

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen

Département De Biologie



MÉMOIRE

Présenté par

MENDIL ikram

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Bioactives, Analyse et Contrôle des Huiles essentielles et végétales

Thème

Etude des composés bioactifs du Pistache Atlas
(*Pistacia Atlantica Desf.*) et leur impact Anti-oxydant et Anti-
inflammatoire.

Soutenu le 12/10/2025, devant le jury composé de :

Président BELYAGOUBI-

BENHAMOU

Professeur

Université de Tlemcen

Nabila

Encadreur TAIB Nadjat Maitre De Conférences

Université de Tlemcen.

Examineur CHAOUCH

Professeur

Université de Tlemcen.

Mohamed Tarik

Année universitaire 2024 -2025

Dédicace

Après un parcours semé d'épreuves et de joies, je suis aujourd'hui sur le point d'obtenir mon diplôme. Loué soit Dieu pour cette opportunité de commencer et d'atteindre mon but.

Je dédie ma réussite à celui dont le front a été couronné d'épreuves et à celui qui m'a appris que le succès ne vient que par la patience et la persévérance ; à la lumière qui a illuminé mon chemin et à la flamme éternelle qui continuera de briller dans mon cœur :

mon cher père.

À celle qui a placé le paradis sous ses pieds, à celle dont les prières m'ont allégé les épreuves, à cette personne formidable dont j'attendais ce jour avec impatience :

ma chère mère.

À mon soutien indéfectible et au pilier de ma vie, à ceux qui ont renforcé ma détermination et ont été comme les sources où je puise, à l'essence et à la beauté de mes journées, à l'éclat de mes yeux et à mes quatre étoiles :

mes chères sœurs.

Enfin, je dédie ma réussite aux soldats de l'ombre : mes amis, mes amitiés. Chaque réussite a ses héros, invisibles à l'œil nu, mais présents dans chaque détail. Merci, merci du fond du cœur.



Remerciement

Nous tenons d'abord à remercier Dieu Tout-Puissant

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante, **Madame TAIB Nadjat**,
Maître de conférences à l'Université de Tlemcen, pour sa supervision rigoureuse, sa
disponibilité, sa patience et ses précieux conseils qui ont grandement enrichi ce travail.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury :

Madame **BELYAGOUBI –BENHAMOU Nabila**, Présidente du jury, professeur au
Département de Biologie de Université AbouBakr Belkaïd-Tlemcen

Monsieur **CHAOUCH Mohammed Tarik**, Examineur, professeur au **Département
de Biologie de Université AbouBakr Belkaïd-Tlemcen**

Je leur suis reconnaissante d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire et de participer à la
soutenance. Je remercie également l'ensemble de l'équipe pédagogique **du Département
de Biologie de Université AbouBakr Belkaïd-Tlemcen**, ainsi que tous les professionnels
qui ont contribué de près ou de loin à ma formation durant ces années universitaires.



ملخص

تعتبر أوراق شجرة الفستق الأطلسي من المصادر الطبيعية الغنية بالمركبات الفينولية و الفلافونويدات . التي أظهرت في الدراسات السابقة فعالية كبيرة كمضاد للأكسدة و مضاد للالتهاب . هدف هذه الدراسة الى تحليل المستخلص المائيلأوراق الفستق الأطلسي . و تحديد المركبات الفينولية و الفلافونويدية فيه .بالإضافة الى تقييم نشاط البيولوجي من خلال اختبارات مضاد للأكسدة و مضاد للالتهاب .

تم تحضير مستخلص مائي من الأوراق، وتحليله باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) لتحديد المركبات النشطة بيولوجيا. كما تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبارات DPPH و FRAP و CAT ، في حين تم دراسة النشاط المضاد للالتهاب عبر اختبار تثبيط انهيار الألبومين مع مقارنة النتائج بالديكلوفيناك كمعيار مرجعي.

أظهرت النتائج أن مردود الاستخلاص المائي بلغ 38,7%، مما يعكس غنى الأوراق بالمركبات الفينولية، خاصة حمض الغاليك وحمض الكافنيك. أظهر المستخلص نشاطاً مضاداً للأكسدة مرتفعاً، حيث بلغت

لاختبار $IC_{50} DPPH = 0,043 \mu g/mL$ ، بينما سجل اختبار FRAP القيمة القسوى 1,048 عند تركيز 0,4 mg/mL، أي ما يعادل حوالي (713 μM AAE) من حمض الأسكوربيك المعادل، أما اختبار CAT، فقد أظهر امتصاصاً عند نفس التركيز مقداره 1,352، ما يعادل 1,132 mg/mL AAE اعتماداً على منحنى المعايرة باستخدام حمض الأسكوربيك .

فيما يخص النشاط المضاد للالتهاب، أظهر المستخلص المائي قدرة واضحة على تثبيط انهيار الألبومين، حيث ارتفع معدل التثبيط تدريجياً من 54,70% عند 62,5 $\mu g/mL$ إلى 87,27% عند 500 $\mu g/mL$ ، مما يشير إلى استجابة تعتمد على الجرعة. بالمقارنة، أظهر الديكلوفيناك انخفاضاً تدريجياً وملحوظاً في قيم الامتصاص مع زيادة التركيز، حيث بلغت قيمة $IC_{50} = 51,34 \mu g/mL \pm 0,45$ ، مما يعكس نشاطاً مضاداً للالتهاب قوياً وقابلية جيدة لتكرار القياسات..

شير هذه النتائج إلى أن أوراق الفستق الأطلسي تمثل مصدراً طبيعياً واعدًا للمركبات النشطة بيولوجياً، ذات الخصائص المضادة للأكسدة والالتهاب، مما يدعم إمكانية استغلالها في تطوير منتجات صيدلانية وغذائية طبيعية، ويعزز الفهم العلمي لأهميتها الطبية التقليدية.

الكلمات المفتاحية:

- Pistacia atlantica - أوراق الفستق الأطلسي - مستخلص مائي - مركبات فينولية - فلافونويدات - مضاد للأكسدة - مضاد للالتهاب - CAT - FRAP - DPPH -

Résumé :

Les feuilles du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) constituent une source naturelle riche en composés phénoliques et flavonoïdes, possédant une activité antioxydante et anti-inflammatoire. Cette étude visait à analyser l'extrait aqueux des feuilles afin de déterminer ses composés bioactifs et d'évaluer son efficacité antioxydante et anti-inflammatoire.

L'extrait aqueux a été préparé et analysé par chromatographie liquide à haute performance (HPLC). L'activité antioxydante a été évaluée par les tests **DPPH**, **FRAP** et **CAT**, et l'activité anti-inflammatoire par l'inhibition de la dénaturation de l'albumine, en utilisant le diclofénac comme référence.

Les résultats ont montré un rendement d'extraction de 38,7%, avec une richesse en composés phénoliques, notamment l'acide gallique et l'acide caféique. L'extrait a présenté une forte activité antioxydante, avec une **IC₅₀ DPPH = 0,043 µg/ml**, une valeur maximale **FRAP = 1,048 à 0,4 mg/ml (~713 µM AAE)**, et une absorption dans le test **CAT équivalente à 1,132 mg/ml AA**.

Concernant l'activité anti-inflammatoire, l'extrait a montré une inhibition progressive de la dénaturation de l'albumine avec l'augmentation de la concentration, allant de 54,70% à 62,5 µg/ml jusqu'à 87,27% à 500 µg/ml, démontrant une réponse dose-dépendante. Ces résultats indiquent le potentiel de l'extrait pour des applications pharmaceutiques et alimentaires.

Mots-clés:

Pistacia atlantica – feuilles de pistachier – extrait aqueux – composés phénoliques – flavonoïdes – antioxydant – anti-inflammatoire – DPPH – FRAP – CAT

Abstract :

Leaves of the Atlas pistachio (*Pistacia atlantica*) are a natural source rich in phenolic compounds and flavonoids, with significant antioxidant and anti-inflammatory activities. This study aimed to analyze the aqueous extract of the leaves to identify its bioactive compounds and evaluate its antioxidant and anti-inflammatory properties.

The aqueous extract was prepared and analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC). Antioxidant activity was assessed using DPPH, FRAP, and CAT assays, while anti-inflammatory activity was evaluated through inhibition of albumin denaturation, with diclofenac as a reference.

Results showed an extraction yield of 38.7%, with high levels of phenolic compounds, particularly gallic acid and caffeic acid. The extract exhibited strong antioxidant activity, with DPPH $IC_{50} = 0.043 \mu\text{g/ml}$, maximum FRAP = 1.048 at 0.4 mg/ml (~713 μM AAE), and CAT absorption equivalent to 1.132 mg/mL AAE.

Regarding anti-inflammatory activity, the extract demonstrated a progressive inhibition of albumin denaturation with increasing concentration, ranging from 54.70% at 62.5 $\mu\text{g/ml}$ to 87.27% at 500 $\mu\text{g/ml}$, indicating a clear dose-dependent response. These findings highlight the potential of the extract for pharmaceutical and nutraceutical applications.

Keywords:

Pistacia Atlantica – pistachio leaves – aqueous extract – phenolic compounds – flavonoids – antioxidant – anti-inflammatory – DPPH – FRAP – CAT

Table des matières :

<i>Dédicace</i>	2
<i>Remerciement</i>	3
Résumé :	Erreur ! Signet non défini.
Abstract:	Erreur ! Signet non défini.
Table des matières :	7
Liste des figures :	10
Liste des tableaux :	11
Liste des abréviations :	11
Introduction général	Erreur ! Signet non défini.
Partie bibliographique	Erreur ! Signet non défini.
I. Chapitre I :	4
1. Etymologie Et Histoire De La Plante (Pistaché Atlas) :	5
2. La systématique de pestache Atlas :	5
3. Discription botanique :	6
4. Répartition Géographique de (pistache de l'atlas) :	8
5. Composition chimique :	10
1.1. Acide Gras :	10
1.2. Les composés phénoliques :	11
1.2.1. Acide phénolique :	12
1.2.2. Acides hydroxy-benzoïques :	12
1.2.3. Flavonoïde :	14
1.2.4. Les Tanins :	14
1.3. Les Alcaloïdes :	16
1.4. Saponines :	17
1.5. Les Composition Terpénique :	18
6. Les intérêts et l'utilisations :	19
6.1. L'intérêts de Bétoum :	19
6.2. Utilisations de Pistacia atlantica :	21
7. Propriétés physico-chimiques et biologique de pistachier de l'atlas :	22
7.1. Propriétés biologiques :	22

7.2.	Activité anti-inflammatoire :	22
7.3.	Activité antibacterials :	22
7.4.	Propriété anticancéreuse :	22
7.5.	Propriété antioxydant :	23
7.6.	Propriétés antiallergiques :	23
II.	Chapitre II :	24
	Méthodes d'évaluation des activités antioxydantes et anti-inflammatoires :	25
1.	Antioxydant :	25
1.1.	Oxydation des radicaux libres :	25
1.2.	Le teste DPPH :	26
1.3.	Le test FRAP :	28
1.4.	Le Teste CAT :	29
2.	Antiinflammatoire :	30
2.1.	Activités antiinflammatoires :	30
2.2.	Inflammation :	30
2.3.	Type inflammatoire :	31
2.3.1.	Les anti-inflammatoires non stéroïdiens :	32
2.3.2.	Les anti-inflammatoires stéroïdiens ou corticoïdes :	32
2.4.	Méthodes utilisées dans l'étude de l'activité anti-inflammatoire :	32
III.	Chapitre III :	34
1.	Matériel végétal :	35
2.	Préparation des extraits secs :	35
2.1.	Extraction aqueuse :	35
2.2.	Extraction éthanolique :	Erreur ! Signet non défini.
2.3.	Macération et filtration :	36
2.4.	Le processus de séchage :	37
3.	Préparation des solutions pour HPLC :	38
3.1.	Conditions opératoires de la HPLC :	38
4.	Protocoles d'analyse de l'activités anti-oxydant (DPPH.FRAP.CAT) :	39
4.1.	Préparation de la solution DPPH :	39
4.2.	Pouvoir réducteur FRAP :	40
4.3.	Capacité antioxydante totale (CAT) :	41
5.	Protocole d'analyse de l'activité anti-inflammatoire :	41
IV.	ChapitreIV :	Erreur ! Signet non défini.
1.	Résultats :	43

1.1.	Calcule Rendement d'extrait :	43
1.2.	Analyse qualitative des composée phénolique par HPLC :	44
1.3.	Acide gallique/acide caféique :	44
1.4.	Mesure de pouvoir teste DPPH :	Erreur ! Signet non défini.
1.5.	Pouvoir réducteur FRAP :	Erreur ! Signet non défini.
1.6.	Capacité antioxydant CAT :	Erreur ! Signet non défini.
1.7.	Effet inhibiteur des extraits sur la dénaturation de l'albumine (résultats et interprétation) :	50
2.	Discussion :	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale		Erreur ! Signet non défini.
RÉFÉRENCÉE BIBLIOGRAPHIE		56

Liste des figures :

