.6. Xanthones

C'est une famille constituée des composés polyphénoliques généralement isolés dans les plantes supérieures et dans les microorganismes, répondant à une structure de base C6-C1-C6 (Sakagami et *al.*, 2005). Quelques exemples de ces composés sont représentés ci-dessous : le gaboxanthone, le xanthène-9-one et le globuliférine (Figure 10).

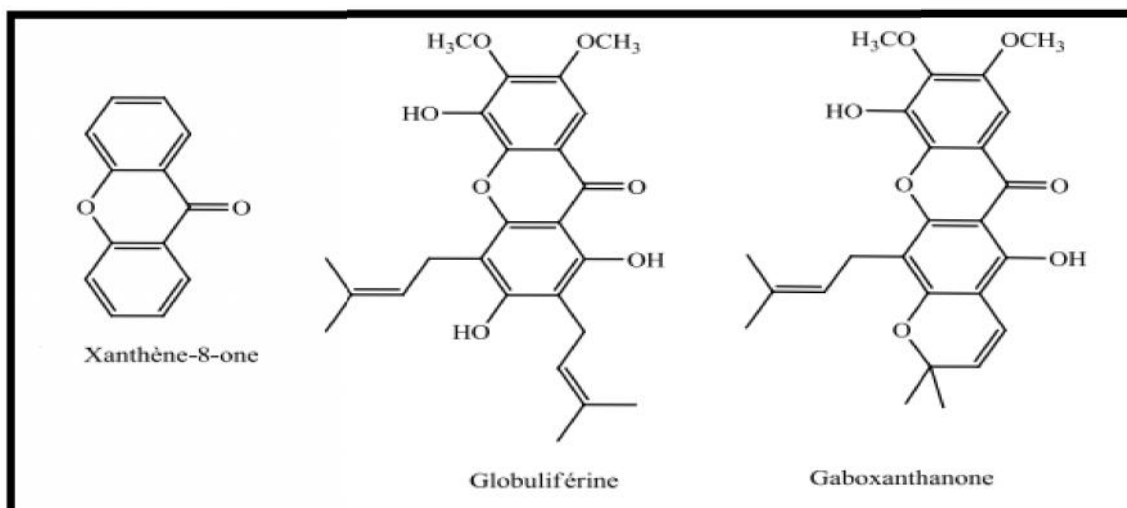


Figure 10 : structures chimiques de Xanthones (Muanda, 2010).

2.7. Coumarines

Ce sont des hétérocycles oxygénés ayant comme structure de base le benzo-2-pyrone (Ford et *al.*, 2001). Ils sont isolés pour la première fois par Vogel en 1820 chez *Coumarouna ocorata*. Aujourd'hui, près de 1000 composés coumariniques sont isolés dans plus de 800 espèces de plantes et dans les microorganismes (Figure 11).

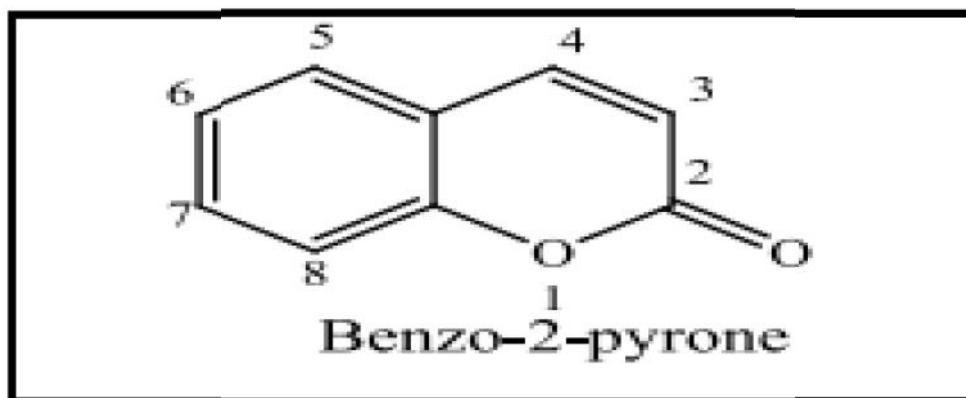


Figure 11 : structure chimique de coumarines (Muanda, 2010).

2.8. Lignanes et lignines

Les monolignols (dérivés de l'acide cinnamique) servent de précurseurs pour les composés de type phénylpropanoïde, tels que les lignanes et les lignines (Bruneton, 1999).

Les lignanes répondent à une représentation structurale de type $(C_6C_3)_2$; l'unité C_6C_3 est considérée comme un propylbenzène. Les plantes les élaborent par dimérisation

oxydante de deux unités d'alcool coniférique. Quand cette dimérisation implique une liaison oxydante par les C8 des chaînes latérales de deux unités d'alcool coniférique liées, formant la liaison C₈-C₈, les métabolites résultant portent le nom de lignane. Le terme neolignane est employé pour définir tous les autres types de liaisons (Bruneton, 1999) (Figure 12).

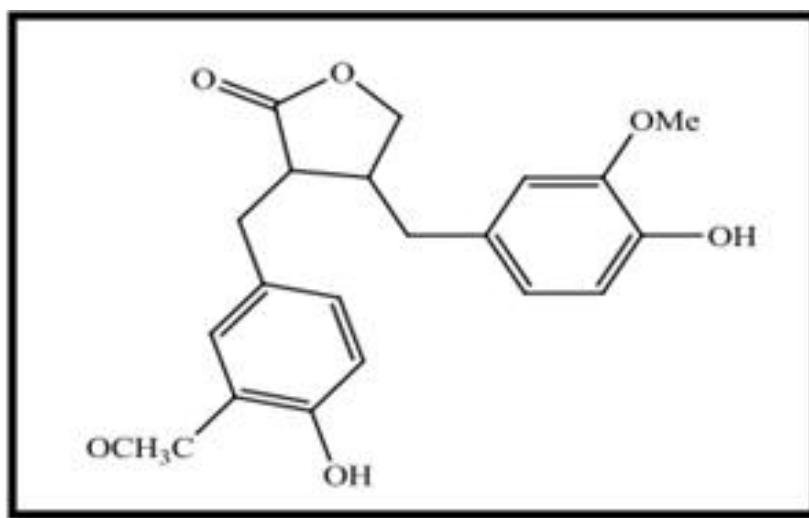


Figure 12 : structure chimique de lignanes (Muanda, 2010).

Les lignines constituent une classe importante de produits naturels dans le règne végétal et seraient formés par polymérisation oxydative de trois monolignols, qui sont les alcools p-coumarique, coniférique et sinapique (Sakagami et *al.*, 2005).

3. Localisation des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont omniprésents dans les végétaux, mais leur répartition au niveau tissulaire, cellulaire et subcellulaire n'est pas uniforme. Les composés phénoliques solubles sont présents dans les vacuoles, tandis que ceux insolubles se trouvent au niveau des parois cellulaires. Ces dernières sont plus ou moins riches en polyphénols selon la localisation de la cellule : les parties charnues du fruit en sont pauvres (les polyphénols sont alors principalement contenus dans la vacuole), contrairement aux cellules dont la paroi a atteint le stade supérieur de rigidité (cellules de la peau et des pépins) (Knežević et *al.*, 2012 ; Macheix et *al.*, 1990).

4. Rôles des composés phénoliques

Les flavonoïdes montrent des propriétés fongicides et insecticides, qui protègent la plante contre l'attaque des champignons et des insectes (Merghem, 2009). Ils sont aussi des

propriétés anti-inflammatoires et antivirales (Iserin et *al.*, 2001). On peut également noter que les flavonoïdes montrent des propriétés dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes, en interagissant d'une manière complexe avec les diverses hormones végétales de croissance (Merghem, 2009). Aussi, ils assurent la protection des tissus contre les rayonnements solaires nocifs (Crozier et *al.*, 1997; Stobieck et *al.*, 2006).

Les composés phénoliques jouent un rôle important dans l'interaction de la plante avec son environnement. Les flavonoïdes sont reconnus par les pollinisateurs, par exemple les insectes et les oiseaux. L'une des propriétés majeures de ces composés est de contribuer à la couleur des plantes et notamment 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. On peut noter que certains flavonoïdes, en repoussant certains insectes par leur goût désagréable, peuvent jouer un rôle dans la protection des plantes. 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 (Havsteen, 2002).

Les tannins jouent un rôle dans la défense des plantes face aux agressions. La synthèse des tannins par la plante est l'un des mécanismes de défense des plantes contre les attaques des phytopathogènes. Les tannins sont un moyen de défense contre les agressions des prédateurs tels les insectes et les mammifères herbivores (Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992 ; Woodward et Coppock, 1995; Feucht et *al.*, 1997). Ils sont capables de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et d'autres protéines (Merghem, 2009 ; Stevanovic, 2005).

Les mécanismes de défense des plantes peuvent être physiques comme la synthèse de la lignine qui limite l'entrée des pathogènes et réduit la fécondité des insectes, comme ils peuvent également être chimiques (substances toxiques) (War et *al.*, 2012).

Les stilbènes sont des phytoalexines, composés produits par les plantes en réponse à l'attaque par les microbes pathogènes fongiques, bactériens ou viraux (Crozier et *al.*, 2006).

Chapitre 2

Présentation du pistachier de l'Atlas

1. Introduction

Le pistachier de l'Atlas, encore appelée « Bétoum » en arabe, « Iggh » en berbère, a été décrit pour la première fois par le botaniste française René Louiche Desfontaines en 1789.

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est l'une des rares espèces arborescentes présentes dans les régions semi arides, arides et voir même sahariennes (Smail-Saadoun, 2005). Il colonise de façon diffuse un territoire considérable centré sur les pays méditerranéens, à saison sèche et chaude bien marquée, il est le plus ubiquiste des arbres du nord de l'Afrique et du Proche Orient (Monjauze, 1980) (Figure 13).