Figure I-1 : classification botanique du pistachier de l'Atlas.....	6
Figure I-2 : Arbre de Pistacia atlantica de la région maghnia(2025).....	6
Figure I-3 : Feuilles de pistachier de l'Atlas de la région de maghnia (origine 2025).	7
Figure I-4 : : fruit du pistachier de l'Atlas avant maturation (original 2025).	8
Figure I-5 : la variation de la couleur du fruit du pistachier de l'Atlas lors de la maturation (Original 2025).	8
Figure I-6 : carte de distribution du pistachier de l'Atlas dans le monde (Zohary, 1952).....	9
Figure I-7 : distribution du pistachier de l'Atlas en Algérie (Monjauze, 1980).....	10
Figure I-8 : Les polyphénols les plus répandus dans la nature (Ribéreau, 1968).....	12
Figure I-9 : structures chimiques des acides hydroxybenzoïques (Fleuriet et al., 2006).....	12
Figure I-10 : structures chimiques des acides hydroxycinnamiques (Amaechina et al., 2007).	13
Figure I-11 : structure de base des Flavonoïdes.	14
Figure I-12 : structure d'un tanin hydrolysable (Peronny, 2005).....	15
Figure I-13 : structure d'un tanin condensé (Peronny, 2005).	16
Figure I-14 : exemple d'un alcaloïde vrai : L'usambarensine est un dérivé de la L-tyrosine.	17
Figure I-15 : exemples des saponines (A : Spirostane, B : Furostane, C : Squelette b –amyrine).	18
Figure I-16 : sctstructure de la molécule d'isoprène (Calsamiglia et al., 2007).....	19
Figure II-1 : : structure chimique du radical libre DPPH(2,2 DiPhenyle-1-Picryl-Hydrazyle). (Popovici et al., 2009).	27
Figure II-2 : Mécanisme de réduction du radical libre DPPH par un antioxydant	27
Figure III-1 : récolte, séchage et broyage des feuille.....	35
Figure III-2 : préparation des extraits (aqueux et éthanolique).....	36
Figure III-3 : filtration dès l'extraits.	37
Figure III-4 : les extraits après le séchage.....	37
Figure III-5 : extrait sec aqueux.	37
Figure III-7 : solution préparée de l'extrait aqueux sec Pistacia atlantica destinée à l'analyse HPLC.	39
Figure IV-1 : Chromatogramme HPLCmontrant la présence de l'acide gallique et de l'acide caféique dans l'extrait.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV-2 : courbe d'étalonnage d'acide ascorbique pour teste FRAP.....	Erreur ! Signet non défini.
figure IV-3: courbe d'étalonnage d'acide ascorbique pour teste De Piégeage Des Radicaux DPPH.....	57

Liste des tableaux :

Tableau 1: comparition desacide gras (en mg par 100 g de la matière sèche)des graines du pistachier de l'atlas .(sourse ghalem etbendhassani,2007).....	11
Tableau 2: activité antioxydant de l'extrait des feuille de pistachier de l'atlas évaluation par teste dpph.	45
Tableau 3: évaluation du potentiel antioxydant de l'extrait de feuille de pistacia atlantica par le teste frap.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4: activité antioxydant frap de l'acide ascorbique (aa).	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5: effet de l'extrait de <i>pistacia atlantica</i> sur la dénaturation de l'albumine (activité anti inflammatoire)	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6:activité anti inflammatoire du declofinac.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste Des Abréviations

COOH : Groupe Carboxyle.

H₂O : Eau.

Ic₅₀ : Concentration Inhibitrice 50.

ml : Millilitre.

pH : Potentiel Hydrogéné.

V : Volume.

Fe : Fer.

°C : Degré Celsius (Température).

T : Température.

% : Pourcentage.

mg/ml : Milligramme Par Millilitre.

DPPH : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyle.

A_{Contrôle} : Absorbance Du Contrôle.

A_{Echantillon} : Absorbance De L'échantillon.

FRAP : Ferric Réducteur Antioxydant Power (Pouvoir Antioxydant Réducteur Du Fer).

Cat : Catalase (Enzyme Antioxydant).



Introduction générale



INTRODUCTION

A cette époque la médecine traditionnelle au monde a prouvé des bienfaits indéniables sur la santé humaine. En Algérie notamment en milieu rural, a su préserver cet héritage médicale traditionnel, en s'appuyant largement sur les ressources végétales pour répondre à ses besoins essentiels en matière de soins de santé. La société algérienne possède un savoir traditionnel riche concernant la cueillette et l'utilisation des plantes à des fins nutritionnelles et médicinales, transmis de génération en générations par les anciens (**El Hatianet et al., 2014 ; Hamel et al., 2018 ; Boucherit, 2018 ; Meddour et al.,2022**). Les produits naturels représentent une source importante de développement pharmaceutique, de nombreux chercheurs ont mis en évidence la valeur médicinales des plantes et leur potentiel en tant que sources naturelles de nouvelles molécules thérapeutiques (**Kinghorn, 1992**). Cependant, les produits ont base de plantes eu été progressivement marginalises par l'industrie pharmaceutique moderne (**McChesney et al., 2007**).

Le pistachier de l'Atlas ou bétoum (*PistaciaatlanticaDesf. subsp. atlantica*) est une espèce végétale, cette espèce appartient aux angiospermes, dicotylédones, et relevé de la famille des Anacardiaceae, parfois appelée Terebinthacees ou Pistaciacees. En médecine traditionnelle algérienne, *le pistachier de l'Atlas* est reconnu pour sa richesse en composés phénoliques actifs tels que les tanins et les flavonoïdes, particulièrement présents dans ses fruits et ses feuilles. Il est également utilisé en médecine moderne pour le traitement des infections gastro-intestinales et respiratoires (**Giner-Larzaet al., 2001**). Grace a ses propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, antipyrétiques, antibactériennes et antivirales, cette plante constitue une source prometteuse pour la synthèse de nouveaux médicaments. Des recherches récentes ont également mis en évidence son potentiel en tant qu'agent anticancéreux (**Hashemiet al., 2017**) et antifongique thérapeutique (**Oliveira et al.,2024**).

D'autres travaux ont révélé la présence de divers composés phénoliques et de leurs dérivés dans les feuilles de *P. Atlantica*, tels que la myricine, le kæmpferia, la quercétine, la naringénine, la catéchine, l'acide caféique, l'apigénine, l'acide benzoïque, la rutine, l'épicatéchine ainsi que l'acide gallique et ses dérivés (**Amri et al., 2018 ; Benamar et al., 2018 ; Nachvaket al., 2018 ; Achiliet al., 2020**).

A la lumière de ces constats, la présente étude vise à mettre en évidence l'effet antioxydant et antiinflammatoire du pistachier de l'Atlas.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre concerne des données bibliographiques de la plante étudiée (*Pistacia Atlantica*).
- ❖ Le deuxième chapitre concerne les méthodes d'activités antioxydante et antiinflammatoire.
- ❖ Le troisième chapitre présentation du matériel et des méthodes

Le quatrième chapitre aborde les résultats et discussion

Partie bibliographique



Chapitre I :
PRESENTATION DE LA PLANTE
ETUDIER

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA PLANTE ETUDIÉ (*Pistachier de l'Atlas*)

1. Étymologie Et Histoire De Pistachier d'Atlas :

Le pistachier de l'Atlas est désigné en français et en anglais sous le nom d'« **Atlas Pistachio** » (Benamar, 2016). L'origine du mot « pistache » remonte au persan *posta*, transmis au grec ancien sous la forme *pistake*, puis au latin par les Romains (Bouderbala, 2012).

En Algérie, cette espèce est connue sous plusieurs noms vernaculaires. En arabe, elle est appelée « **El Botma** », tandis qu'en tamazight, les appellations « **Iggh** » et « **Tissemlal** » sont couramment utilisées (Bneder, 2015).

Le **pistachier de l'Atlas**, aussi connu sous le nom de « **bétoum** », est l'espèce sauvage la plus répandue dans la région. Comme son nom l'indique, il est caractéristique des montagnes de l'Atlas algérien. Il est également étroitement lié à la production de **colophane**, une résine naturelle (Burte, 1992).

Le terme « **bétoum** » est un nom collectif en arabe ; ses formes singulières incluent **botma**, **betouma**, ou **btouma**, et on retrouve également les variantes régionales **boutmaïa** et **boutmela** en Afrique du Nord (Monjauze, 1980).

Les noms vernaculaires de *Pistacia atlantica* sont les suivants :

Anglais : Atlas pistachio

Français : Pistachier de l'atlas

Arabe : Betoum, Betm, Elbetoum, Botma, Betouma, Butom

Berbère: Iggh.

2. La systématique de pistache Atlas :

Selon Dobignard et Chatelain (2013), la classification botanique du pistachier de l'Atlas. Est la suivante :

Règne : Plantae

Embranchement : Tracheobionta

Super-division :Spermatophyta

Division :Magnoliophyta

Classe :Magnoliopsida

Ordre :Sapindales

Famille :Anacardiaceae

Genre :Pistacia

Espèce :Pistacia atlantica Desf



FIGURE 1 : CLASSIFICATION BOTANIQUE DU PISTACHIER DE L'ATLAS.

1. Description botanique :

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) est un arbre puissant, au tronc bien individualisé et aux feuilles caduques. Cet arbre peut vivre n'importe où depuis les marges du Sahara jusqu'aux montagnes avec un niveau moyen de sous-humidité grâce à son écologie hautement plastique. (Bouabdelliet *al.*, 2015). Le pistachier de l'Atlas est un arbre de 10 à 15 m de hauteur (Monjauze, 1968), sa hauteur peut atteindre 20 m. (Yaaqobiet *al.*, 2009). On leur donne d'autres noms : elbetoum, botma, betouma ou btouma ou encore boutmaïa en Arabe, local et Iggh en berbère, (Evreinoff, 1955). Les quatre sous-espèces contiennent une même formule chromosomique de $2n=28$ (Ghaffariet *al.*, 2003).

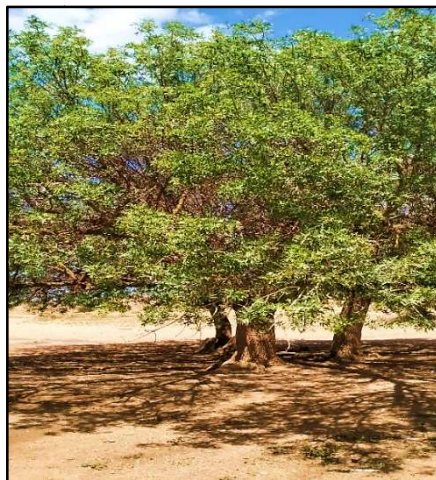


FIGURE 2 : ARBRE DE PISTACIA ATLANTICA DE LA REGION MAGHNA(2025).

- Les feuilles sont caduques et chutent en automne, elles sont de couleur vert pâle et sont imparipennées, glabres et sessiles (Yaqoobiet *al.*, 2009). Elles sont un peu coriaces avec 7 à 11 folioles de (2,5-6) x (0,5-1,5) cm (Monjauze, 1980). Ces dernières sont variables dans la forme, la taille et la couleur (Figure 3) (Tzakouet *al.*, 2007). Le rachis et le pétiole sont étroitement ailés. La marge de chaque foliole présente une ligne de poils presque microscopiques courbées vers l'apex et parallèles entre eux (Monjauze, 1980).

Les feuilles du pistachier mâles sont petites d'un vert plus brillant, et les feuilles du pistachier femelle sont couvertes de poils courts (Kourad, 1987).



FIGURE 3 : FEUILLES DE PISTACHIER DE L'ATLAS DE LA REGION DE MAGHNIA (ORIGINE 2025).

- Les fruits gros comme un pois sont appelés ELkhodiri par les populations locales en raison de la prédominance de la couleur vert foncé à la maturité, ce sont des drupes (ne dépassant pas le centimètre) légèrement ovales quelque fois allongés à épiderme qui se ride en séchant sur un endocarpe induré mais très mince abritant deux cotylédons, riches en huile dense très énergétique (MONJAUSE, 1980 et BELHADJ *et al.*, 2008).



FIGURE 4 : : FRUIT DU PISTACHIER DE L'ATLAS AVANT MATURATION (ORIGINAL 2025).



FIGURE 5 : LA VARIATION DE LA COULEUR DU FRUIT DU PISTACHIER DE L'ATLAS LORS DE LA MATURATION (ORIGINAL 2025).

2. Répartition Géographique de (pistache de l'atlas) :

❖ Dans le Mande :

Pistacia atlantica est largement distribué au sud de la Méditerranée et dans Moyen

Orient, depuis les Canaries (Gomera, Teneriffe) jusqu'au Pamir (Figure 6), en passant par :

□ l'Afrique du Nord, le Sahara septentrional et Tripolitaine, avec relique au Hoggar ;

□ Chypre, Chio, Rhodès, la Grèce, la Turquie, la Bulgarie, la Crimée, le Caucase, la

Transcaucasie et l'Arménie, la Palestine, la Syrie, la Transjordanie, l'Iraq et l'Iran,

L'Arabie, le Baloutchistan et l'Afghanistan.

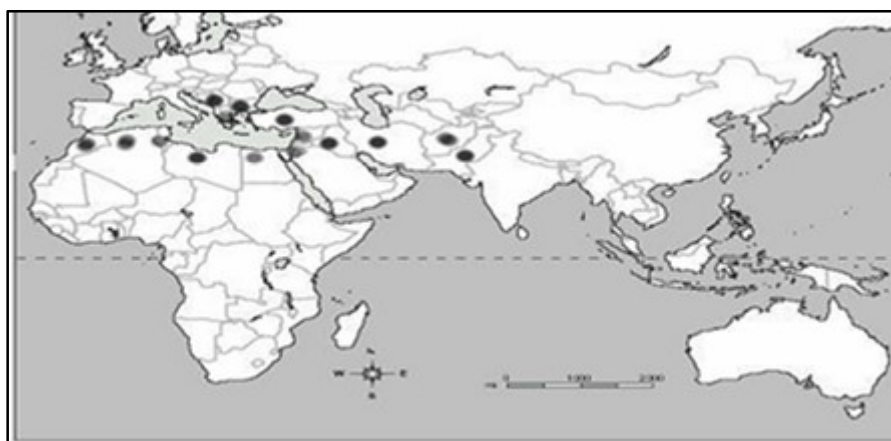


FIGURE 6 : CARTE DE DISTRIBUTION DU PISTACHIER DE L'ATLAS DANS LE MONDE (ZOHARY, 1952).

❖ En Algérie :

Sous le méridien d'Alger, le bétoumson fait rare dans les chaînes littorales et sub-littorales, il est cependant signalé dans l'Atlas Mitidjien au sud est de l'Arba, dans les Béni-Zermane, vers 800m d'altitude, Immédiatement au dessus de l'Arba, à 950m d'altitude (Monjauze, 1968).

Benhassainiet al, (2007) ont signalé la présence de Bétoum dans Sidi Bel-Abbés, Tlemencen, et Mascara.

A Alger même il y a un exemple de reproduction du Bétoum sur les collines de Bois- de Boulogne, à 200m d'altitude (Monjauze, 1968). Dans les Hauts Plateaux et Hauts plaines, le bétoum s'y rencontre un peu partout, généralement très dispersé, souvent rare, occupant à l'état de pied isolés ou de groupes d'arbres, les thalwegs et les cuvettes. Il s'y trouve alors soit dans le jujubier, soit dans les armoises qui ont succédé à ces touffes ou à des cultures nomades, soit sans accompagnement de végétation pérenne au sein de ses laboures (Monjauze, 1968).

Selon Monjauze (1980), il existe à l'état disséminé dans la région de Djelfa (Senalba, Ain Oussera, Messaad) et Ghardaia dans l'Ouest du Mزاب).

Au sud de l'Atlas saharien, le bétoum est très généralement distribué dans Ain Safra à Laghouat, Mab, (Manjauze, 1968) et Hoggar (Chenoune, 2005) ; etc.

Du côté de Béchar, **Kadi-Bennane ((2004)**, signale la présence de pistachier de l'Atlas à l'état relique, localisé dans le lit de l'oued Djebbarra à 60km au sud de Béni-Ounif et en peuplement plus importants dans la région d'Oum Chergui.

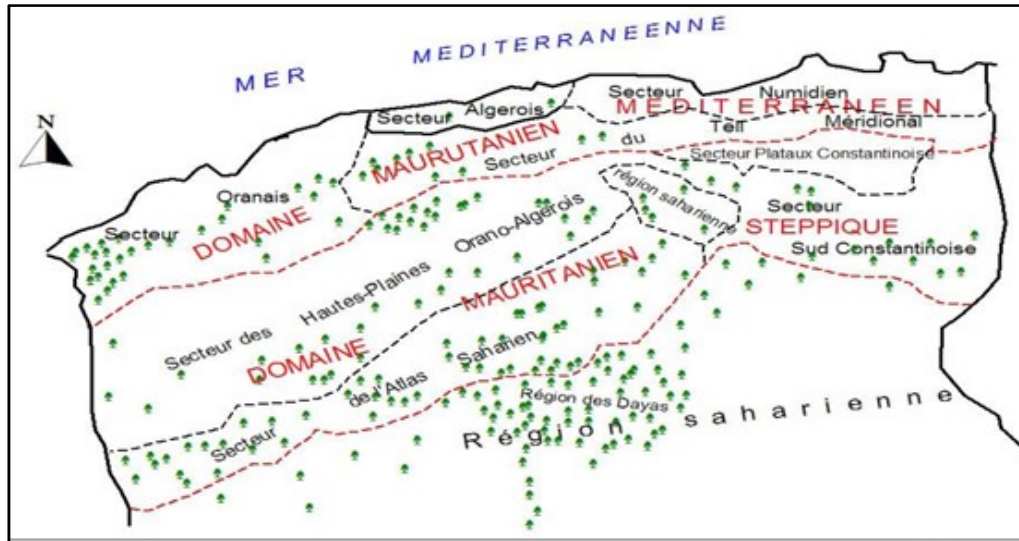


FIGURE 7 : DISTRIBUTION DU PISTACHIER DE L'ATLAS EN ALGERIE (MONJAUZE, 1980).

3. Composition chimique :

Les études sur les feuilles de pistachier d'atlas (*Pistacia Atlantica*) révèlent un riche métabolite secondaire comme :

- Les acides gras.
- Les composés phénoliques.
- Les alcaloïdes.
- Les saponines
- Les composés terpéniques.

1.3 Acide Gras :

On connaît une quarantaine d'acides gras naturels, dont les plus importants sont l'acide butyrique (ou **butanoïque**), que l'on trouve dans le beurre, l'**acide palmitique** (huile de palme), l'**acide stéarique** (suif), l'**acide linoléique (huile d'arachide)** du quel est dérivé l'acide arachidonique, et l'acide linoléique (huile de bourrache). **Les acides linoléique et linoléique** sont des acides gras dits essentiels : les animaux sont incapables de les synthétiser et doivent donc obligatoirement les trouver dans leur alimentation. Les deux acides constituent ensemble ce qu'on appelait autrefois la vitamine F (**Dymock P., 2000**).

Tableau 1 : Composition des acides gras (en mg par 100g de matière sèche) des graines du pistachier de l'atlas. (Source : GHALEM et BENHASSAINI, 2007):

TABLEAU 1: COMPARITIONDESACIDE GRAS (EN MG PAR 100 G DE LA MATIERESECHE)DES GRAINES DU PISTACHIER DE L'ATLAS .(SOURCE GHALEM ETBENDHASSANI,2007)

Acide gras	Mg/100 g MS	%
Acide laurique (12 :0)	40	0.07
Acide myristique (14 :0)	50	0.09
Acide palmitique (16 :0)	6900	12.21
Acide palmitoléique (16 :1)	1000	1.77
Acide stéarique (18 :0)	1350	2.39
Acide oléique (18 :1)	30600	54.15
Acide linoléique (18 :2)	16300	28.84
Acide linoléique (18 :3)	240	0.42
Acide arachidonique (20 :0)	30	0.05
Total des acide gras	56510	100
Acide gras saturés	8370	14.81
Acide gras mono insaturés	31600	55.92
Acide gras poly insaturés	16540	29.27

: COMPO

3.2. Les composés phénoliques :

Les composés phénoliques peuvent être subdivisés en plusieurs classes. Les principaux critères de distinction sont le nombre d'atomes de carbone constitutifs et la structure de base du squelette carboné. Les composés phénoliques comprennent des formes solubles simples, des formes polymères plus ou moins solubles dans la vacuole (tannins) et des formes insolubles directement liées à la paroi cellulaire (lignine, formes liées à la subérine, à la cutine et aux macromolécules glucidiques) (Dixon et Paiva, 1995 ; Dixon *et al.*, 1995).

Parmi les polyphénols les plus abondants dans la nature :

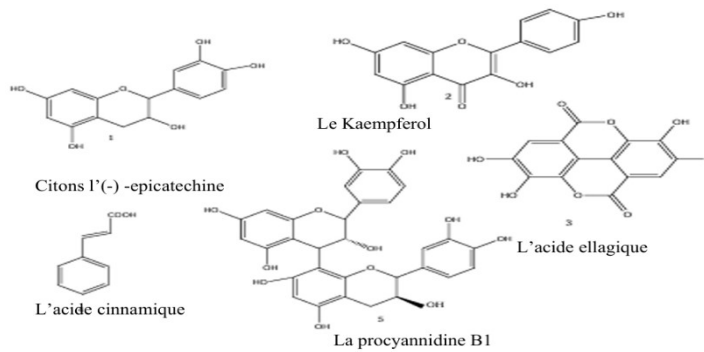


FIGURE 8 : LES POLYPHENOLS LES PLUS REPANDUS DANS LA NATURE (RIBEREAU, 1968).

1.1.1. Acide phénolique :

Les acides phénoliques se divisent en deux catégories : les acides hydroxybenzoïques (HBA) et les acides hydroxycinnamiques (HCA). Ces derniers dérivent de deux molécules non phénoliques : l'acide benzoïque et l'acide cinnamique (Macheixet al., 1990).

1.1.2. Acides hydroxy-benzoïques :

Ils existent généralement sous forme d'esters ou de glucosides (Bruneton, 1999 ; Macheixet al., 2005). Ils sont dérivés de l'acide benzoïque et ont une formule moléculaire de base C6-C1. Leur diversité structurale résulte de l'hydroxylation et/ou de la méthylation du cycle aromatique à différentes positions (2, 3 et 4). Figure9.

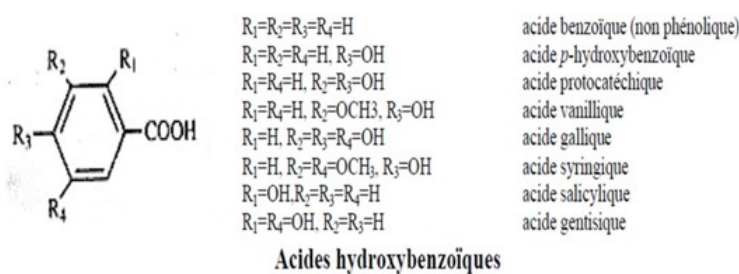


FIGURE 9 : STRUCTURES CHIMIQUES DES ACIDES HYDROXYBENZOÏQUES (FLEURIET ET AL., 2006).

• Les acides hydroxycinnamiques :

Sont une classe très importante de composés dont la structure de base (C6-C3) est dérivée de l'acide cinnamique par substitutions sur le cycle aromatique (Guignard, 1974 ; Psotovaet al., 2003 ; Richeter, 1993). Figure10.

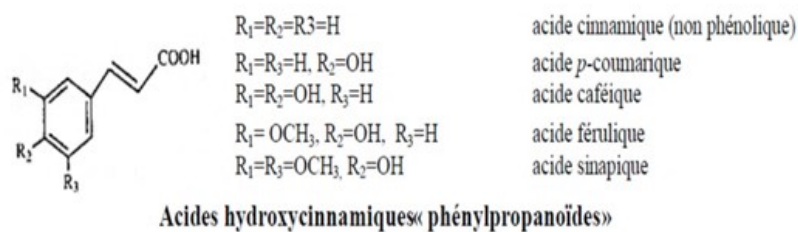


FIGURE 10 : STRUCTURES CHIMIQUES DES ACIDES HYDROXYCINNAMIQUES (AMAECHINA ET AL., 2007).

1.1.3. Flavonoïde :

Il s'agit du composé phénolique le plus représentatif. Ces molécules présentent des structures chimiques diverses et des propriétés uniques. On les trouve couramment dans les fruits, les légumes, les graines, les boissons et d'autres parties de plantes (**Tsimogiannins et Oreopoulou, 2006**). Ils sont considérés comme des pigments végétaux quasi universels pouvant participer au processus de photosynthèse (**Mukohataet al., 1978**), à la régulation des gènes et au métabolisme de la croissance (**Havsteen, 2002**). Actuellement, on recense environ 4 000 flavonoïdes connus (**EdenharderetGrünhage, 2003**), tous possédant le même squelette de base, c'est-à-dire 15 atomes de carbone disposés en C6-C3-C6, appartenant au type phényl-2-benzopyrane, synonyme de structure 2-phénylchromane (**Yao et al., 2004**).

La composition chimique des flavonoïdes est déterminée par leur classe structurale, le niveau d'hydroxylation et de méthylation, le degré de polymérisation, les substitutions et les conjugaisons au sein du cycle C, c'est-à-dire la présence : de liaison double C2-C3, du groupe 3-O. et la fonction 4-oxo (**Yao et al., 2004 ; TsimogianninsetOreopoulou, 2006**). D'après leur structure de base, les flavonoïdes peuvent être classés en différentes catégories : anthocyanidines ; flavonoles ; isoflavonoles ; flavones ; isoflavones ; flavanes ; isoflavanes ; flavanols ; isoflavanols ; flavanones ; isoflavanones et aurones (**Havsteen, 2002 ; Edenharder et Grünhage, 2003**).

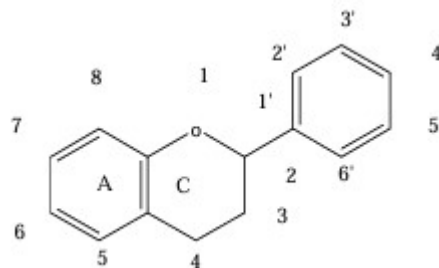


FIGURE 11 : STRUCTURE DE BASE DES FLAVONOÏDES.

1.1.4. Les Tanins :

Les polyphénols, que l'on appelle tanins, sont présents dans une grande variété de végétaux, y compris les écorces d'arbres et certains fruits (comme le raisin, la datte, le café et le cacao,

entre autres). Leur structure complexe est constituée d'unités monomériques répétitives, qui diffèrent par leurs centres asymétriques et leur niveau d'oxydation(**Gauthuret, 1968**).

Les tanins sont des composés qui peuvent créer plusieurs associations stables avec les protéines et d'autres polymères végétaux, comme les polysaccharides du point de vue chimique. Selon **Gauthuret (1968)**, les tanins sont des molécules phénoliques de grande taille.

On identifie deux catégories de tanins : les tanins hydrolysables et les tanins condensés.

- **Tanins hydrolysables :**

Les tanins hydrolysables sont des phénols associés à un résidu sucré via une liaison ester (d'où leur caractère hydrolysable). Si l'on parle du phénol, il s'agit de l'acide gallique ; et si nous évoquons le cas de l'acide hexa-hydroxy-diphénique, alors nous faisons référence aux ellagitannins (Figure 13) (**Haslam, 1998**).