L'arbre ressemble au frêne, il peut supporter des vents violents, des sols pauvres et de longues périodes de sécheresses (Monjauze, 1968). Ce bel arbre est caractérisé par une très longue vie (Zohary, 1987).



Figure 13 : pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) (Smail-Saadoun, 2014).

2. Systématique de *Pistacia atlantica* Desf.

D'après Spichiger et *al.*, (2000), la classification botanique du genre *Pistacia* est comme suit :

Règne : Plantae.

Embranchement : Spermaphytes.

Sous embranchement : Angiospermes.

Classe : Eudicotylédones.

Ordre : Térébinthales.

Famille : Anacardiacees.

Genre et espèce : *Pistacia atlantica* Desf.

Nom commun : pistachier de l'Atlas

3. Caractéristiques botaniques

Le pistachier de l'Atlas est un arbre assez grand, très massif et très spectaculaire (Thorne et Reveal, 2007). *Pistacia atlantica* est une espèce ligneuse, forestière et xérophile (Quézel et Santa, 1963). Cette essence peut atteindre une hauteur de 10 à 20 m et 5 m de circonférence, à tronc bien individualisé (Benhassini et Belkhoja, 2004). Le port est arrondi et les ramifications sont étalées (Nègre, 1962).

Son système racinaire n'est pas moins impressionnant. En effet selon Chaba et *al.* (1991) ; Ait Slimane (2004) ; Limane et *al.* (2014) et Boubrima (2014) et Limane (2018), le pistachier de l'Atlas présente un système racinaire vigoureux à extension horizontale et verticale (Figure 14). Au stade juvénile, il présente un pivot séminal et orthogéotrope, à ramifications latérales se ramifiant profondément dans le sol pour que la plante puisse se fixer au sol et s'alimenter en ressources hydrominérales. Il offre par la suite un système racinaire mixte, à extension verticale profonde et horizontale superficielle, qui permet un meilleur ancrage au sol et une absorption maximale de l'eau présente en surface et en profondeur. Mais au stade adulte, le pivot peut se développer et se lignifier, comme il peut disparaître et laisser place aux racines secondaires pour se développer et donner par la suite un système racinaire à extension latérale ou superficielle.



Figure 14 : système racinaire du pistachier de l'Atlas (Limane, 2018).

L'arbre possède un tronc court, bien individualisé et à frondaison hémisphérique, qui peut dépasser les 2 m de diamètre. Sa couronne est en boule au jeune âge, puis se développe en demi-sphère (Quézel et Santa, 1963).

L'écorce de l'arbre est lisse à l'âge jeune et crevassé à un âge très avancé. Elle est d'abord rouge, puis grisâtre assez claire avant de devenir dure, crevassée et noirâtre. A partir de cette écorce, on extrait de la résine et du tanin (Monjauze, 1980). Les populations locales s'en servent pour un usage médicinal (Belhadj, 2001).

Les feuilles de pistachier de l'Atlas sont composées imparipennées, astipulées, caduque et chutent en automne ; elles ont une couleur vert pâle, de 3 à 5 paires de folioles (Figure 15) (Monjauze, 1980). Le pétiole est non ailé et mesure de 3 à 5 cm de long (Meikle, 1977 in Belhadj, 2007). Le rachis est aplati (Zohary, 1987).



Figure 15 : feuillage du pistachier de l'Atlas (Smail-Sadaadoun, 2014).

Les fleurs sont apétales, groupées en grappes terminales pour les fleurs mâles et axillaires pour les fleurs femelles, de couleur brunâtre arrangées en panicule, avec un court pédicelle (Monjauze, 1980 ; Zohary, 1987). C'est une espèce dioïque, les fleurs mâles et femelles sont portées par des pieds différents (Ozenda, 2004). La floraison apparaît juste avant la feuillaison et débute au mois de février, le plus souvent 2 à 4 semaines avant la poussée des bourgeons végétatifs (Grundwag, 1976). L'inflorescence mâle à tendance à fleurir avant les femelles, la pollinisation est anémophile (Rezaeyan et *al.*, 2009) (Figure 16).



Figure 16 : floraison du pistachier de l'Atlas (Smail-Sadaadoun, 2014).

Les fruits du pistachier de l'Atlas sont appelés par les populations locales en Algérie « El Khodiri », à cause de la prédominance de la couleur vert foncé à sa maturité (Belhadj,

1999). Ce sont des drupes de la grosseur d'un pois, légèrement ovales, quelque fois plutôt allongées, riches en huile et comestibles (Monjauze, 1980). Les fruits ont une couleur rougeâtres au début, puis brunâtres à la fin de la maturité en automne (Danin, 1983) (Figure 17).



Figure 17 : fruits du pistachier de l'Atlas (Smail-Sadaadoun, 2014).

4. Ecologie et aire de répartition

Le pistachier de l'Atlas occupe une aire très vaste englobant le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, la Syrie, la Jordanie, Palestine, l'Iran et l'Afghanistan (Kaska et *al.*, 1996 ; Khaldi et Khouja, 1996 ; Sheibani, 1996). D'après Zohary (1952, 1987) et Quézel et Médail (2003), cette espèce est commune à deux régions : méditerranéenne et irano-touranienne. Cependant, Monjauze (1980) et Ozenda (1983) la qualifie d'endémique de l'Afrique du Nord (Belhadj et *al.*, 2008).

Elle se contente d'une faible pluviométrie de l'ordre de 150 mm/an et parfois moins (Benhassaini et Belkhodja, 2004). *Pistacia atlantica* se régénère et se développe dans les endroits les plus arides, où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et persister. Sa croissance est très lente. En Algérie, on le trouve en association avec *Zizyphus lotus* qui protège les jeunes pousses contre les animaux et les vents violents (Belhadj et *al.*, 2008).

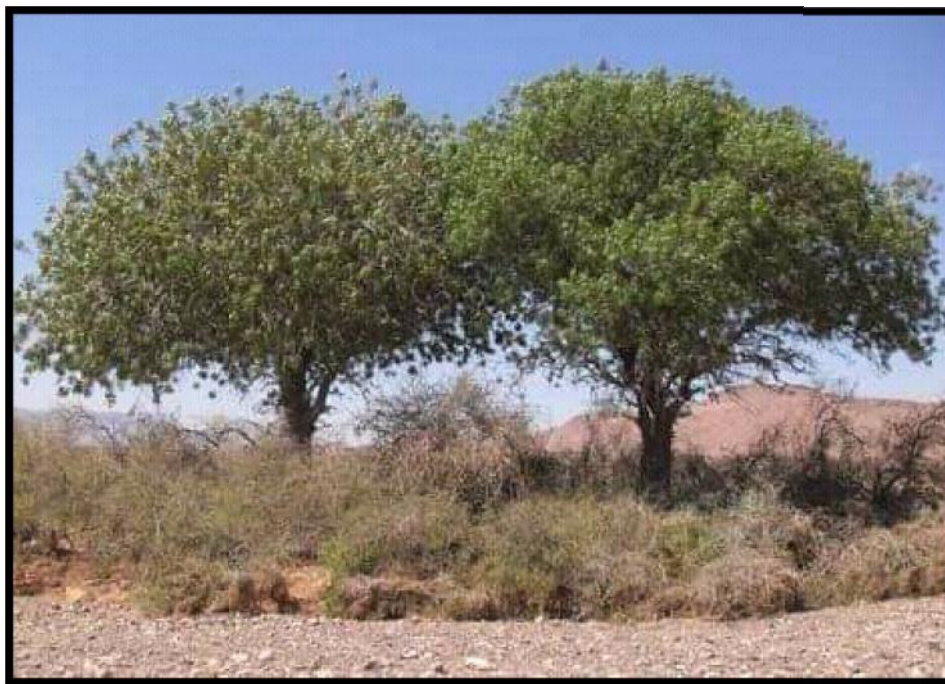


Figure 18 : *Pistacia atlantica* avec *Zizyphus lotus* (google).

Le pistachier de l'Atlas est un arbre de grande plasticité vis-à-vis de la sécheresse édaphique et climatique, il résiste bien aux températures élevées (49°C à Ghardaïa) qu'aux températures basse (-12°C à Djelfa) (Salhi, 1997). Pour une bonne fructification de cette essence, la tranche pluviométrique doit être entre 200 et 500 mm/an (Monjauze, 1968). Cependant, Alyafi (1979) note que l'espèce de pistachier de l'Atlas se développe dans une tranche pluviométrique allant de 250 à 600 mm/an.

Le meilleur développement de *Pistacia atlantica* se fait entre 600 et 1200 m d'altitude. Il peut atteindre 2000 m d'altitude dans les montagnes sèches (Boudy, 1952 ; Monjauze, 1968). Dans son aire de répartition, il peut atteindre jusqu'à 3000 m selon Zohary (1952).

Du point de vue édaphique, le bétoum s'accommode à une large gamme de sols, sauf les sables, cette espèce préfère généralement les terrains argileux ou limoneux. On le trouve aussi sur les roches calcaires, où les racines pénètrent les fissurations (Khaldi et Khoudja, 1996). Selon Limane et *al.* (2014), Boubrima (2014) et Hamitouche (2016), les textures des sols qu'occupe le pistachier de l'Atlas des dayas en Algérie sont très hétérogènes (sablo-limoneuse, limoneuse, limono-argileuse, etc...). En effet, une large gamme de textures a été signalée jusqu'à présent par les travaux effectués dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, sur des populations naturelles distribuées selon un gradient nord-sud.

Brown et *al.* (1994) signalent que le pistachier de l'Atlas occupe une variété de sols qui se caractérisent par un pH élevé. D'après les travaux réalisés par Limane (2009), Boubrima (2014) et Hamitouche (2016), l'intervalle de pH des sols sous pistachiers varie entre 6.17 et 8.70. Nous pouvons dire que les pH des sols sous *Pistacia atlantica* Desf. sont basiques.