On se confronte à Avant la maturité, ces tanins sont présents dans diverses matrices végétales telles que les racines, les tiges, les feuilles ou les fruits. Ces tanins, grâce à leurs multiples groupements OH, se dissolvent partiellement ou totalement (selon leur poids moléculaire) dans l'eau (**Haslam, 1998**).

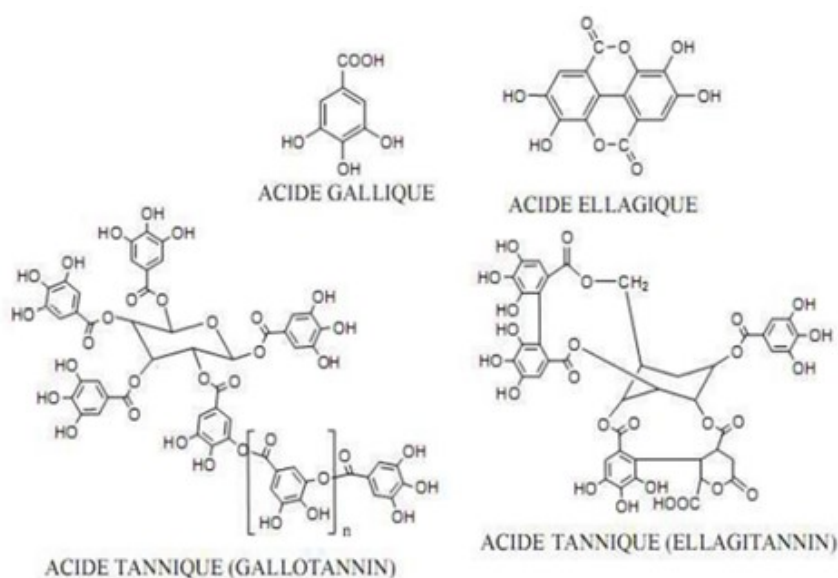


FIGURE 12 : STRUCTURE D'UN TANIN HYDROLYSABLE (PERONNY, 2005).

- **Tanins condensés :**

Dans les ouvrages, on peut également désigner les tanins condensés par les termes proanthocyanidines ou tanins catéchiques. Ces substances, correspondant aux polymères de flavan-3-ols, peuvent être classées en diverses catégories : les monomères, les dimères, Les polymères et les oligomères. Ils se distinguent des tanins hydrolysables par une structure qui est proche de celle des flavonoïdes. En l'absence de composés osidiques et non hydrolysables, dans un environnement fortement acide et à température élevée, ils se polymérisent pour former des précipités insolubles de couleur rouge brun, communément appelés phlobaphènes (Roux et Evelyn, 1958).

Les tanins condensés proviennent de monomères ayant une structure 2-phénylchromane, communément appelée unité flavane. Celle-ci correspond à une structure de quinze carbones disposés en C6-C3-C6 (Figure 13) (Roux et Evelyn, 1958).

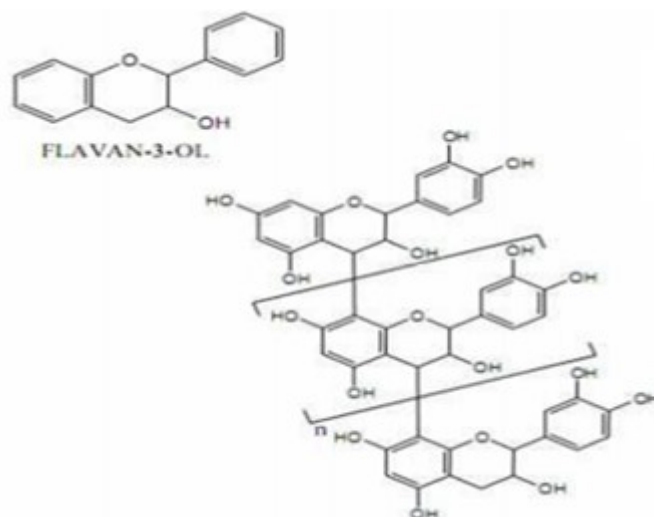


FIGURE 13 : STRUCTURE D'UN TANIN CONDENSE (PERONNY, 2005).

1.2. Les Alcaloïdes :

Un alcaloïde est une substance organique cyclique renfermant un atome d'azote à un degré d'oxydation négatif, qui se trouve de manière restreinte chez certains êtres vivants. Cette définition est parmi les plus précises. Elle n'intègre pas l'aspect fondamental.

Cela implique une approche systématique et prend en compte la présence d'un alcaloïde dans une ou plusieurs espèces vivantes, même s'il existe également des alcaloïdes acycliques (Pelletier, 1983).

Selon l'ouvrage de Hesse (2002), les alcaloïdes sont décrits comme des composés organiques naturels qui contiennent un ou plusieurs atomes d'azote, présentant un caractère basique plus ou moins prononcé (Figure 14).

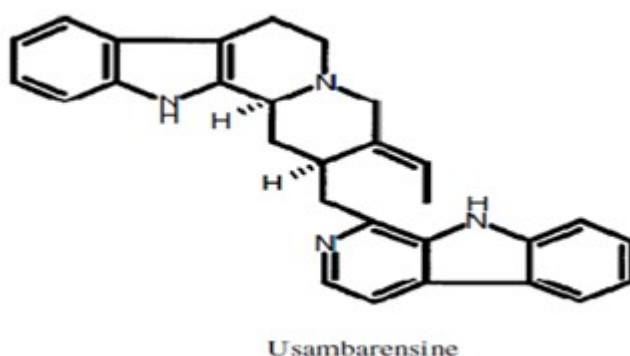


FIGURE 14 : EXEMPLE D'UN ALCALOÏDE VRAI : L'USAMBARENSINE EST UN DERIVE DE LA L-TYROSINE.

1.3. Saponines :

Les saponines sont des complexes hétérosides qui font partie des terpènes cycliques ou des stéroïdes. On les retrouve sous forme d'hétérosides (saponosides) dans de nombreuses plantes telles que la salsepareille, la saponaire, le quinoa, entre autres. On a recherché les saponines en tant que. Produits de nettoyage (Sparg, S.G. *et al.* 2004).

À l'instar de la Saponaire (*Saponariaofficinalis* L.), qui a connu une utilisation extensive pendant des siècles. L'industrie pharmaceutique a également manifesté un intérêt pour les saponines, car elles constituent le point de départ de l'hémi-synthèse des médicaments stéroïdiens.

Ces dernières possèdent diverses propriétés pharmacologiques et sont utilisées dans le domaine de la phytothérapie ainsi que dans l'industrie des cosmétiques.

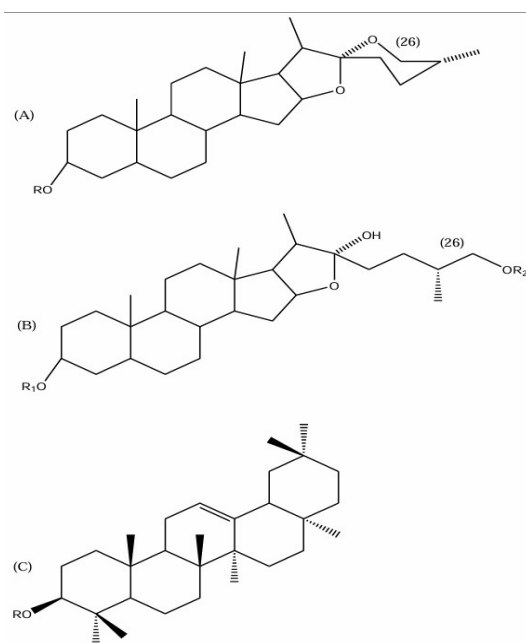


FIGURE 15 : EXEMPLES DES SAPONINES (A : SPIROSTANE, B : FUROSTANE, C : SQUELETTE B-AMYRINE).

1.4. Les Composition Terpénique :

Les terpènes représentent la catégorie la plus significative et variée de composés secondaires des plantes. On a décrit plus de 15 000 terpénoïdes et des milliers d'autres attendant incontestablement d'être découverts (Gershenzon et Croteau, 1991).

Les terpènes sont des composés organiques naturellement présents dans de nombreuses plantes. Habituellement composés d'unités de cinq carbones, structurées en C5, C10, C15, C20, C25, C30 et C40, ces structures sont généralement non liées, bien qu'elles puissent être modifiées ou converties en esters et glycosides, ou attachées aux protéines. On retrouve les terpènes dans une majorité de plantes et de champignons, bien qu'ils soient rarement présents en quantité significative chez les bactéries (Figure 16). (Bell et Charlwood, 1980 ; Poulter et Rilling, 1981).

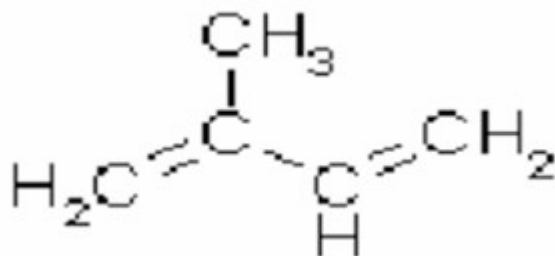


FIGURE 16 : SCTRUCTURE DE LA MOLECULE D'ISOPRENE (CALSAMIGLIA ET AL., 2007).

1 Les intérêtset l'utilisations :

6.1. L'intérêts de Bétoum :

Parmi les divers avantages que présente l'espèce *Pistaciaatlantica*, on peut identifier :

1- D'après (Cheba *et al*, 1991), le bétoum est perçu comme une nourriture pour la population.

Localement, qui mange les graines, les fruits produisent une huile que l'on peut manger. D'après Belhadj (1999), les fruits de *Pistaciaatlantica* contiennent une huile énergétique que les habitants des régions steppiques mélangent à des dates, et qu'ils consomment tout au long de la journée.

2- Selon Belhadj (1999), cette espèce est également utilisée par les communautés locales dans des pratiques de médecine.

On utilise leurs fruits pour combattre les affections rénales, ils sont recommandés en cas d'infection bactérienne de l'estomac et pour soulager les douleurs abdominales (Bechina, 1989) ;

A Brezina (EL-Bayadh) les fruits de *Pistaciaatlantica* sont écrasés et utilisés contre le rhumatisme des articulations et de brulures ;

Es'sorra (champignon du tronc de *Pistaciaatlantica*) qui est un produit intéressant estutilisé a Ghardaïa comme médicament contre les infections de l'estomac et desintestins. Le produit est écrasé puis mélangé avec les différents repas quotidiens pour faciliter l'ingestion.

La jaunâtre résine du tronc de *Pistacia atlantica* est utilisée comme fruit chew et elle aurait un effet sur la filtration des reins (**Ghardaïa**) ;

Las galls, en arabe appelées (Aff's), dues à des pucerons, sur les feuilles de *Pistacia atlantica* serait utilisé comme colorant des cheveux, dans mélange avec d'autre matières (**Orabi, 2002**) ;

3- suivant l'expérience de **Carra (1950)** sur greffage *Pistacia vera* sur *Pistacia atlantica*, il aurait une grande affinité entre les deux espèces (d'environ 80) ; le bétoum est donc un bon porte greffe du pistachier fruitier, il ne ressent guère la crise de transplantation, son système racinaire est robuste et moins pivotant que le pistachier vrai (**Kourad, 1987**).

4- Le bétoum peut être reboisé dans les zones à conditions écologiques rigoureuses sans pour autant être exigeant, il peut être défenseur de la steppe pastorale et des terres de montagne de pente forte contre la désertification et l'érosion, c'est aussi un bon fixateur des terres alluviales (**Carra, 1950 in Kourad, 1987**).

5- Il est compris comme un arbre fourrager principalement dans les zones steppiques ou l'on s'inquiète par la dégradation des plantes herbacées fixatrices de leurs sols érodables par le vent. Il peut donner de ses énormes apports en unités fourragères au troupeau des régions où il se trouve (**Kourad, 1987**)

6- Sa résine noire servie après traitement comme encre à l'écriture principalement dans l'école coranique, et de la teinte sombre industrielle employée pour la coloration des tissus, les peaux, la laine...etc. (**Kourad, 1987**)

7- Production de bois :

L'Atlas pistachier est un bois fort qui peut se polir bien.

Il est employé en marqueterie et en menuiserie (**Cheba et al, 1991**)

Il est un très bon bois de feu, il sert aussi à la fabrication du cure dent, il fertilise les engendres ; en raison de sa bonne compacité il est demandé pour la sculpture (**Kourad, 1987**)

8-Insecticides:

Pistachio, according to **Ben Slimane et Younsi (2002)**, can be utilized as an insecticide

when one mixes the leaf essential oil with an organic molecule like the tensioactifperfluoré. It would have beneficial actions against the puceron (*Aphis croccivora*)

9-due to its rusticity and the deciduity of its leaves, forms good forest soils

(**Chaib Draa, 1980**in **Malki, 2002**)

10-it is considered reforestation essence, in Algeria the bétoum tends to colonize the shallow soils and thanks to its strong root system, it has a beneficial impact in the fight against erosion and desertification which constantly menaces our region (**Khelifaet Douma, 2002**). It can be utilized as a means of development of the oueds and sloping erodable lands (**Kourad, 1987**).

6.2. Utilisations de *Pistacia Atlantica* :

1. Medical Utilisations : très pratique en tant qu'Antiseptique, antifongique, et dans les maladies abdominales (**Baba Aissa, 2000**).
2. Food Utilisations : le fruit fournit une superbe huile de table est extrait des graines qui par hiatus contiennent environ 55% d'huile (**Daneshard et al. 1980**).

3. Local Utilisations :

les fruits de l'arbre (**El Khodiri**) sont des drupes comestibles du pois d'épaisseur, légèrement ovales et aplaties, utilisées culinairement et médicinalement. Ils sont riches en huile dense très énergétique. L'huile est souvent mélangée avec les dattes écrasées et peut être prise à toute heure du jour avec du petit lait. L'huile goûte extrêmement proche du beurre, elle est très appréciée localement. Les graines sont séchées, écrasées ou moulues et réunies avec de sucre et de l'eau et consommées en boules ou, séchées et croquées comme elles, telles des cacahuètes. L'écorce donne une résine-mastic qui s'écoule naturellement à profusion sous les chaleurs. Les peuples locaux l'utilisent médicalement. Le suintement du tronc fait 'l'encre rouge des tombas', il est, en sus, utilisé à la tannerie des peaux. Jusqu'à présent, l'arbre était copieux. L'arbre fournit un bois de sculpture et toutes les espèces du pistachier apportent une contribution en fourrage important à l'alimentation du bétail en particulier en automne. Cette essence peut aller dans le domaine de la lutte contre la désertification mise en œuvre pour la fixation des dunes, par exemple brisevents (**Belhadj, 2003**). De plus il y a d'autres usages : Colorant, Gomme, Encre, Résine, Rhizome ; Tannin, Bois.

7. Propriétés physico-chimiques et biologique de pistachier de l'atlas :

Les polyphénols sont des composés aromatiques généralement solubles dans les solvants polaires tels que l'éthanol, le méthanol, le butanol, l'acétone, le diméthylsulfoxyde, l'eau, ... etc. (Benkrief, 1990). Les polyphénols moins polaires telles que les isoflavones, les

flavonones, les flavones et les flavonols sont plus solubles dans d'autres solvants tels que l'éther et le chloroforme (Verykokidou-Vitsaropoulou et Vajias, 1986).

7.1. Propriétés biologiques :

Chez les plantes, les composés phénoliques sont impliqués dans différents processus comme la germination des graines et la croissance des plantes (Marcheixet *al.*, 2005). Ces dernières années les recherches sur les composés phénoliques se sont accentuées en raison de leurs activités anti-inflammatoires, antibactériennes et antifongiques, antioxydantes et même anticancéreuse (Montoroet *al.*, 2005).

7.2. Activité anti-inflammatoire :

Les propriétés anti-inflammatoires des composés polyphénoliques peuvent être dues à leurs propriétés à inhiber les enzymes impliquées dans les processus inflammatoires (Škergetet *al.*, 2005) et leur activité antioxydante. La matricaire, aussi appelé le la camomille germanique ou camomille commune, est une plante médicinale utilisée pour ses propriétés antispasmodiques et anti-inflammatoires (Marcheixet *al.*, 2005).

7.3. Activité antibactériales :

Polyphénols particularly flavonoïdes and tanins are described by their toxicity against microorganisms (Basliet *al.*, 2012).

7.4. Propriété anticancéreuse :

Les flavonoïdes et autres phénols peuvent jouer un rôle préventif dans le développement du cancer (Genoux, 2011). Ils agissent à la phase d'initiation en formant des pièges des mutagènes électrophiles ou en stimulant la réparation de l'ADN muté. Au cours des phases de promotion et de progression, ils agissent en tant qu'agents suppresseurs de tumeurs par

différents mécanismes tels que l'induction de l'apoptose et l'inhibition de la prolifération cellulaire (Gerber *et al.*, 2002).

7.5. Propriété antioxydant :

La mise en évidence des composés phénoliques à titre d'antioxydants naturels est solidement aujourd'hui établie et elle est en partie à l'origine du regain d'intérêt que nous manifestons pour ces molécules dans la pharmacologie et la nutrition (Macheix *et al.*, 2005).

En raison de leur diversité structurale, les composés phénoliques sont impliqués dans cette fonction, via différents mécanismes by intervening at various levels of the radical reactions (Cotelle *et al.*, 1995 ; Borset *et al.*, 1997 ; Gramza *et Korczak*, 2005 ; Siddhuraju, 2006).

7.6. Propriétés antiallergiques :

Les propriétés antiallergiques des flavonoïdes ne sont plus à démontrer. En effet, la quercétine inhibe puissamment la libération d'histamine par les astrocytes (Ghedira, 2005) ainsi que par inhibition des enzymes favorisant la dégranulation histaminique à partir des mastocytes et des basophiles, l'AMPc phosphodiesterase et la Ca⁺⁺ ATPase (Kähkönen *et al.*, 1999).

Chapitre II :
*Méthodes d'évaluation des activités
antioxydantes et anti-inflammatoires.*

Méthodes d'évaluation des activités antioxydantes et anti-inflammatoires :

1. Antioxydant :

Les cellules ont mis en place divers mécanismes de défense pour limiter les effets délétères des espèces réactives de l'oxygène (ERO), dont la production est inévitable au cours du métabolisme cellulaire. Le maintien de l'équilibre redox nécessite un investissement énergétique important, justifié par la nécessité de prévenir les dommages oxydatifs. Ces défenses sont de deux origines : endogènes, incluant des enzymes telles que la superoxyde dismutase ou la catalase, et exogènes, provenant principalement de l'alimentation. Plusieurs vitamines antioxydantes, notamment la vitamine E (tocophérol), la vitamine C (ascorbate), la coenzyme Q (ubiquinone), ainsi que les caroténoïdes, jouent un rôle clé en neutralisant les radicaux libres. Leur mode d'action repose sur la capture de l'électron célibataire porté par le radical, conduisant à sa stabilisation sous forme de molécule ou d'ion inoffensif. Toutefois, cet antioxydant devient à son tour un radical intermédiaire, qui devra ensuite être éliminé ou recyclé par d'autres systèmes. Ce mécanisme de piégeage est également observé chez de nombreux composés phytochimiques présents dans l'alimentation, comme les polyphénols, les alcaloïdes ou les phytates (**Palazzettiet al., 2003**).

1.1. Oxydation des radicaux libres :

Parmi l'ensemble des espèces radicalaires générées au sein des cellules, il est possible de distinguer une catégorie restreinte, qualifiée de radicaux primaires, qui jouent un rôle central en physiologie. Ces derniers sont à l'origine de la formation d'autres espèces, appelées radicaux secondaires, produits à la suite de réactions entre les radicaux primaires et les constituants cellulaires. Les principaux radicaux primaires dérivent de l'oxygène ou de l'azote, notamment l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$), le radical hydroxyle (OH^{\bullet}), et le monoxyde d'azote (NO^{\bullet}).

La production de ces radicaux libres est principalement d'origine endogène. Elle résulte de processus métaboliques normaux, tels que le fonctionnement de la chaîne respiratoire mitochondriale, les activités des peroxysomes, ou encore du système enzymatique du cytochrome P-450. Lorsque leur concentration dépasse les capacités de régulation cellulaire, ces radicaux peuvent induire des dommages importants aux macromolécules, notamment à l'ADN, et contribuer au vieillissement cellulaire. Ce déséquilibre est également impliqué dans

l'étiologie de plusieurs maladies chroniques telles que l'athérosclérose, les cancers, la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson (Favier, 2003).

Méthode d'évaluation de l'activité antioxydant :

L'évaluation de l'activité antioxydante des composés peut s'appuyer sur des approches à la fois qualitatives et quantitatives. Les méthodes qualitatives, bien que peu nombreuses, sont généralement basées sur des réactions visuelles, telles que des changements de couleur, qui indiquent la présence d'agents antioxydants lorsqu'ils interagissent avec des réactifs spécifiques. Ces tests sont souvent utilisés pour un dépistage rapide de l'activité antioxydante.

En revanche, les méthodes quantitatives permettent une mesure plus précise du pouvoir antioxydant. Elles reposent sur la génération contrôlée de radicaux libres, dont la réactivité est directement liée aux processus d'oxydation dans les aliments ou les systèmes biologiques. Cette corrélation a conduit à une utilisation croissante de ces techniques dans les études visant à quantifier l'efficacité des composés à potentiel antioxydant (Schwarz *et al.*, 2001).

Les méthodes **DPPH**, **FRAP** (Ferric Reducing Antioxidant Power) et **CUPRAC** (ou parfois notée **CET** pour Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) figurent parmi les techniques les plus couramment utilisées pour évaluer l'activité antioxydante des extraits issus de plantes et de fruits. Bien que considérées comme des **méthodes classiques**, leur utilisation reste d'actualité en raison de leur **fiabilité** et de leur **facilité de mise en œuvre**. Une fois ces méthodes rigoureusement **standardisées**, elles permettent d'établir des **comparaisons fiables** entre différentes études et échantillons.

1.2. Le teste DPPH :

Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) est l'un des premiers radicaux libres stables à avoir été utilisé pour l'étude des relations entre la structure chimique des composés phénoliques et leur activité antioxydante (Blois, 1958 ; Brand-Williams *et al.*, 1995). Ce radical présente un électron célibataire localisé sur l'atome d'azote de son pont hydrazyle, ce qui lui confère une forte réactivité vis-à-vis des donneurs d'électrons ou d'hydrogène. Sa structure chimique particulière (Figure 17) en fait un outil de référence dans l'analyse du pouvoir réducteur de nombreuses substances (Popovici *et al.*, 2009).

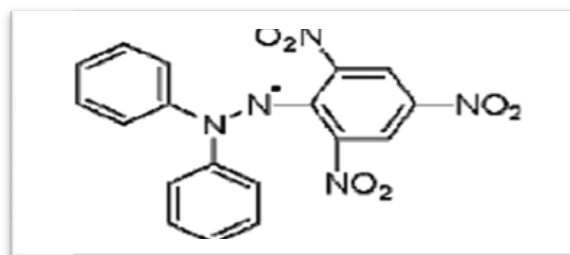


FIGURE 17: STRUCTURE CHIMIQUE DU RADICAL LIBRE DPPH(2,2 DiPHENYLE-1-PICRYL-HYDRAZYLE). (POPOVICI ET AL., 2009).

Principe :

L'ajout du radical DPPH• à une solution méthanolique contenant un composé ayant un potentiel antioxydant — c'est-à-dire capable de fournir un atome d'hydrogène — entraîne une diminution progressive de la coloration violette caractéristique de la forme oxydée du DPPH. Cette perte d'intensité colorimétrique, facilement mesurable par spectrophotométrie, traduit la formation de la forme réduite du DPPH, moins colorée (Congo, 2012).

Parallèlement, la réaction génère un nouveau radical, issu de la molécule donneuse d'hydrogène. Ce radical peut à son tour participer à des réactions secondaires, telles que des dimérisations, pouvant influencer la stabilité ou la réactivité du milieu réactionnel. À l'issue de la réaction, une coloration jaune résiduelle subsiste, attribuée à la présence du groupement pic Ryle.

En notation simplifiée, si l'on désigne le radical DPPH• par Z• et le donneur d'hydrogène par AH, la réaction s'exprime de la manière suivante :

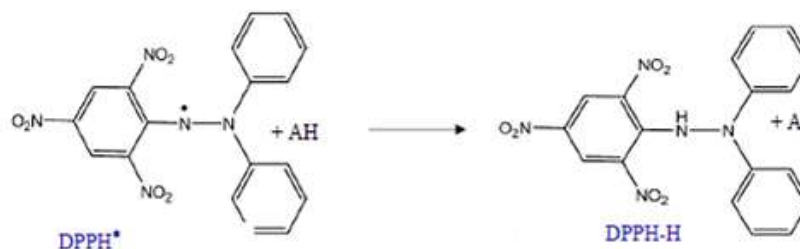
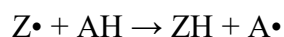


FIGURE18: MECANISME DE REDUCTION DU RADICAL LIBRE DPPH PAR UN ANTIOXYDANT

Détermination du pourcentage d'inhibition :

L'activité antiradicalaire des échantillons est évaluée à travers le pourcentage de réduction du radical libre DPPH° (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), conformément à la méthode décrite par **Dongmo *et al.* (2010)**. Selon les travaux de **Dung *et al.* (2008)** ainsi que ceux d'**Eyobet *al.* (2008)**, le pouvoir réducteur est quantifié à l'aide de la formule suivante :

$$PR (\%) = (AC - AE) \times 100 / AC$$

Où :

- **PR** : représente le pouvoir de réduction exprimé en pourcentage ;
- **AE** : désigne l'absorbance de la solution de DPPH° en présence de l'huile essentielle ou de l'acide ascorbique ;
- **AC** : correspond à l'absorbance du témoin, soit la solution de DPPH° en l'absence d'antioxydant.

L'évolution du pouvoir réducteur en fonction des concentrations croissantes en huile essentielle ou en acide ascorbique permet par ailleurs de déterminer le paramètre CE₅₀ (Concentration Efficace à 50 %). Ce paramètre, tel que défini par **(Molyneux (2004))**, correspond à la concentration minimale requise de l'échantillon test (huile essentielle ou acide ascorbique) pour inhiber 50 % de l'activité radicalaire du DPPH°, et constitue un indicateur important du potentiel antioxydant.

1.3. Le test FRAP :

La méthode FRAP (FerricReducingAntioxidant Power), développée par Benzie et Strain (1996), repose sur la réduction du complexe ferrique tripyridyltriazine [(Fe (III)-TPTZ)₂] en son complexe ferreux [(Fe (II)-TPTZ)₂] par un agent antioxydant (AH), dans des conditions acides (pH 3,6), nécessaires à la solubilité optimale du fer. Cette transformation redox se manifeste par l'apparition immédiate d'une coloration bleu intense, dont l'absorbance maximale est observée à 593 nm.