Selon Pouget (1980), les sols sous pistachier de l'Atlas se caractérisent par leur faible teneur en calcaire (< 10-20%). Le taux de calcaire total des sous pistachier de l'Atlas des travaux précédents (Hamitouche, 2016) varie entre 4,53% et 18,75%.

D'après Pouget (1980), l'aridité influe sur le couvert végétal. La diminution du couvert végétal se traduit par une diminution du taux de matière organique dans le sol. D'après Hamitouche (2016), le taux de matière organique des sols sous pistachiers varie entre 0.10 et 5.45%.

5. Propriétés et usages thérapeutiques

Les espèces du genre *Pistacia* occupent une place appréciable dans la médecine traditionnelle et dans la pharmaceutique depuis l'antiquité. Elles attirent l'attention des chercheurs surtout par rapport à leurs potentiels antioxydants et leurs activités antimicrobienne, anti-inflammatoire, antipyrétique, antidiabétique, antiradicalaire et cytotoxique (Hamdan et Afifi, 2004 ; Topçu et *al.*, 2007; Benhammou et *al.*, 2007 ; Benhammou et *al.*, 2008). Elles sont employées dans le traitement de l'eczéma, des infections de la gorge, la lithiase rénale, l'asthme, l'estomac et comme un stimulant (Kordali et *al.*, 2003).

Chez les marocains, la décoction des feuilles est largement employée pour traiter les infections de l'œil (El-Hilaly et *al.*, 2003). Les fruits trouvent leur application dans la cuisine et les pratiques médicinales algériennes, en particulier dans la région de Djelfa, Laghouat et Ghardaïa. L'huile de ces fruits comestibles est souvent mélangée aux dattes écrasées et peut-être consommée à toute heure de la journée, avec du petit lait. L'huile a un goût très proche de celui du beurre, elle est très appréciée dans les régions. Les graines sont séchées, écrasées ou moulues et ramassées avec de l'eau sucrée et consommées en boulettes ou bien séchées et croquées telles quelles, comme des cacahuètes (Belhadj, 2001).

Chapitre 3

Matériel et Méthodes

Dans notre travail nous faisons une synthèse des travaux de différents auteurs : Benhammou (2012), Hacid (2016) et Assla et Boucetta (2018) qui ont travaillé sur les composés phénoliques des feuilles et des fruits du pistachier de l'Atlas.

1. Matériel végétal

Les feuilles et les fruits utilisés sont collectés d'une dizaine d'arbres situés dans différentes régions de l'Algérie (Tableau 2) (Figure 18) :

-) les feuilles ont été récoltées à Boumadfaâ (wilaya de Ain Defla) par Assla et Boucetta (2018) et à Theniet El Had, Sidi Boutouchent et Ain Oussara par Hacid (2016);
-) les fruits ont été récoltés à Ain Fezza (wilaya de Tlemcen) par Benhammou (2012).

Le matériel végétal a été soigneusement lavé à l'eau courante, puis mis à sécher au laboratoire à l'abri de la lumière, de l'humidité et de la poussière. Le séchage sert à extraire l'eau contenue dans ces organes végétaux, dans le but de déshydrater de façon à abaisse sa teneur en eau en dessous d'une valeur permettant sa conservation à température ambiante. Après une dizaine de jours, les feuilles et les fruits ont été broyés à l'aide d'un broyeur à maille1 et conservé dans des petits flacons en plastique bien fermés et étiquetés.

Tableau 2 : principales coordonnées géographiques et climatiques des stations d'étude (Benhammou (2012), Hacid (2016) et Assla et Boucetta (2018)).

Stations	Période d'échantillonnage	Nombre d'arbres	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Etage bioclimatique
Aïn Fezza (Tlemcen)	Printemps 2007 (mai)	10	34°55'N	1° 17'E	730	Semi-aride tempéré
Boumadfaâ (Ain Defla)	Printemps 2018 (mars)	Non déterminé	36°20'N	2°31'E	263	Humide
Theniet El Had (Tissemssilt)	Été 2014 (juin-août)	10	35°52'N	1°56'E	1353	Semi-aride froid
Sidi Boutouchent (Tissemssilt)	Été 2014 (juin-août)	10	35°50'N	1°59'E	1240	Semi-aride frais
Ain Oussara (Djelfa)	Été 2014 (juin-août)	10	35°21' N	2°57' E	734	Aride frais



Figure 19: situation géographique des stations d'échantillonnage (Source : Google earth, 2020)

2. Extraction des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques est effectuée selon le protocole d'El Hadrami et *al.*, 1997). 0,2 g de l'organe végétal a été macéré à froid à 4°C dans un mortier contenant 10 ml de méthanol (80%). Après agitation au vortex, le mélange a été centrifugé 10 min à 4000 tours/min et un premier surnageant a été récupéré. On procède à une deuxième extraction identique sur le culot pour extraire 30% de polyphénols supplémentaires et donc d'obtenir un extrait plus exhaustif. Les surnageants sont réunis avant d'être concentrés à sec sous vide.

2.1. Dosage des polyphénols

2.1.1. Dosage des phénols totaux

2.1.1.1. Principe

La teneur phénolique totale est habituellement déterminée colorimétriquement avec un spectrophotomètre, en utilisant le Folin-Ciocalteu. Les composés phénoliques réagissent avec ce réactif. Le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) est réduit, lors de l'oxydation des polyphénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et molybdène (MO_8O_{23}). La coloration produite,

dont l'absorption maximum est comprise entre 760 et 765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006).

2.1.1.2. Protocole

Pour le dosage des polyphénols totaux, 50 µl d'extrait hydroalcoolique ont été dilués dans 2,5 ml d'eau distillée. Après ajout de 250 µl du réactif de Folin-Ciocalteu, le mélange est agité au vortex pendant 10 secondes, puis 500 µl de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 20 % ont été ajoutés et les tubes ont été agités au vortex pendant 10 secondes, puis incubés 30 min à 40°C. Le mélange a été maintenu à température ambiante et à l'obscurité pendant 60 min, avant la lecture de l'absorbance mesurée par un spectrophotomètre à 765 nm (Figure 19). Le témoin est préparé de la même manière en remplaçant l'extrait par 500 µl d'éthanol.

L'acide gallique est le standard le plus souvent employé dans la méthode au Folin-Ciocalteu (Maisuthisakul et *al.*, 2008). La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage. Cette dernière est établie avec le standard étalon d'acide gallique (0,01-0,1 mg/ml). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g ms).

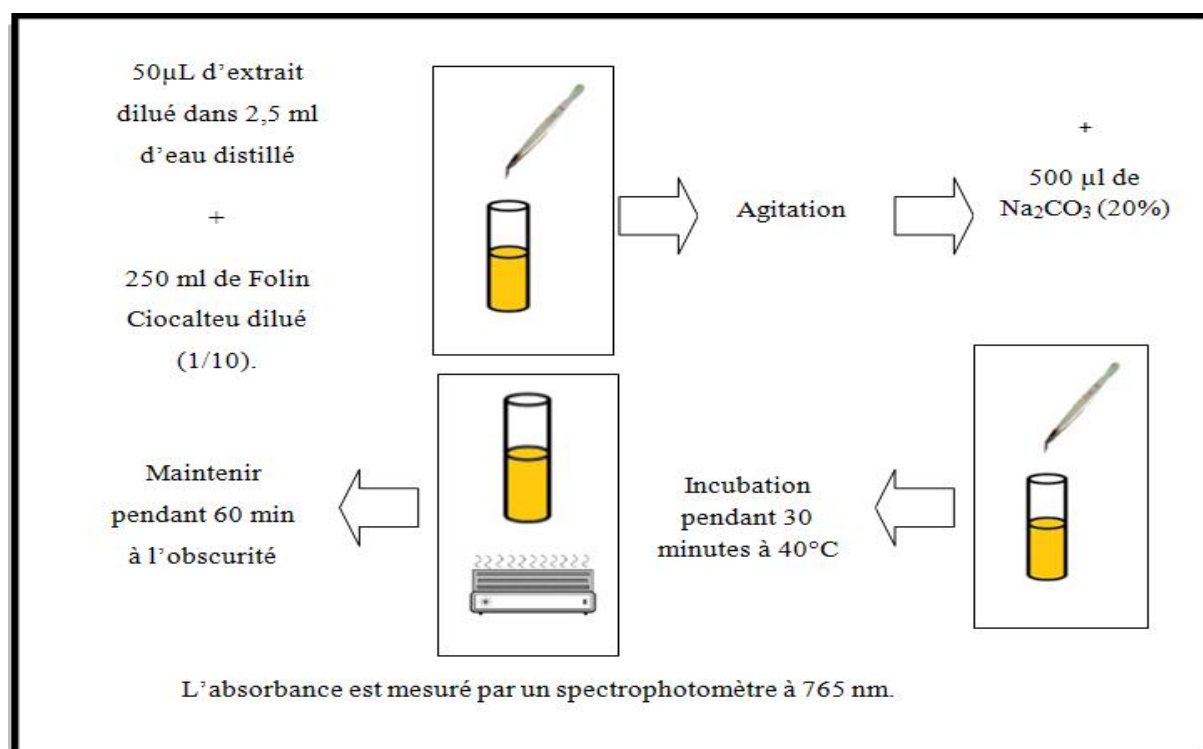


Figure 20 : protocole expérimental du dosage des phénols totaux (Allouache, Ghernoub, 2017).

2.1.2. Dosage des flavonoïdes totaux

La quantification du contenu flavonoïdes des différents organes de la plante est estimée par la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (Swain, Hillis, 1959).

2.1.2.1. Principe

Le principe de la méthode est basé sur l'oxydation des flavonoïdes par un réactif AlCl_3 . Elle entraîne la formation d'un complexe brunâtre qui absorbe à 510nm. La comparaison de l'absorbance observée à celle obtenue, par un étalon de catéchine de concentration connue permet d'évaluer la teneur totale en flavonoïdes.

2.1.2.2. Protocole

Le dosage des flavonoïdes s'effectue par la méthode suivante : 500 μl d'extrait hydro-alcoolique sont mélangés avec 1500 μl d'eau distillée et 150 μl de nitrate de sodium à 5%, nous laissons reposer le mélange 5 min à température ambiante et à l'obscurité. Ce mélange est ensuite additionné à 150 μl de trichlorure d'aluminium à 10% (10 g d' AlCl_3 dans 100ml eau distillée). Après un repos de 11 min à l'obscurité, 500 μl de soude à 1M (NaOH) est ajouté. Le mélange est soumis à une agitation au vortex, la densité optique est lue au spectrophotomètre UV à une longueur d'onde de 510 nm (Figure 20). Une courbe d'étalonnage réalisée par un standard étalon (la catéchine) à différentes concentrations (0-10-20-30-40-50 mg/l) et pratiquée dans les mêmes conditions opératoires que celles des échantillons servira à la quantification des flavonoïdes. Les résultats ont été exprimés en milligramme d'équivalent de catéchine par gramme de matière sèche (g EC /g ms).

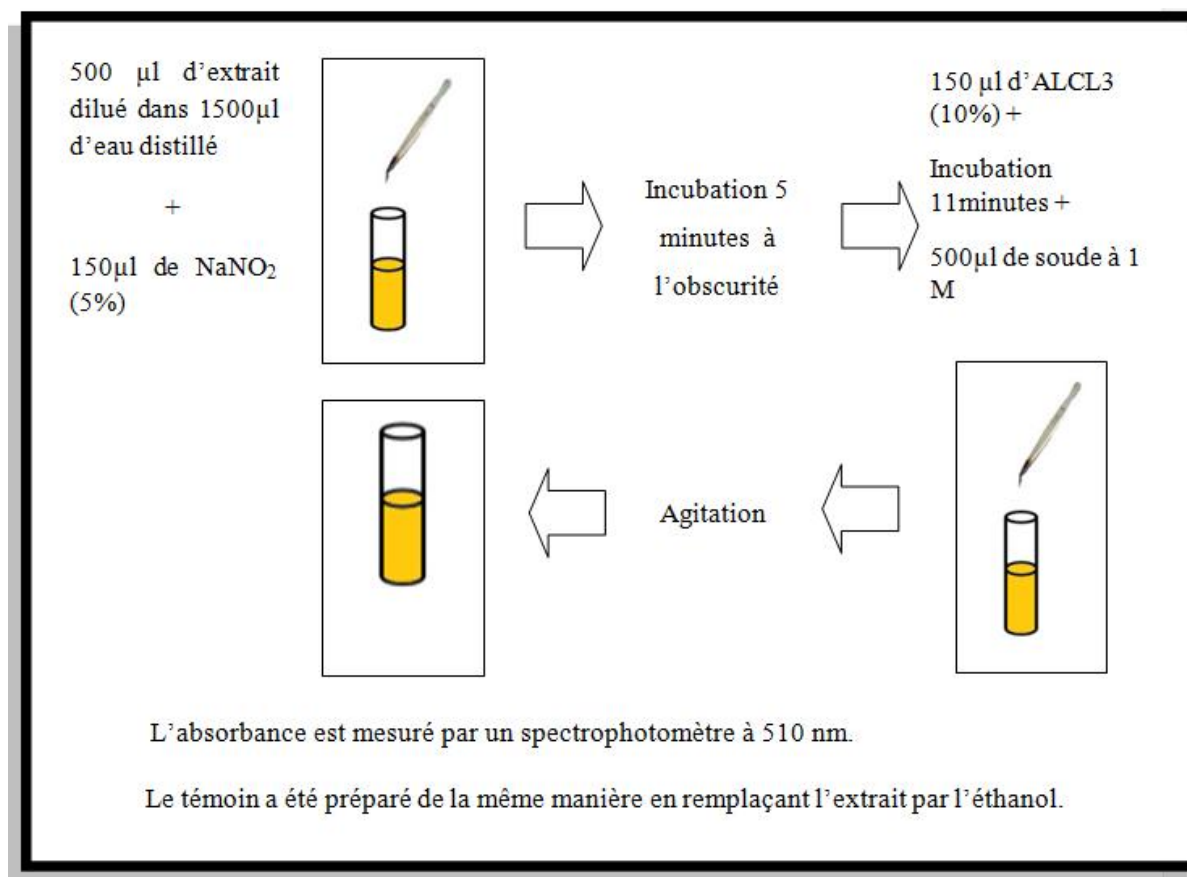


Figure 21: protocole expérimentale de flavonoïdes totaux (Allouache, Ghernoub, 2017).

2.1.3. Dosage des tanins totaux

2.1.3.1. Principe

Les tanins sont des polymères caractérisés par la présence d'un nombre suffisant de groupe hydroxyphénoliques, permettant des combinaisons plus stables avec les protéines et les alcaloïdes. Ces composés sont généralement amorphes, solubles dans l'eau et insolubles dans les solvants organiques apolaires (Quettier-Deleu et *al.*, 2000).

2.1.3.2. Protocole

Les quantités des tannins condensés sont estimées en utilisant la méthode de la vanilline en milieu acide (Julkunen-Titto, 1985). Un volume de 50 µl de l'extrait brut est ajouté à 1500 µl de la solution vanilline/méthanol (4 %, m/v) et puis mélangé à l'aide d'un vortex. Ensuite, 750 µl de l'acide chlorhydrique concentré (HCl) est additionné et laissé réagir à la température ambiante pendant 20 min. L'absorbance à 550 nm est mesurée contre un blanc. La concentration des tannins est estimée en milligramme (mg) équivalents de catéchine

par gramme (g) du poids de la matière sèche (EC/g ms), à partir de la courbe d'étalonnage (Figure 21).

Les tanins condensés sont exprimés par la formule : $TC (\%) = (5,2 \times 10^{-2} \times Abs \times V)/P$. Avec : TC : tanins condensés, $5,2 \times 10^{-2}$: constante exprimée en équivalent de cyanidines, Abs : l'absorbance, V: volume de l'extrait utilisé, P : poids de l'échantillon.

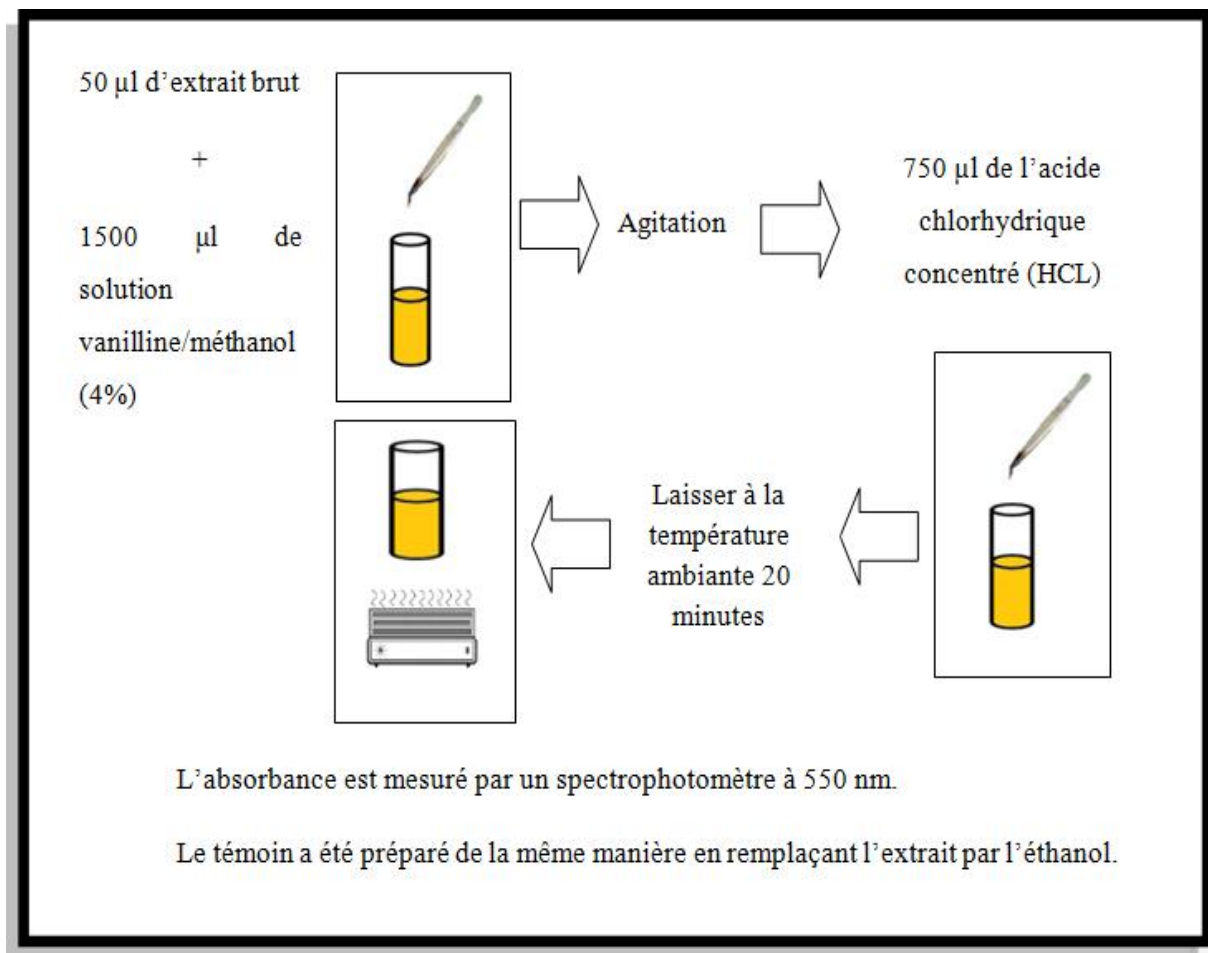


Figure 22 : protocole expérimentale des tanins totaux (Allouache, Ghernoub, 2017).