Ce test permet ainsi d'évaluer la capacité des échantillons à transférer des électrons, indicateur direct du pouvoir antioxydant, en particulier celui des composés polyphénoliques (**Yıldırım *et al.*, 2001**).

Principe :

La méthode d'évaluation du pouvoir réducteur repose sur la capacité d'un antioxydant à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}), présent dans le complexe ferrocyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$), en fer ferreux (Fe^{2+}). Cette réaction d'oxydoréduction entraîne un changement de couleur de la solution, qui passe du jaune au bleu-vert, traduisant la formation du complexe ferreux. L'intensité de cette coloration est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 700 nm, conformément à la méthode décrite par **(Karagözleret al. (2008))**. Une absorbance élevée est interprétée comme le signe d'un fort pouvoir réducteur de l'échantillon, et donc d'une activité antioxydante significative **(Gholivandet al., 2010)**.

1.4. Le Teste CAT :

L'évaluation de la capacité réductrice de nos fractions a été réalisée à l'aide du test CUPRAC (Cupric Ion ReducingAntioxidantCapacity).

Cette méthode repose sur la mesure de la diminution de l'absorbance du complexe néocuproïne–ions cuivriques [$\text{Nc}_2\text{-Cu}^{2+}$], initialement fortement coloré. En présence d'un agent antioxydant, ce complexe est réduit, ce qui entraîne une baisse de l'absorbance, mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 455 nm **(Apaket al., 2004)**.

Principe :

La méthode CUPRAC (CupricReducingAntioxidantCapacity), décrite par **(Apaket al. (2004))**, permet d'évaluer le pouvoir antioxydant des composés en mesurant leur capacité à réduire les ions cuivriques (Cu^{2+}) en ions cuivre (Cu^+) dans un environnement neutre.

Dans cette méthode, 1 mL de tampon acétate d'ammonium (1 M, pH 7,0) est introduit dans un tube à essai, puis mélangé successivement avec 100 μL de l'échantillon à tester, 200 μL de néocuproïne (7,5 mM) et 100 μL de chlorure de cuivre (CuCl_2 , 0,01 M). L'ensemble est ensuite incubé à 37 °C pendant 30 minutes afin de permettre la formation du complexe Cu^+ –néocuproïne, de couleur jaune-orangée. L'absorbance du mélange réactionnel est ensuite mesurée à une longueur d'onde de 455 nm.

L'activité antioxydante est exprimée en pourcentage de pouvoir réducteur (PR %), calculé à l'aide de la formule suivante :

$$PR (\%) = (Abst/Abst - Abse'ch) \times 100$$

- **Abst** représente l'absorbance du témoin (sans antioxydant),
- **Abse'ch** correspond à l'absorbance mesurée en présence de l'échantillon testé ou du standard (ex. acide ascorbique).

Une valeur élevée de PR (%) traduit une forte capacité de réduction, et donc un potentiel antioxydant important (Apaket *al.*, 2007). Cette méthode est largement utilisée pour sa sensibilité, sa simplicité d'exécution et sa compatibilité avec divers types de composés antioxydants, notamment les polyphénols et les flavonoïdes.

2. Antiinflammatoire :

2.1. Activités antiinflammatoires :

Des études réalisées *in vitro* ont mis en avant le fait que les propriétés anti-inflammatoires des extraits de *Pistacia atlantica* pourraient être liées à leur richesse en polyphénols dont l'interaction dans la cascade inflammatoire a été principalement validée vis-à-vis des macrophages par l'inhibition de plusieurs régulateurs majeurs de la réponse inflammatoire (Egleet *al.*, 2021). Plus loin, (Remilaet *al.*, 2015) ont prouvé l'effet de l'extrait de *P. atlantica* sur l'inflammation induite *in vitro* sur une approche qui n'a pas été jusqu'alors utilisée notamment l'analyse biochimique qui a révélé son action sur les éléments cellulaires. Les cellules inflammatoires activées participent à l'intensification de l'état inflammatoire par la production et la libération de plus de 100 substances dont des cytokines pro inflammatoires de type IL-1, TNF- et IL-17. La baisse du niveau d'IL-1 dans les macrophages montre que l'extrait effectue son action anti-inflammatoire par empêcher les macrophages à produire les médiateurs pro-inflammatoires. Les résultats obtenus s'accordent avec ceux des précédents chercheurs qui supportaient que l'extrait de *P. atlantica* avait un fort effet anti-inflammatoire. Ils apportent ainsi un cadre de référence solide pour l'utilisation de cette plante dans la médecine traditionnelle.

2.2. Inflammation :

Au cours du développement historique, l'inflammation était associée aux infections et à un processus par le laquelle le système immunitaire joue un rôle. Cependant, de récentes preuves montrent un répertoire beaucoup plus vaste de maladies où l'inflammation commence à

devenir un marqueur révélateur de l'inflammation. L'inflammation est le mécanisme à disposition pour la réparation des tissus après une blessure, dont la mise en œuvre déclenche une cascade de réactions cellulaires et microvasculaires qui va permettre l'élimination de tissus lésés et leur reconstruction néoformée, dont le processus de base repose sur une forte perméabilité des microvaisseaux, le paveau de cellules circulantes pour se fixer, au voisinage du site de la lésion sur les cellules endothéliales des vaisseaux, pour la migration des divers types cellulaires, l'apoptose, la néoformation des tissus et des vaisseaux sanguins **(Geert et Schmid-Schonbein, 2006)**.

L'inflammation est une réaction biologique à une perturbation de l'homéostasie tissulaire. A son niveau basal, c'est faire appel à un processus destructif des tissus qui implique le recrutement, dans les tissus sous l'effet de l'agression, de produits sanguins dérivés du liquide plasmatique, de celui de sang et des leucocytes. Cette migration est assurée par la mise en œuvre de modifications du circuit vasculaire local à l'origine de vasodilatation, d'augmentation de la perméabilité vasculaire et d'un accroissement du flux sanguin **(Ashley et al.2012)**.

2.3. *Type inflammatoire :*

Il faut tout d'abord dire que l'inflammation est mécanisme de défense complexe au défaut duquel nous apprend que les leucocytes passent du milieu vasculaire vers les tissus abîmés pour détruire les agents responsables de lésions tissulaires. L'inflammation aiguë est une réponse adaptative à court terme au défi infectieux alors que dans les formes chroniques, l'inflammation est un phénomène de persistance susceptible d'entraîner des lésions tissulaires. La réponse l'inflammation aiguë a pour l'un de ses traits de caractérisation l'infiltré leucocytaire qui au départ est principalement neutrophile (1ère phase d'exsudation et d'infiltration neutrophile), mais passé 24-48 heures se transforme en infiltrat macrophagique monocytaire, voire lymphocytaire. Les formes chroniques sont, elles, histologiquement associées à la présence de cellules mononucléaires, macrophages et lymphocytes **(Gabay, 2006)**.

Les anti-inflammatoires englobent tous les médicaments capables d'atténuer ou de supprimer le processus inflammatoire. Il existe deux grands groupes d'anti-inflammatoires : les anti-inflammatoires non stéroïdiens qui sont ceux qui n'appartiennent pas à la catégorie des corticoïdes ou anti-inflammatoires stéroïdiens.

2.3.1. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens :

Ces substances sont généralement administrées par voie orale, ce qui implique de passer par l'appareil digestif et le système circulatoire pour être ensuite métabolisées selon leurs spécificités soit par les reins soit par le foie. Les traitements à base d'AINS peuvent également être proposés sous forme topique ou par voie intramusculaire, ces voies d'administration étant moins fréquemment étudiées que la voie orale.

Nous savons de mieux en mieux aujourd'hui que la prise des AINS inhibe nettement la réponse inflammatoire précoce, qu'elle peut nuire au phénomène de cicatrisation et elle peut également altérer la réparation de cette lésion. Le principal mécanisme d'action des AINS est bien celui de l'inhibition de la synthèse des prostaglandines (PG) à partir de l'acide arachidonique, par un blocage de la cyclo-oxygénase (Cox) (**Fournier, 2008**).

2.3.2. Les anti-inflammatoires stéroïdiens ou corticoïdes :

Les corticoïdes sont devenus des agents largement utilisés en période préopératoire en raison de leurs propriétés antiémétiques. La plus récente mise en évidence d'un effet antalgique a encore accru l'intérêt pour ces molécules. Les glucocorticoïdes ont, comme les anti-inflammatoires non stéroïdiens, un inhibiteur de la production de prostaglandines en ciblant la phospholipase A2, en amont de la cyclo-oxygénase du métabolisme de l'acide arachidonique. Les glucocorticoïdes ont cependant une action plus large que les anti-inflammatoires non stéroïdiens, une action à la fois cytoplasmique et génique, modulant transcription et expression et impliquant les médiateurs (bradykinine, histamine.) les cytokines (IL 1 et 2, TNF) et plusieurs neuropeptides (CRF, ACTH, bêta-endorphine...) (**Fournier, 2008**).

2.4. Méthodes utilisées dans l'étude de l'activité anti-inflammatoire

:

L'étude de l'activité anti-inflammatoire peut être réalisée selon deux approches (in vivo, in vitro). La méthode in vivo est, le plus souvent, réalisée sur le modèle animal de laboratoire avec induction par voie chimique ou mécanique d'une inflammation aiguë. Les études in vitro permettent d'appréhender au niveau moléculaire les modalités d'action des agents anti-inflammatoires sur un système isolé d'organe, dans des préparations soit cellulaires soit subcellulaires (**Naik et Sheth, 1976**). Plusieurs méthodes in vivo ou in vitro ont été utilisées

pour l'évaluation de l'activité anti-inflammatoire des extraits de plantes médicinales. Quelques méthodes d'études de l'activité anti-inflammatoire, in vitro et in vivo :

- **In vivo :**

- Induction d'un œdème, par l'injection de carra génine dans la patte de la souris. Les contractions abdominales produites par l'injection de l'acide acétique chez la souris (**Ouédraogo et al., 2012**).
- Induction d'un œdème en faisant chuter un poids de 50 g au-dessus de la pête gauche des rats. (**El Hachimiet al., 2016**).
- L'accumulation des cellules de l'inflammation induite par l'injection de cerdane. (**Maruyamaet al., 2005**).
- enduction d'œdème en appliquant l'huile de coton sur l'oreille de souris. (**Sawadogoet al., 2008**).

- **In vitro :**

- Inhibition de la dénaturation des protéines (albumine). **Mizushima et Kobayashi, (1968 Sakatet al., 2010) (Govindappa et al., 2011)**.
- Action inhibitrice sur les protéinases (**Oyedepo et Famurewa, 1995 Sakat et al., 2010**).
- Test de stabilisation des membranes d'érythrocytes via l'induction d'hémolyse des - globules rouges par hypotonie et par chaleur. (**Govindappaet al., 2011**).

Chapitre III : *Matériel Et Méthodes*

1.

1. Matériel végétal :

Récolte des échantillons :

La pistache de l'Atlas a été récoltée le 15/05/2025 dans la région de Maghnia, wilaya de Tlemcen. Après la récolte, elle a été soigneusement lavée, puis laissée à sécher dans une pièce protégée du soleil, à température modérée, pendant dix jours. Une fois sèche, elle a été moulue à l'aide d'un moulin jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine. (Figure 20)



FIGURE 19: RECOLTE, SECHAGE ET BROUAGE DES FEUILLE.

2. Préparation des extraits secs :

Cette opération a été réalisée au la Boratoire de recherche biologie et chimie (labo snaboi). À la faculture SNV de l'université Tlemcen, dans le butde préparation extractionaqueux de pistachier de l'atlas.

2.1. Extraction aqueuse :

Nous avons pesé 2 grammes de poudre de feuilles de pistachier de l'Atlas, puis nous avons ajouté de l'eau distillée dans un bécher de 50 mL. Le mélange a été agité vigoureusement afin d'obtenir une solution homogène. Ensuite, il a été versé dans un entonnoir.

Un barreau magnétique a été introduit, puis le récipient a été couvert avec du papier aluminium pour le protéger de la lumière. Le mélange a été laissé pendant 24 heures sur un agitateur magnétique à température ambiante.



FIGURE20 : PREPARATION DE EXTRAIS AQUEUX .

2.2. Macération et filtration :

Après avoir mélangé les solutions, les avoir couvertes et laissées sur un agitateur magnétique pendant 24 heures dans un endroit sombre et frais, nous avons procédé à la filtration d'extraits aqueux.

La filtration a été réalisée à l'aide de papier filtre. Le papier filtre a été plié deux fois en deux (formant un quart de cercle), puis ouvert en forme de cône et placé dans l'entonnoir.

La solution a ensuite été versée délicatement, permettant au liquide clair de s'écouler à travers le papier, tandis que les résidus restaient retenus à sa surface. Ainsi, la filtration de la solution a été complétée.



FIGURE 21: FILTRATION DESL'EXTRAITS.**2.3. Le processus de séchage :**

Afin d'obtenir une poudre, le séchage a été effectué en versant l'extrait dans un récipient en verre large et résistant à la chaleur, placé dans un four à 37 °C. Le mélange a été laissé jusqu'à évaporation complète du liquide, ce qui permet d'obtenir une couche solide après trois jours ou plus.

Une fois la poudre obtenue, elle a été conservée dans un flacon opaque à la lumière afin de préserver la couleur, l'odeur, l'efficacité, et d'éviter la dégradation des composés.