Chapitre 4

Résultats et discussion

1. Rendement d'extraction des polyphénols de feuilles et de fruits du pistachier de l'Atlas

Les résultats obtenus après extraction des composés phénoliques des feuilles de *Pistacia atlantica* a permis d'obtenir les rendements des différents extraits. Le rendement trouvé par Assla et Boucetta (2018) avec les extraits hydro-alcooliques est significativement le plus élevée par rapport à l'extrait aqueux ($P < 0,05$) avec des valeurs de 45,5% et 26,9 % respectivement. Ces résultats se rapprochent de ceux de Ziane (2014), qui montre que le rendement d'extraction le plus élevé a été obtenu avec l'extrait hydro-alcoolique (46,57%), alors que le plus faible a été enregistré avec l'extrait aqueux (27,41%). Les résultats de Benhammou (2012) concernant l'extraction des composés phénoliques par le méthanol des fruits matures a permis de déterminer les rendements de leurs extraits bruts de l'ordre de 33,43% (Tableau 3).

Tableau 3 : rendement des extraits des feuilles et des fruits de *Pistacia atlantica* Desf.

	Feuilles		Fruits
Extraits	Assla et Bouceta (2018)	Ziane (2014)	Benhammou (2012)
Extrait hydro-alcoolique	45,5%	46,57%	/
Extrait aqueux	26,9%	27,41%	/
Extrait méthanolique	/	/	33,43%

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les rendements des feuilles de *Pistacia atlantica* sont plus importants par rapport aux rendements des fruits. Il a été constaté que la méthode d'extraction et le type de solvant utilisé jouent un rôle très important dans les rendements des extraits. Un solvant polaire permet d'extraire un grand nombre de composés biologiquement actifs, à partir de différentes matières végétales (Su et *al.*, 2014 ; Starliper et *al.*, 2015).

2. Teneur des flavonoïdes, des phénols totaux et des tannins des extraits de feuilles

Les concentrations en flavonoïdes contenus dans les extraits sont calculées à partir de la courbe d'étalonnage et les résultats sont exprimés en mg équivalent de catéchine par g d'extrait (mg EC/g extrait). Assla et Boucetta (2018) ont noté que l'extrait hydro-alcoolique

a présenté significativement la teneur en flavonoïdes la plus élevée ($P < 0,05$) ($14,29 \pm 0,10$ mg EC/g MS) par rapport à l'extrait aqueux ($11,12 \pm 0,22$ mg EC/g MS). Ces résultats sont plus proches à ceux de Ziane (2014), qui montre que les teneurs en flavonoïdes de l'extrait hydro-alcoolique et aqueux sont de $14,52 \pm 0,94$ et $12,11 \pm 0,55$ mg EC/g MS respectivement. Ces résultats sont encore plus élevés comparativement à ceux de Hacid (2016). Cette dernière a montré que les concentrations en flavonoïdes dans les extraits aqueux sont plus élevée ($6,67 \pm 1,1$ mg EC/g MS) par rapport à l'extrait hydro-alcoolique ($5,71 \pm 1,1$ mg EC/g MS) (Tableau 4). D'après les analyses statistiques, il a été constaté qu'il y a une différence significative entre l'extrait hydro-alcoolique et l'extrait aqueux ($P < 0,05$).

Tableau 4 : teneur en flavonoïdes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf.

Extraits	Flavonoïdes (mg EC/g MS)		
	Assla et Boucetta (2018)	Ziane (2014)	Hacid (2016)
Extrait hydro-alcoolique	$14,29 \pm 0,10$	$14,52 \pm 0,94$	$5,71 \pm 1,1$
Extrait aqueux	$11,12 \pm 0,22$	$12,11 \pm 0,55$	$6,67 \pm 1,1$

D'après Assla et Boucetta (2018) et Ziane (2014), les concentrations en flavonoïdes dans les stations Boumadfâa (wilaya d'Ain Defla) et d'Ain El Hadjel (Wilaya de M'sila) respectivement sont plus élevées dans les extraits de *Pistacia atlantica* que dans ceux de *Pistacia lentiscus* ($9,50 \pm 1,2$) mg EC/g de MS. En ce qui concerne les résultats de Hacid (2016), la teneur en flavonoïdes dans les stations de Theniet El Had et de Sidi Boutouchent dans les extraits de *Pistacia lentiscus* est plus élevée par rapport à celle de *Pistacia atlantica*. Toutefois, il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie car l'utilisation de différents solvants et de différentes méthodes d'extraction, les conditions climatiques et géographiques réduit la fiabilité d'une comparaison entre les études (Assla et Boucetta, 2018).

Les teneurs en phénols totaux et en tanins hydrolysables dans les extraits éthanoliques obtenus par Hacid (2016) des feuilles de *Pistacia atlantica* et *Pistacia lentiscus* sont résumées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : teneurs en phénols totaux et tannins hydrolysables des feuilles de *Pistacia atlantica* et *Pistacia lentiscus* (Hacid, 2016).

	Phénols totaux (mg EAG/g MS)	Tannins hydrolysables (mg EC/g MS)
<i>Pistacia atlantica</i>	26,54 ± 2,8 à 28,56 ± 2,6	156,49 ± 9,5 à 165,08 ± 20,2
<i>Pistacia lentiscus</i>	16,69 ± 2,51 à 21,70 ± 4,4	67,98 ± 9,4 à 127,63 ± 15,5

Les concentrations en phénols totaux et en tanins hydrolysables sont plus élevées dans les extraits éthanoliques de *Pistacia atlantica* que dans ceux de *Pistacia lentiscus*. Les populations de *Pistacia atlantica* de Theniet El Had et de Sidi Boutouchent sont caractérisées par des teneurs élevées en phénols totaux et tanins hydrolysables et des teneurs plus faibles en flavonoïdes. Les populations de *Pistacia lentiscus* des stations Ouzera et Tarik Ibn Ziad (Ain Defla) sont caractérisées par des teneurs assez faibles en phénols totaux, tanins hydrolysables et des teneurs élevées en flavonoïdes (Hacid, 2016). Ces résultats sont plus faibles comparativement à celles d'Aiche-Iratni (2016) qui montre que les teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes, dans les extraits aqueux des feuilles de *Pistacia lentiscus* de la station de Tizi Ouzou sont de 119,77 ± 3,2 et 60,56 ± 5,03 respectivement. Les résultats varient en fonction de la plante et des conditions d'extraction (Aiche-Iratni 2016). Ceci suggère que les facteurs climatiques et édaphiques influent fortement sur la synthèse des composés phénoliques.

3. Teneur en phénols totaux, flavonoïdes et tanins des extraits des fruits

Le tableau 6 résume les résultats obtenus des teneurs en phénols totaux, tanins et flavonoïdes des extraits méthanoliques des fruits du pistachier de l'Atlas.

Tableau 6 : teneurs en phénols totaux, flavonoïdes et tanins des fruits de *Pistacia atlantica* (Benhammou, 2012).

Extraits méthanoliques	Phénols totaux (mg EAG/g MS)	Flavonoïdes totaux (mg EC/g MS)	Tanins totaux (mg EC/g MS)
Fruit	285,956 ± 10,257	12,441 ± 0,256	3,066 ± 0,151

Il a été constaté que les fruits de *Pistacia atlantica* possèdent des teneurs élevées en phénols totaux par rapport aux flavonoïdes et aux tanins. Ces variations pourraient être d'origine génétique (Pilepic et Males, 2012) ou environnementale (Siracusa et al., 2012). Plusieurs, facteurs peuvent influencer sur la teneur en composés phénoliques. Des études ont

montré que les facteurs extrinsèques (tels que des facteurs géographiques et climatiques), les facteurs génétiques, mais également le degré de maturation de l'organe et la durée de stockage ont une forte influence sur le contenu en composés phénoliques (Park et *al.*, 2003; Ebrahim-zadeh, 2008 ; Falleh et *al.*, 2008).

Les feuilles de *Pistacia atlantica* sont plus riches en phénols totaux et en flavonoïdes par rapport aux fruits. Selon Falleh et *al.* (2008), le méthanol est le solvant le plus approprié pour récupérer un maximum de polyphénols. Ceci est liée à la solubilité élevée des phénols dans les solvants polaires (Ghedadba et *al.*, 2014). De plus, la méthode de quantification peut également influencer l'estimation de la teneur des phénols totaux (Lee et *al.*, 2003).

Il a été constaté que les populations de *Pistacia atlantica* de Theniet El Had et de Sidi Boutouchent sont caractérisées par des teneurs élevées en phénols totaux et tanins hydrolysables et des teneurs plus faibles en flavonoïdes. Cette variabilité des teneurs en polyphénols pourrait être dû probablement à la composition phénoliques des extraits (Hayouni et *al.*, 2007) et aux facteurs génotypiques (El-Waziry, 2007). Selon Djeridane et *al.* (2005), la teneur des métabolites secondaires de la plante peut changer, en raison de l'existence d'une liaison avec les conditions climatiques et les conditions de collectes, telles que les températures élevées, la durée d'exposition solaire, la nature du sol et la saison de croissance, en plus de l'organe analysé, la région et la date de la récolte. D'après Wojdylo et *al.* (2007), la teneur en composés phénoliques peut varier également en fonction de la méthode d'extraction (Ksouri et *al.*, 2008 ; Atmani et *al.*, 2009).

Une des caractéristiques des polyphénols, qu'ils partagent généralement avec l'ensemble des métabolites secondaires, est de montrer une répartition très inégale chez les différentes espèces végétales et pour une même espèce, selon la variété et le stade d'évolution physiologique (Macheix et *al.*, 2005). Leur rôle est largement montré dans la protection contre certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydants (Fleuriet et *al.*, 2005). Selon Gobbo-Neto et Lopes (2007), la réponse des plantes aux différents facteurs environnementaux est en relation avec le rôle de chaque classe de composés phénoliques. Ainsi, les flavonoïdes voient leur synthèse augmentée avec l'intensité des radiations UV alors que les tanins et les acides phénoliques simples, qui absorbent à des longueurs d'onde plus courtes, restent inchangés.

Conclusion générale

La biodiversité présente un impact important sur le fonctionnement des écosystèmes. En effet, plus un écosystème est riche en espèces, plus il est apte à résister et à faire face aux perturbations.

Le screening phytochimique réalisé sur les extraits des feuilles et des fruits de *Pistacia atlantica* a révélé la richesse de cette plante en polyphénols. Ces études mis en évidence la présence des phénols, des flavonoïdes et des tanins.

La préparation des extraits des feuilles de *Pistacia atlantica* a permis l'obtention des deux extraits : l'extrait hydro-alcoolique, l'extrait aqueux dont les rendements respectifs sont 45,5% et 26,69 % selon Assla et Boucetta (2018) et 46,57% et 27,41% selon Ziane (2014). Le rendement le plus important a été obtenu avec l'extrait hydro-alcoolique. Concernant les extraits des fruits, ils ont permis d'obtenir un rendement de 33,43%, les feuilles sont plus riches en composés phénoliques. Cela est dû aux différenciations des conditions écologiques telles que les facteurs climatiques, les facteurs géographiques et la saison de croissance, en plus de l'organe analysé, la région et la date de la récolte.

Les plantes riches en polyphénols sont connues pour leurs vertus thérapeutiques représentant un atout économique dans le domaine de la pharmacothérapie, puisqu'elles constituent une précieuse alternative aux substances médicamenteuses de synthèse.

Ainsi, plusieurs travaux ont mis en évidence les rôles écologiques des composés phénoliques des plantes. En effet, source de protection contre les facteurs biotiques et abiotiques, ils confèrent aux espèces végétales une bonne capacité d'adaptation dans les environnements les plus défavorables.

Par ailleurs, peu de travaux ont été entrepris sur les composés phénoliques des racines de *Pistacia atlantica* Desf. La plupart des études ont concerné essentiellement les feuilles et les fruits. Nous proposons comme perspectives :

- De réaliser des études sur les polyphénols des racines de *Pistacia atlantica* Desf. ;
- De réaliser d'autres études approfondies pour isoler et identifier les composés phénoliques de cet arbre dans différents bioclimats et à différentes saisons;
- Une évaluation des activités biologiques des extraits phénoliques.

**Références
bibliographiques**

1. **Aiche-Iratni G., 2016.** Activités biologiques, d'intérêt médical, d'extraits de feuilles de *Pistacia lentiscus* et d'*Origanum majorana*. 130 p.
2. **Ait Slimane L., 2004.** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse ; cas de la population de Béni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Département des Sciences Agronomiques, UMMTO. 10 p.
3. **Alibert G., Ranjeva R., Boudet MA., 1977.** Organisation subcellulaire des voies de synthèse des composés phénoliques. *Physiol. Veg*, 15 : 279-301.
4. **Alyafi J., 1979.** Approche systématique et écologique du *Pistacia* L. dans la région méditerranéenne. Thèse 3ème cycle. Faculté des Sciences et Techniques de St-Jérôme Marseille, 42p.
5. **Amghar F., Kadi-Hanifi H., 2002.** Effet de la mise en défense de la biodiversité et le sol dans les formations à *Stipa tenacissima* de l'Algérie. 11ème réunion du sous réseau méditerranéens FAO-CIHAM « Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieu méditerranéens », Djerba (Tunisie).
6. **Ait Said S., 2011.** Stratégies adaptatives de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* L. et *P. atlantica* Desf) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité: approches morpho-anatomiques, photochimiques et écophysiologiques. Thèse de doctorat, UMMTO, 160 p.
7. **Allouache S., Ghernoube B., 2017.** Etude des composés phénoliques et terpéniques d'une plante médicinale traditionnelle, Taxogénétique végétale et évolution, Université Abderrahmane MIRA-Bejaia, P
8. **Assla A., Boucetta H., 2018.** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits phénoliques des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. (in vitro). 98p.
9. **Atmani D., Chaher N., Berboucha M., Ayouni K., Lounis H., Boudaoud H., Debbache N., Atmani D., 2009.** Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chem*. 112: 303-309.
10. **Belhadj S., 1999.** Pistachio situation in Algeria. FAO. CIHEAM. *Nucis News Letter*, 8. 30.
11. **Belhadj S., 2001.** Les Pistacheries Algériennes: Etat actuel et dégradation. Ing : AK B.E (Ed). XI GREMPA. Seminar on pistachios and Almonds. Zaragoza. Cahiers options méditerranéennes : CIHEAM. 56:107-109.
12. **Belhadj S., 2007.** Etude Eco-Botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (ANACARDIACEAE) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques

- de l'espèce et a sa valorisation. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques. Option, Ecologie Végétale. UMMTO. 200 p.
13. **Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers C., Gauquelin T., 2008.** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Botany. 86 : 520-532
 14. **Benhamou N., 2012.** Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-ouest Algérien. Thèse Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie, 174p.
 15. **Benhammou N., Atik Bekkara F., Kadifkova Panovska T., 2007.** Antiradical capacity of the phenolic compounds of *Pistacia lentiscus* L. and *Pistacia atlantica* Desf. Adv. Food Sci, 29 (3): 155-161.
 16. **Benhammou N., Atik Bekkara F., Kadifkova Panovska T., 2008.** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. Afr. J. Pharm Pharmacol. 2 (2): 022-028.
 17. **Benhassaini H., Belkhodja M., 2004.** Le pistachier de l'Atlas en Algérie : entre survie et disparition. La feuille et l'aiguille. pp1-2.
 18. **Boizot N., Charpentier JP., 2006.** Méthode Rapide D'évaluation Du Contenu En Composés Phénoliques Des Organes D'un Arbre Foustier. Le Cahier Des Techniques De L'INRA. 79-82.
 19. **Boldi AM., 2004.** Libraries from natural product-like scaffolds. Current Opinion in Chemical Biology. 8 : 281-286.
 20. **Bouakaz I., 2006.** Etude Phytochimique De La Plantes *Genista Mic rocephala*. Mémoire De Magister : chimie organique. Faculté des sciences de l'ingénieur : Université El Hadj Lakhdar de Batna. p 124.
 21. **Boubrima A., 2014.** Type d'enracinement du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent : cas de dayate Saadi (Hassi Delâa) et dedayate Aiat (Timzerth) de la Wilaya de Laghouat. Mémoire de Magister Ecologie végétale, Université Amar Telidji. Laghouat. 244 p.
 22. **Boudy P., 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. Vol 1, Edit. La Maison rustique, Paris, 509 p.
 23. **Brouillard R., 1986.** The flavonoïdes Advances. Research science: 525-538.
 24. **Brown PH., Zhang Q., Fergusson L., 1994.** Influence of rootstock on nutrient aquisition by Pistachio. Journal of plant nutrition, 17:1137-1148.

25. **Bruneton J., 1993.** Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales. 2ème édition, Lavoisier Techniques & Documentation, Paris.
26. **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes Médicinales. 3ème édition, Lavoisier Techniques & Documentation, Paris.
27. **Bruneton J., 2009.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 4ème éd. Lavoisier, 1292 p.
28. **Chaba B., Chraa O., Khichane M., 1991.** Germination, morphogenèse racinaire et rythmes de croissance du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'étude de l'arbre. Paris, France. 465-472
29. **Chehrit-hacid F. 2016.** Etude de la variabilité biochimique, physiologique et évaluation des activités biologiques des polyphénols de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* L. et *P. atlantica* Desf.). Thèse de Doctorat en biologie végétal. UMMTO. 117p.
30. **Collin S., Creast G., 2011.** Polyphynol Et Procédé. 1ère Ed, Lavoisier: Paris
31. **Conrad J., Vogler B., Klaiber I., Roos G., Walter U., Kraus W., 1998.** Two triterpene esters from Terminalia macroptera bark. Phytochemistry 48: 647-650.
32. **Cowan MM., 1999.** Plant Products as Antimicrobial Agents. Clin. Microbiol Re. 12 (4): 564-582.
33. **Crozier A., Clifford MN., Ashihara H., 2006.** Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Edt Blackwell Publishing Ltd.
34. **Crozier A., Jensen E., Lean MEJ., Mc donald MS., 1997.** Quantitative Analysis Of Flavonoids By Reversed-Phase High Performance Liquid Chromatography. Journal Of Chromatography A. 761 : 315-321.
35. **Danin A., 1983.** Anacardiaceae : desert végétation of Israel and sinai. Cana, Jerusalem. 102-104.
36. **Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna A., Stocker C., Vidal N., 2005.** Antioxidant Activity Of Some Algerian Medicinal Plants Extracts Containing Phenolic Compounds. Food Chem. (97) : 654-660.
37. **Dupont F., Guignard JL., 2007.** Abrèges botanique systématique moléculaire. 14ème édition révisée, Masson.
38. **Ebrahim-zadeh MA., Pourmmorad F., Hafezi S., 2008.** Antioxidant activities of Iranian cornsilk. Turkish journal of biology, 32: 43-49.
39. **Edenharder R., Grünhage D., 2003.** Free Radical Scavenging Abilities Of Flavonoids As Mechanism Of Protection Against Mutagenicity Induced By Tert-Butyl