**FIGURE 22: L'EXTRAIT AQUEUX APRES LE SECHAGE.****FIGURE 23: EXTRAIT SEC AQUEUX.****CALCULE DE RENDEMENT :**

Le rendement en extrait sec obtenu après évaporation a été calculé à partir de 2 g de matière végétale. (Poudre des galle foliaires).

La forme utilisée est :

$$R = PE/P_p * 100$$

$$P_{\text{extrait}} = P_p - P_v$$

PE : le poids d'extrait sec.

P : le poids de poudre végétal.

-le poids de l'extrait sec correspond à la différence entre la masse du cristallisations après évaporation de cette du cristalliseur vide.

3. Préparation des solutions pour HPLC :

Une quantité de 2gde poudre de *Pistacia Atlantica* a été extraite par macération dans de l'eau distillée froide sous agitation. Après filtration et évaporation, l'extrait brut a été concentré puis séché afin d'obtenir le résidu sec aqueux.

Pour l'analyse HPLC, 10 mg de l'extrait sec ont été dissous dans 10 ml d'un mélange méthanol : eau (80 :20, v/v) de qualité HPLC. La solution obtenue a été homogénéisée au bain à ultrason pendant 15 minutes puis filtrée à travers une membrane de 0,22 µm.

A partir de cette solution mère, une série de dilutions a été préparée avec un facteur de **dilution =6**, donnant ainsi les concentrations de **5,10, 15, 20,30 et 40 mg/ml**. Les solutions ont été conservées dans des flacons ambrés à 4°C jusqu'à l'injection.

3.1. Conditions opératoires de la HPLC :

L'analyse chromatographique a été effectuée sur un système HPLC équipé d'une pompe quaternaire, d'un injecteur automatique et d'un détecteur UV/Vis.

- **Colonne** : C18 en phase inverse (250 mm*4,6mm,5µm).
- **Phase mobile** :- solvant A : eau ultrapure acidifiée à 0,1 % d'acide acétique.
- Solvant B : méthanol de qualité HPLC.
- **Programme de gradient** :

- 0 - 5min : 10% B.
- 5 – 25 min : 10 % → 40 % B.
- 25 – 35 min : 40%→70 % B.
- 35- 40 min : 10 % B (rééquilibrage de la colonne).
- **Débit** : 1,0 ml/min.
- **Température de la colonne** :25C°.
- **Volume injecté** : 20 U1.
- **Longueur d'onde de détection** : 280 nm. (Adaptée aux composés phénoliques).

Les chromatogrammes obtenus à été enregistrés et traités à l'aide du logiciel du système. L'identification des pics a été réalisée par comparaison des temps de rétention avec ceux des standards de référence (acide gallique acide caféique).

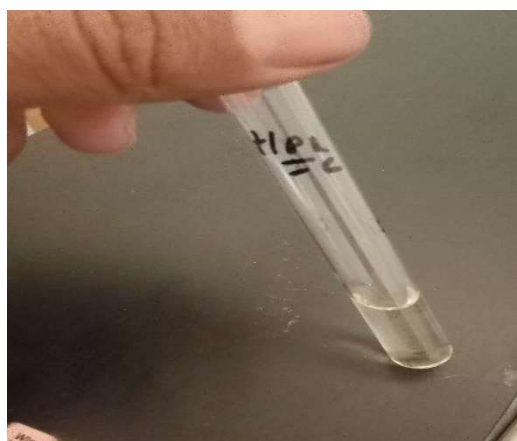


FIGURE 24: SOLUTION PREPAREE DE L'EXTRAIT AQUEUX SEC PISTACIAATLANTICA DESTINEE A L'ANALYSE HPLC.

4. Protocoles d'analyse de l'activités anti-oxydant(DPPH.FRAP.CAT) :

4.1. Préparation de la solution DPPH :

Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 ml d'eau distillée (soit 0.04mg/ml). Après agitation, la solution a été laissée à l'obscurité pendant 30 minutes afin d'obtenir une stabilisation.L'absorbance initiale de la solution a été. Ajustée dans l'intervalle dans l'intervalle de 0.6 & 0.9 à 517nm.

Protocole expérimental

Pour le témoin(contrôle).1ml de la solution de DPPH a été mélangé avec 1ml de solvant (eaudistillée), puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm.Pour les échantillons.1 ml de DPPH a été mélangé avec 1 ml de l'extrait a différentes concentrations. Après incubation a l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée a 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition a été calcule selon la formule :

$$\text{Inhibition\%} = \frac{A \text{ contrôle} - A \text{ échantillon}}{A \text{ contrôle}}.$$

A échantillon : mélange d'extrait DPPH.

A contrôle : l'absorbance du témoin.

4.2. Pouvoir réducteur FRAP :

Le pouvoir réducteur des extraits a été déterminé selon la méthode décrite par. oyaizu(1986).

-Préparation des solutions :

- Solution $K_3(Fe(CN)_6)$ (1%) :1g de dissous dans 100ml d'eau distillée.
- Solution de TCA (10%) :10g d'acide trichloracétique dissous dans 100ml d'eau distillée.
- Solution de $FeCl_3$ (0.1%) :0.1 g de $FeCl_3$ dissous dans 100ml d'eau distillée.

Protocole expérimental :

Une solution mère d'extrait a été préparée en dissolvant 4 mg d'extrait dans 10 ml d'eau distillée (soit 0.004g/10ml). A partir de cette solution,différentes concentrations de travail ont été obtenues.

Pour chaque concentration, 4mg d'extrait ont été mélangés avec 1.25ml de tampon phosphate (0.2 M) (PH=6,6) et 1.25ml de $K_3(Fe(CN)_6)$ (1%). Le mélange a été incubé au bain-marie a 50C° pendant 20 minutes, puis refroidi à température ambiante. Ensuite, 2.5ml TAC (10%) ont été ajoutés et le tout centrifugé pendant 10minuts.

Un volume de 1,25 ml du surnageant a été prélevé et mélangé avec 1.25ml d'eau distillée et 250ul de $FeCl_3$ (0.1%).

L'absorbance a été mesurée à 700 nm contre un blanc.

4.3. Capacité antioxydante totale (CAT) :

La capacité antioxydante totale des extraits a été déterminée par la méthode au phosphomolybdène décrite par prieto et al. (1999).

Préparation de la solution réactive (CAT) :

- Dissoudre 1,0628g de NaPO₄ dans 20ml d'eau distillée.
- Dissoudre 0,4494g de molybdate d'ammonium dans un petit volume d'eau distillée.
- Mélanger les deux solutions, puis ajouter 1,675 ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄).
- Compléter le volume final a 100ml avec de l'eau distillée.

- Protocol expérimental :

- Pour le blanc 0.3 ml d'eau distillée ont été mélangés avec 3 ml de solution réactive.
- Pour les échantillons 0.3 ml d'extrait ont été mélangés avec 3ml de solution réactive.
- Les tubes ont été incubés a 95C° pendant 90 minutes.
- Aprèsrefroidissement, l'absorbance a été mesurée à 695 nm contre un blanc.
- Les résultats ont été exprimés en équivalents d'acide ascorbique (EAA) a l'aide s'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique.

5. Protocole d'analyse de l'activité anti-inflammatoire :

L'activité anti-inflammatoire a été évaluée par le test d'inhibition de la dénaturation des protéines selon la méthode utilisant l'albumine sérique. la solution tampon PBS (PH = 6,4) a été préparée en dissolvant 4g de Na Cl 0.1 gde KCl, 0.72 g de Na₂HPO₄ et 0.12 g de KH₂PO₄ dans de l'eau distillée, puis le PH été ajusté a l'aide d'un acide ou d'une base.

Le mélange réactionnel contenait 100ul d'albumine, 1ml d'extrait a différentes concentrations et 1400ul de pbs. Après une incubation a 37C° pendant 5 minutes (bain-marie), l'absorbance a été mesurée à 660 nm contre un blanc constitué d'eau distillée. L'inhibition de la dénaturation de l'albumine présence des extraits traduit une activité anti-inflammatoire potentielle.

Chapitre IV:
Résultats et discussion

1. Résultats et Discussion :

Nous soulignons que cette étude vise à principalement :

- ✓ Optimiser la méthode d'extraction des composés bioactifs des feuilles de pistache d'atlas.
- ✓ Évaluer *in vitro* le potentiel antioxydant et anti-inflammatoire de ces extraits.
- ✓ Vérifier la possibilité d'utiliser ces propriétés comme critère de comparaison entre les différentes méthodes d'extraction étudiées.

1.1. Calcul du Rendement d'extrait :

L'extrait par macération 2 g de matière végétale sèche (feuilles de *P. Atlantica*). Nous avons permis de déterminer les rendements d'extraction. Les expériences ont été réalisées en quatre répétitions indépendantes (n=4) afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats.

Le rendement de l'extrait aqueux de *Pistacia Atlantica* a été évalué à $38.7 \pm 0.46\%$ sur la base de quatre répétitions indépendantes (n=4).

Nous remarquons que le rendement aqueux de l'extraction des feuilles de *Pistacia Atlantica* a atteint 38,7 %, ce qui constitue un taux élevé pour une extraction aqueuse basée sur des composés polaires solubles dans l'eau. Cette valeur élevée indique la richesse des feuilles en composés phénoliques, flavonoïdes et tanins.

En comparant ce résultat avec les données de la littérature scientifique, on constate que les études antérieures ont enregistré des rendements nettement inférieurs. En effet, les travaux de **Barkat *et al.* (2018)** et **Saffarzadeh *et al.* (2019)** ont rapporté des rendements variants entre 17 et 25 %, tandis que Bouaziz *et al.* (2015) ont indiqué que l'extraction aqueuse des feuilles du genre *Pistacia* dépasse rarement 30 %. Ainsi, la valeur obtenue (38,7 %) dépasse largement les limites supérieures de ces études, reflétant soit un potentiel plus élevé de l'échantillon utilisé, soit une efficacité supérieure du protocole d'extraction adopté.

Cette concordance avec les observations de **Mansouri *et al.* (2011)** sur la richesse phénolique des feuilles de *Pistacia* explique le rendement élevé obtenu et suggère une amélioration possible des propriétés biologiques liées à l'activité antioxydante et anti-inflammatoire

1.2. Analyse qualitative des composé phénolique par HPLC :

L'analyse chromatographique par HPLC a permis d'identifier deux composés phénoliques majeurs dans l'extrait comme le montre la figure (26). Un premier pic correspondant à l'acide gallique a été observé à un temps de rétention d'environ 4,5 minutes, tandis qu'un second pic, plus intense, a été attribué à l'acide caféique avec un temps de rétention de 6 minutes. Les résultats sont présentés suivant :

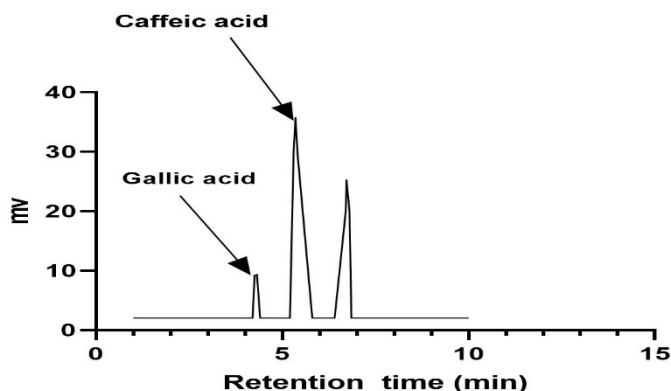


Figure 25: Chromatogramme HPLC pour un extrait *P. Atlantica* (280 nm).

1.2.1. Acide gallique/acide caféique :

- Acide gallique :

L'acide gallique est un composé phénolique appartenant au groupe des acides hydroxy benzoïques, caractérisé par la présence de trois groupes hydroxyles qui lui confèrent une grande capacité à donner des électrons et à neutraliser les radicaux libres. Il est largement présent dans les plantes riches en polyphénols, telles que le thé vert, le raisin, les baies et les noix. Des études ont montré qu'il agit comme un puissant antioxydant protégeant les cellules contre les dommages oxydatifs. Il possède également des propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes, ce qui en fait un composé prometteur pour des applications pharmaceutiques et préventives.

- Acide caféique :

L'acide caféique est un composé phénolique aromatique appartenant au groupe des acides hydroxy cinnamiques, caractérisé par la présence d'une double liaison insaturée dans sa

chaîne latérale qui lui confère une activité biologique significative. On le retrouve dans le café, le vin, les fruits, les légumes ainsi que dans certaines herbes aromatiques. Il est considéré comme l'un des antioxydants naturels les plus importants, capable de réduire l'oxydation du cholestérol LDL et de protéger ainsi le système cardiovasculaire. Il présente en outre des propriétés anti-inflammatoires et hépato protectrices, avec des preuves scientifiques suggérant un rôle potentiel dans la prévention du cancer.

1.3. Étude de l'activité antioxydante :

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait des feuilles de *pistaciaatlantica* a été réalisée à l'aide de trois méthodes complémentaires : le piégeage du radical libre (DPPH) ; la réduction du fer (FRAP). la capacité antioxydante totale (CAT).

1.3.1. Piégeage du radical libre DPPH :

L'activité antioxydante a été évaluée par la méthode du DPPH, basée sur piégeage des radicaux libres. En utilisant le radical libre stable 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle qui forme une solution de couleur violette, il perd sa couleur en réagissant avec les antioxydants.

Tableau 02 : Activité Antioxydant De L'extrait Des Feuilles De Pistachier De L'atlas Evaluation Par Teste DPPH.