- Hydroperoxide Or Cumenehydroperoxide In Salmonella Typhimuriumta102. Mutat. Res, 540: 1-18.
40. **El Hadrami I., Ramos T., El Bellaj M., El Idrissi T., Macheix JJ., 1997.** A sinapic derivative as an induced defense compound of date plam against *Fusarium oxysporum* sp. albedinis, the agent causing bayoud disease. J. Phytopathol., 145 (8-9) : 329-333.
 41. **El-Hilaly J., Hmammouchi M., Lyoussi B. 2003.** Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). J. Ethnopharmacol, 86: 149-158.
 42. **El-Waziry AM., 2007.** Nutritive value assessment of ensiling or mixing Acacia and Atriplex using in vitro gas production technique. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3(6): 605-614.
 43. **Emerenciano VP., Barbosa KO., Scotti MT. Ferriro MJP., 2007.** Self Organising Maps In Chemotaxonomic Studies Of Asteraceae : A Classification Of Tribes Usingflavonoid Data. Journal Of Brazilian Chemical Society, 18 (5) : 891-899.
 44. **Erdman J., Balentine JD., Arab L., Beecher G., Dwyer JT., Folts J., Harnly., Hollman JP., L-Keen C., Mazza G., Messina M., Scalbert A., Vita J., Williamsong. Burrowes J., 2007.** Flavonoids And Heart Health : Proceeding Of The ILSI North Americaflavonoids Workshop, 137: 718 -737.
 45. **Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdelly C., 2008.** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. C. R. Biol. 331 (5) : 372-379.
 46. **Feucht W., Treutter D., Christ E., 1997.** Role Of Flavanols In Yellowing Beech Tree Of The Black Forest.Tree Physiol. 17 : 335-340.
 47. **Fiorucci S., 2006.** Activités biologiques de composés de la famille de flavonoïdes : approches par des méthodes de chimie quantique et de dynamique moléculaire. Thèse Doc. Nice, France, 211 p.
 48. **Fleuriet A., Jay-Allemand C., Macheix JJ., 2005.** Composés phénoliques des végétaux un exemple des métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes. pp121-216.
 49. **Ford RA., Hawkins DR., Mayo BC. Api AM., 2001.** The in vitro dermal absorption and metabolism of coumarin by rats and by human volunteers under simulated conditions of use in fragrances. Food and Chemical Toxicology, 39: 153-162.
 50. **Ghedadba N., Bousselsela H., Hambaba L., Benbia S., Mouloud Y., 2014.** Evaluation De L'Activité Antioxydante Et Antimicrobienne Des Feuilles Et Des Sommités Fleuries De *Marrubium Vulgare* L. Phytothérapie. 15 (12) :24-52.

51. **Gilbert BL., Norris DM., 1968.** Achemical Basis For Bark Beetle (Scolytus) Distinction Between Host And Non-Host Trees. J Insect Physiol. (14): 1063-1068.
52. **Grundwag M., 1976.** Embryology and fruit- développement in four species of *Pistacia* L. (Anacardiaceae. Botanical journal of the linnean society, 73 : 355-370.
53. **Guignard JL., 1996.** Abrégé de biochimie végétale, Ed. Masson, Paris, 160 p.
54. **Hamdan I., Afifi FU., 2004.** Studies on the in vitro and in vivo hypoglycemic activities of some medicinal plants used in treatment of diabetes in Jordanian traditional medicine. J. Ethnopharmacol, 93: 117-121.
55. **Hamitouche F., 2016.** Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa, Commune Ain Madhi, W. Laghouat. Mémoire de Magister. Département des Sciences Biologiques. Option Ecologie Végétale Appliquée et Gestion de l'environnement. UMMTO. 140p.
56. **Hanhineva K., Törrönen R., Bondia-Pons I., Pekkinen J., Kolehmainen M., Mykkänen H., Poutanen H., 2010.** Impact of Dietary Polyphenols on Carbohydrate Metabolism. Int. J. Mol. Sci, 11: 1365-1402.
57. **Harbone JB., 1967.** Comparative biochemistry of the flavonoides. Academic press. New York, 1-130p.
58. **Harbone JB., 1993.** Introduction to Ecological Biochemistry, 4th Ed; Academic Press: London.
59. **Harbone JB., Grayer RJ., 1988.** The flavonoids, Advances. Research science : 1-20.
60. **Harborn JB., 1975.** The Flavonoides, Mabry, TM., Mabry H. Eds : Chapman et Hall, London.
61. **Haslam E., 1989.** Plant Polyphenols: Vegetal Tannins Revisited, Cambridge University Press, Cambridge, 32: 1-13.
62. **Haslam E., 1996.** Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. J. Nat Pro, 59: 205-215.
63. **Havsteen BH., 2002.** The Biochemistry And Medical Significance Of The Flavonoids. Pharmacol. Therapeut, 96: 67-202
64. **Hayouni E., Abedrabba M., Bouix M., Hamdi M., 2007.** The effects of solvent and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoeniceae* L. fruit extracts, Food Chem. 105: 1126-1134.
65. **Heimeur N., Idrissi Hassani LM., Amine Serghini M., 2004.** Les polyphénols de *Pyrus mamorensis* (Rosaceae). Reviews in Biology and Biotechnology, 3 (1): 37-42.

66. **Hennebelle T., Sahpaz S., Bailleul F., 2004.** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 1 : 3-6
67. **Hertog, MG., 1993.** Dietary Antioxidant Flavonoid And Risk Of Coronary Heart Disease: The Zutphen Elderly Study. *Launcet*; 342: 1007-1011.
68. **Hopkins WG., 2003.** *Physiologie végétale*. 2ème édition. Edition de Boeck Université, p 268-280.
69. **Iserin P., Masson M., Restellini JP., Ybert E., De Laage De Meux A., Moulard F., Zha E., De La Roque R., De La Roque O., Vican P., Deelesalle -Feat T., Biaujeaud M., Ringuet J., Bloth J., Botrel A. 2001.** *Larousse Des Plantes Médicinales : Identification, Préparation, Soins*. 2ème Edition Devuef, Hong Kong : 335 p.
70. **Julkunen-Titto R., 1985.** Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *J. Agric. Food Chem*, 33: 213-217.
71. **Kaska N., Caglar S.,Kafkas S., 1996.** Genetic diversity and germplasm conservation of *Pistacia* species in Turkey. In: Workshop “Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources”, Padulosi S., Caruso T. and Barone E., Palermo, Italy, 1995. IPGRI, Rome, Italy, 46-50.
72. **Khaldi A., et Khoudja MK., 1996.** Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in North Africa: Taxonomy geographical distribution utilization and conservation. In: Taxonomy. Distribution, conservation and user of: *Pistacia* genetic resources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 Jun 1995. Edited by S. padulosi, T.caruso and E.Barone. Palermo, Italy. 57-62.
73. **Knežević SV., Blazekwic B., Stefan MB., Babac M., 2012.** Plant polyphenols as antioxidants influencing the human health. In “Phytochemicals as nutraceuticals-global approaches to their role in nutrition and health. Edition Venketeshwer Rao: 155-180.
74. **Kordali S., Cakir A., Zengin H., Duru ME., 2003.** Antifungal activities of the leaves of three *Pistacia* species grown in Turkey. *Fitoterapia*, 74: 164-167.
75. **Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N., Boulaaba M., Smaoui A., Abdelly C., 2008.** Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biol*, 331: 865- 873.
76. **Lee KW., Kim YJ., Lee HJ., Lee CY., 2003.** Cocoa Has More Phenolic Phytochemicals And A Higher Antioxydant Capacity Than Theas And Red Wine. *Journal Of Agriculture And Food Chemistry*. (3): 7292-7295.
77. **Limane A., Smail-Saadoun N., Belkbir-Boukais A., and Kissoum-HamdinI K., 2014.** Root architactur adaptation of *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* according to an

- increasing climatic and edaphic gradient: case of a north-south transect in Algeria. Turk J Bot. 38:536-549.
- 78. Limane, A., 2018.** Réponses architecturales racinaires et stratégies d'absorption hydrominérale chez *Pistacia atlantica* en fonction d'un gradient d'aridité croissante : cas d'un transect Nord-Sud en Algérie. Mémoire de Doctorat en Sciences. Département de Biologie Animale et Végétale. FSBSA. UMMTO, Algérie. 275p.
- 79. Lugasi A., Hovari J., Sagik., Biro L., 2003.** The Role Of Antioxidant Phytonutrients In The Prevention Of Diseases. J. Acta. Biologica. Szegediensis. 47 (14):119-125.
- 80. Macheix JJ., Fleuriet A., Billot J., 1990.** Fruit phenolics. CRC Press, Boca Raton.
- 81. Macheix JJ., Fleuriet A., Jaye-Allemand C., 2005.** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'une importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 185 p.
- 82. Maisuthisakul P., Pasuk S., 2008.** Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. J. Food Composition Analysis.
- 83. Malesev D., Kuntic V., 2007.** Investigation Of Metal-Flavonoid Chelates And The Determination Of Flavonoids Via Metal-Flavonoid Complexing Reactions. Journal Of The Serbian Chemical Society., 72 (10) : 921-939.
- 84. Meikle RD., 1977.** Flora of Cyprus. Benthian –Maxon Trust, Royal Botanic Gardens, Kew, R-U-1. 364-371.
- 85. Merghem R., 2009.** Eléments de biochimie végétale. Edition Bahaeddine: 107-133.
- 86. Middleton E., Kandaswami C., Theoharides TC., 2000.** The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. Pharmacol Rev, 52 : 673-839.
- 87. Mompon B., Lemaire B., Mengal P., Surbled M., 1998.** Extraction des polyphénols : du laboratoire à la production industrielle. Ed. INRA, Paris (les Colloques, N° 87).
- 88. Monjauze A., 1968.** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie Bull. soc. Nat. Afrique du nord, 56 : 1-128.
- 89. Monjauze A., 1980.** Connaissance du bétoum (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) Biologie et forêt, (4) : 356-363.
- 90. Muanda F., Dicko A., Soulimani R., 2010.** Chemical composition and biological activities of *Ficus capensis* leaves extracts. Journal of Natural Products 3 : 147-160
- 91. Muelle-Harvey I Et., Mc Allan AB., 1992.** Tannins: Their Biochemistry And Nutritional Properties. Adv. Plant Cell Biochem. Biotechnol. Pl, 151-217

92. **Mukohata Y., Nakabayashi S., Higashida M., 1978.** Quercetin, an energy transfer inhibitor in photophosphorylation. *FEBS Lett*, 85: 215-218.
93. **Narayana KR., Reddy MS., Chaluvadi MR., Krishna DR., 2001.** Bioflavonoids Classification, Pharmacological, Biochemical Effects And Therapeutic Potential. *Indian Journal Of Pharmacology*. 33 : 2-16.
94. **Nègre R., 1962.** Petite flore des régions arides du Maroc occidental, tome II Ed. C, N, R, S. 55 p.
95. **Nitsch JP., Nitsch C., 1961.** Synergistes naturels des auxines et des giberellines. *Bull. Soc. Fr*, 26: 2237-2240.
96. **Oka T., Simpson FJ., Child JT., Millis C., 1972.** Degradation of rutin by *Aspergillus flavus*. Purification of the dioxygenase quercetinase. *Can.J. Microbid.* 17 :11-118.
97. **Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara deuxième édition C.N.R.S. 566 p.
98. **Ozenda P., 2004.** Flore et végétation du Sahara. 3ème édition, CNRS Editions, Paris.
99. **Park HJ., Cha HC., 2003.** Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean journal of biological society*. 7: 327-330.
100. **Pereira Nunes X., Souza Silva F., Alneida JRG., 2012.** Biological Oxidations and Antioxidant Activity of Natural Products. Chapter1. In “phytochemicals as Nutraceuticals Global Approaches to Their Role in Nutrition and Health”. 1ère éd. Venketeshwer Rao. 1-20.
101. **Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroise. ORSTOM. Paris, 569 p.
102. **Quettier-Deleu C., Gressier B., Vasseur J., Dine T., Brunet C., Luyckx M., Cazin M., Cazin JC., Bailleul F., Trotin F., 2000.** Phenolic compound and antioxydant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*. 72: 35-42
103. **Quézel P., Médail F., 2003.** Ecologie et biogéographie biologie des forêts de bassin méditerranéenne. Elsevier. Paris. 573 p.
104. **Quezel P., Santa S., 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II, Ed. CNRS, Paris.
105. **Rakipov N., 1987.** Biochimie des cultures tropicales, Ed : Mir, 151-165.
106. **Ribereau GP., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Dunod, Paris, 009
107. **Sakagami H., Hashimoto K., Suzuki F., Ogiwara T., Satoh K., Ito H., Hatano T., Takashi Y., Fujisawa S., 2005.** Molecular requirements of lignin-carbohydrate

- complexes for expression of unique biological activities. *Phytochemistry*. 66 : 2108-2120.
108. **Salhi F., 1997.** Journées d'étude sur les zones arides et Saharienne. Publication INRF.
 109. **Scalbert A., 1991.** Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, 30 : 3875-3883.
 110. **Seyoum A., Asres, K., El-Fiky F.K., 2006.** Structure-Radical Scavenging Activityrelationships Of Flavonoids. *Phytochemistry*, 67 : 2058-2070.
 111. **Sheibani A., 1996.** Distribution, use and conservation of pistachio in Iran. In: Workshop 'Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* geneticresources', Padulosi S., Caruso T., Barone E., Palermo. IPGRI, Rome, Italy. 51- 56.
 112. **Smail-Saadoun N., 2005.** Types stomatique du genre *Pistacia* : *Pistacia atlantica* Desf. ssp *atlantica* et *Pistacia lentiscus* L. Options méditerranéennes série A. 63 : 396-371.
 113. **Spichiger R., Vincent S., et Jean mono D., 2004.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Press polytechnique et Université Raumentes (Lausanne). 202-220.
 114. **Stobiecki MA., Skirycz L., Kerhoas P., Kachlicki D., Muth, Einhorn J., Mueller B., 2006.** Roeber, Profiling Of Phenolic Glycosidic Conjugates In Leaves Of Arabidopsis Thaliana Using Lc/MS, *Metabolomics*.197-219.
 115. **Su D., Zhang R., Hou F., Zhang M., Guo J., Huang F., Wei Z. (2014).** Comparison of the free and bound phenolic profiles and cellular antioxidant activities of litchi pulp extracts from different solvents. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 14(1).
 116. **Starliper C. E., Ketola H. G., Noyes A. D., Schill W. B., Henson F. G., Chalupnicki M. A., Dittman D. E. (2015).** An investigation of the bactericidal activity of selected essential oils to *Aeromonas* spp. *Journal of Advanced Research*. 6(1): 89-97.
 117. **Thorne R., Reveal J., 2007.** An updated classification of the class Magnolipsida « Angiospermae ». *Bot. Rev.* 73(2) : 67-182.
 118. **Topçu G., Ay M., Bilici A., Sarikurkcü C., Oztürk M., Ulubelen A., 2007.** A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. *Food Chem*, 103 : 816-822.
 119. **Tsimogiannins DI., Oreopoulou V., 2006.** The contribution of flavonoid C-ring on DPPH free radical scavenging efficiency. A kinetic approach for the 3', 4'-hydroxy substituted members. *Innovat Food Sci Emerg Tech*. 7: 140-146.

120. **Vermerris W., Nicholson R., 2006.** Phenolic Compound Biochemistry. Ed, Springer: U.S.A.
121. **Wichtl M., Anton R., 2009.** Plante thérapeutiques, 2eme édition Lavoisier, 692 p.
122. **Wojdylo A., Oszmianski J., Czemerys R., 2007.** Antioxidant Activity And Phenolic Compounds In 32 Selected Herbs. Food Chem. (105): 940-949.
123. **Woodward A., Coppock DL., 1995.** Role Of Plant Defense In The Utilization Of Native Browse In Southem Ethiopia. Agroresty Systems. 32(2) : 147-161.
124. **Zeghad N., 2008.** Etude Du Contenu Polyphénolique De Deux Plantes Médicinales D'intérêt Economique (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) Et Evaluation De Leur Activité Antibactérienne. Thèse de Magister : Biotechnologie Végétale. Université de Constantine, 130 p.
125. **Ziane N., 2014.** Contribution à l'étude de l'activité hypoglycémiant des extraits de *Pistacia atlantica* Desf de la réserve nationale d'El-Mergueb (M'sila). Thèse de Magister en Biologie et Physiologie Végétale. Université Ferhat Abbas Sétif 1. Algérie .P 79.
126. **Zohary M., 1952.** A monographic study of the genus *Pistacia*. Palestine. J. Bot. 5, 187-228.
127. **Zohary M., 1987.** Flora Palaestina. Platanaceaa to Umbelliferae. 2 : 296-300.

Résumé

Pistacia atlantica Desf. est une plante médicinale appartenant à la famille des Anacardiacees et à l'ordre des Sapindales. C'est une espèce ligneuse, spontanée et endémique de l'Afrique du nord. Elle se trouve dans les steppes des régions circumméditerranéennes méridionales. Elle est présente généralement dans les zones en bioclimat semi-aride, aride et voir même saharien. Cette essence se régénère et se développe dans les endroits les plus arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et se développer. Elle se caractérise par sa résistance aux conditions environnementales défavorables notamment la sécheresse, d'après les études récentes elle est dotée de molécules lui permettent de faire face à ces conditions extrêmes qui se localisent généralement beaucoup plus dans les feuilles. L'objectif de notre travail est l'étude des composés phénoliques des extraits des feuilles et des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. provenant des différentes stations (Ain Fezza, Boumadfâa, Theniet El Had, Sidi Boutouchent et Ain Ouessara) pour évaluer par le dosage spectrophotométrique UV des phénols totaux, flavonoïdes et tanins. Les résultats obtenus montrent la richesse de *Pistacia atlantica* en polyphénols, qui jouent un rôle très important dans l'interaction de la plante avec son environnement. Ce qui explique leurs usages et leurs vertus thérapeutiques.

Mots clés : *Pistacia atlantica* Desf., composés phénoliques, dosage spectrophotométrique, extraits.

Summary

Pistacia atlantica Desf. is a medicinal plant belonging to the Anacardiaceae family and the order Sapindales. It is a woody, spontaneous species endemic to North Africa. It is found in the steppes of the southern circummediterranean regions. It is generally present in areas with semi-arid, arid and even Saharan bioclimate. This species regenerates and thrives in the most arid places where few tree species can establish and thrive. It is characterized by its resistance to unfavorable environmental conditions including drought, according to recent studies it is endowed with molecules that allow it to cope with these extreme conditions which are generally localized much more in the leaves. The objective of our work is the study of the phenolic compounds of extracts from the leaves and fruits of *Pistacia atlantica* Desf. from the different stations (Ain Fezza, Boumadfâa, Theniet El Had, Sidi Boutouchent and Ain Ouessara) to evaluate by UV spectrophotometric determination of total phenols, flavonoids and tannins. The results obtained show the richness of *Pistacia atlantica* in polyphenols, which play a very important role in the plant's interaction with its environment. This explains their uses and their therapeutic virtues.

Key words: *Pistacia atlantica* Desf., Phenolic compounds, spectrophotometric assay, extracts.

11/11

[illegible]

المفتاحية: *Pistacia atlantica* Desf. الفينول المقايسة الطيفية