TABLEAU 2: ACTIVITE ANTIOXYDANT DE L'EXTRAIT DES FEUILLE DE PISTACHIER DE L'ATLAS EVALUATION PAR TESTE DPPH.

Concentration	0.4	0.2	0.1	0.05	0.25	0.125	0.0625	0.031	0.015	0.007
IC(%)	99,15	95,71	93,96	89,55	91,30	92,99	85,39	71,95	60,06	49,81

Les résultats du test **DPPH** réalisés sur l'extrait des feuilles de *PistaciaAtlantica* ont montré une activité antioxydante élevée, caractérisée par une diminution progressive et notable de l'absorbance lorsque les concentrations de l'extrait diminuent, ce qui s'accompagne d'une augmentation continue du pourcentage d'inhibition, atteignant **99,15 %** à la concentration la plus élevée. Ce comportement inverse entre absorbance et pourcentage d'inhibition s'explique par le principe même du test DPPH : les composés antioxydants présents dans l'extrait possèdent la capacité de donner un atome d'hydrogène ou un électron au radical libre DPPH•, entraînant ainsi la décoloration de la solution violette, ce qui reflète directement la puissance de l'activité antioxydante (Blois, 1958).

Le calcul de la valeur $IC_{50} = 0,043 \mu\text{g/mL}$ a également mis en évidence une efficacité remarquable de l'extrait, puisqu'une quantité très faible suffit pour inhiber 50 % des radicaux libres. Les valeurs basses d' IC_{50} sont généralement associées à une teneur élevée en composés phénoliques et flavonoïdes, largement reconnus pour leur rôle dans la neutralisation directe des radicaux libres.

Les résultats obtenus concordent avec ceux rapportés dans la littérature scientifique. **Chahdoura et al. (2016)** ont indiqué que feuilles de *Pistacia atlantica* constituent l'organe le plus riche en composés phénoliques et présentent une activité antioxydante significative dans le test DPPH, bien que les valeurs d' IC_{50} enregistrées dans leur étude variaient entre **0,059 et 5,712 mg/mL**, ce qui demeure nettement supérieur à la valeur obtenue dans la présente étude. De même, **Zouaghi et al. (2016)** ont confirmé que l'extrait des feuilles possède un potentiel antioxydant important, attribué à une forte concentration en flavonoïdes et en composés phénoliques. Par ailleurs, **Benhammou et al. (2008)** ont démontré l'existence d'une relation positive entre la teneur phénolique et l'activité antioxydante des extraits de *Pistacia atlantica*, renforçant ainsi la validité des résultats obtenus dans cette étude

1.3.2. La réduction du fer (FRAP) :

L'activité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) et du standard acide ascorbique a été évaluée à l'aide du test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), qui mesure la capacité d'une substance à réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} , exprimée par l'absorbance à 593 nm. Pour rendre les valeurs d'absorbance comparables, une courbe étalon d'acide ascorbique a été établie, et l'analyse linéaire a conduit à l'équation :

$$Y = 0,0014x + 0,0502.$$

où Y représente l'absorbance et X la concentration équivalente en acide ascorbique (μM AAE)

Tableau 3 : Évaluation Du Potentiel Antioxydant De L'extrait De feuille de PistaciaAtlantica Par Le Test FRAP.

Concentration (mg/ml)	0.4	0.2	0.05	0.25	0.125	0.0625	0.031	0.015	0.007
FRAP (extrait)	1,048	0,620	0,595	0,134	0,127	0,116	0,113	0,097	0,088

Tableau 4: Activité Antioxydante FRAP De L'acide Ascorbique (AA).

Concentration (ug/ml)	0	62.5	125	250	500	1000
FRAP (AA)	0	0.122	0.256	0.42066667	0.78566667	1.41366667

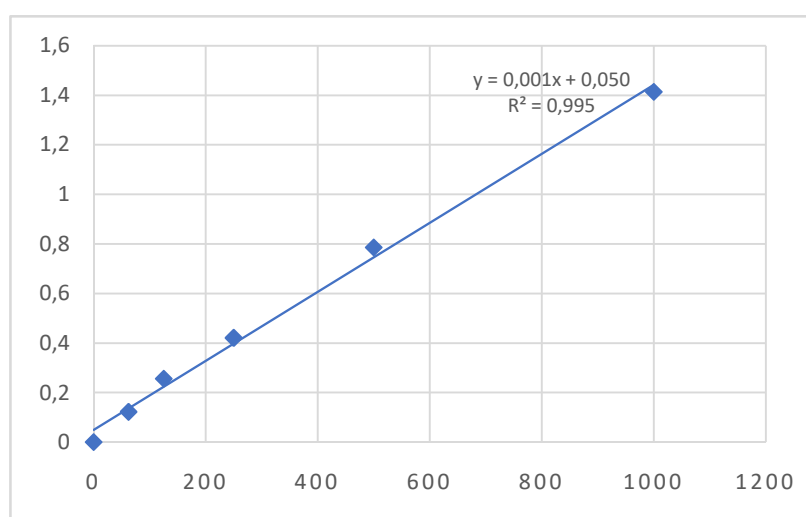


Figure 16: courbe d'étalonnage acide ascorbique pour le test FRAP.

L'analyse des deux tableaux montre que la capacité réductrice de l'extrait aqueux augmente de manière significative avec la concentration, atteignant une valeur maximale de FRAP de 1,048 à la concentration de 0,4 mg/ml, correspondant à environ 713 µM AAE. En revanche, aux concentrations plus faibles (0,007 à 0,125 mg/ml), la capacité réductrice reste limitée, variant entre 27 et 55 µM AAE.

Lors de la comparaison de ces résultats avec la courbe étalon de l'acide ascorbique, il a été observé que la capacité réductrice augmente proportionnellement avec la concentration dans les deux groupes, l'équivalent µM AAE de l'acide ascorbique passant de 0 à 0 µg/ml à

environ 963 μM à 1000 $\mu\text{g/ml}$ (d'après les données expérimentales) ; cela reflète que l'acide ascorbique possède une activité antioxydante forte et clairement démontrée dans le test. La comparaison montre également que l'extrait aqueux à la concentration maximale se rapproche de la capacité de l'acide ascorbique à 500–1000 $\mu\text{g/ml}$, ce qui indique la présence de composés phénoliques efficaces tels que l'acide gallique, la catéchine et la quercétine, connus pour leur forte activité antioxydante, comme l'ont confirmé des études précédentes (Ghahremani-Meydani *et al.*, 2016 ; Farzanehet *et al.*, 2023).

Cependant, la comparaison des concentrations plus faibles montre que l'activité réductrice de l'extrait aqueux ne dépasse pas celle de l'acide ascorbique aux concentrations équivalentes, ce qui suggère que l'efficacité dépend de la concentration des composés actifs présents dans l'extrait. Cette variation reflète la nature complexe des extraits végétaux, dont le contenu en phénols et flavonoïdes varie selon la méthode d'extraction et la concentration de l'échantillon (Mohammadi *et al.*, 2017).

De plus, les données indiquent que la relation entre la concentration et la capacité réductrice est pratiquement linéaire pour les deux échantillons, permettant d'utiliser la courbe étalon de l'acide ascorbique pour convertir les valeurs FRAP en μM AAE et comparer précisément l'activité. Cette comparaison montre que l'extrait aqueux à des concentrations élevées constitue une source naturelle puissante d'antioxydants, tandis que son activité reste limitée à de faibles concentrations, ce qui concorde avec la littérature indiquant que l'activité antioxydante des feuilles de *P. atlantica* est fortement corrélée au contenu en composés phénoliques et flavonoïdes (Ghahremani-Meydani *et al.*, 2016 ; Farzanehet *et al.*, 2023).

1.3.3. La capacité antioxydante totale (CAT) :

La capacité antioxydante totale (CAT) de l'extrait brut des feuilles de *Pistacia atlantica* a été évaluée à 0,4 mg/mL, correspondant à une absorbance de 1,352, sur la base de la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique ($y = 2,9818x$). Cette absorbance équivaut à une concentration de 1,132 mg/mL d'acide ascorbique équivalent (AAE). Ces résultats indiquent une activité antioxydante notable, principalement attribuable aux composés phénoliques et flavonoïdes présents dans les feuilles.

Parmi ces composés, l'acide gallique et l'acide caféique jouent un rôle majeur grâce à leurs groupes hydroxyles (-OH), capables de neutraliser les radicaux libres, d'inhiber la peroxydation lipidique et de former des complexes avec les métaux de transition impliqués dans la génération d'oxygène réactif, contribuant ainsi à la protection des biomolécules contre le stress oxydatif (Bouyahya et al., 2018 ; Mezni et al., 2017).

Bien que l'extrait aqueux présente une activité antioxydante inférieure à celle des extraits organiques, cette valeur demeure significative. En effet, Beyraghdar-Kouchaksaraei et al. (2022) ont rapporté que les extraits méthanoïques des feuilles de *P. atlantica* présentent une capacité antioxydante beaucoup plus élevée, atteignant 1,132 mg AAE/g extrait, ce qui souligne l'efficacité des solvants organiques dans l'extraction des composés phénoliques solubles tels que l'acide gallique et l'acide caféique.

Ainsicorbique équivalent (AAE). Ces résultats indiquent une activité antioxydante notable, principalement attribuable aux composés phénoliques et flavonoïdes présents dans les feuilles.

Parmi ces composés, l'acide gallique et l'acide caféique jouent un rôle majeur grâce à leurs groupes hydroxyles (-OH), capables de neutraliser les radicaux libres, d'inhiber la peroxydation lipidique et de former des complexes avec les métaux de transition impliqués dans la génération d'oxygène réactif, contribuant ainsi à la protection des biomolécules contre le stress oxydatif (Bouyahya et al., 2018 ; Mezni et al., 2017).

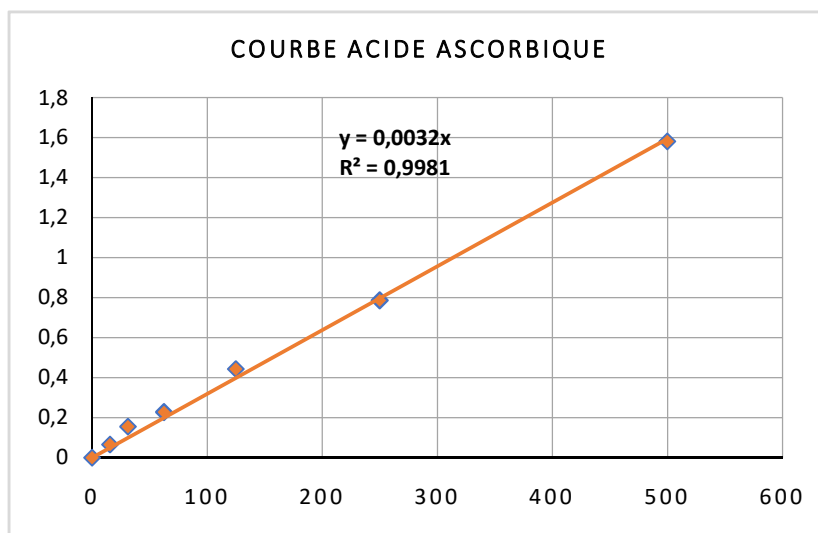


Figure 27: courbe d'étalonnage d'acide ascorbique pour teste De Piégeage Des Radicaux DPPH.

Effet inhibiteur des extraits sur la dénaturation de l'albumine (résultats et interprétation) :

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire de l'extrait aqueux des feuilles de *Pistacia atlantica* a été évaluée et comparée à celle du diclofénac, utilisé comme substance de référence, à l'aide du test de dénaturation de l'albumine. Ce test est largement reconnu comme un modèle in vitro fiable pour l'évaluation des propriétés anti-inflammatoires, étant donné que la dénaturation des protéines constitue un mécanisme clé impliqué dans le développement des processus inflammatoires (Sakatet *et al.*, 2010).

Tableau 5: Effet de l'extrait de *Pistacia atlantica* sur la dénaturation de l'albumine (activité anti-inflammatoire).

Concentration(ug/ml)	DO1	DO2	DO3	moyenne
62,5	54,79	54,79	54,51	54,6966667
125	62,19	62	62,38	62,19
250	74,74	74,46	74,83	74,6766667
500	87,18	87,45	87,18	87,27

Tableau 6 : activité anti-inflammatoire du diclofénac.

Concentration(ug/ml)	DO1	DO2	DO3
62,5	0,476	0,476	0,479
125	0,398	0,4	0,396
250	0,266	0,269	0,265
500	0,135	0,132	0,134
IC50	50.84	51.73	51.45

Les résultats obtenus pour le diclofénac montrent une diminution progressive et significative des valeurs d'absorbance (DO) avec l'augmentation de la concentration, traduisant une inhibition efficace et dose-dépendante de la dénaturation de l'albumine. La valeur moyenne de l'IC50 a été estimée à 51,34 µg/mL avec un faible écart-type ($\pm 0,45$), ce qui indique une bonne reproductibilité des mesures et une forte activité anti-inflammatoire à faible dose. Ces

résultats sont conformes aux données rapportées dans la littérature, selon lesquelles le diclofénac est un anti-inflammatoire non stéroïdien puissant, agissant principalement par l'inhibition des enzymes cyclo-oxygénases responsables de la synthèse des prostaglandines inflammatoires (Vane & Botting, 1998 ; Tripathi, 2013).

En revanche, l'extrait aqueux des feuilles de *Pistacia atlantica* a présenté une activité anti-inflammatoire notable, caractérisée par une augmentation progressive du pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine en fonction de la concentration. Le taux d'inhibition est passé de 54,70 % à 62,5 µg/mL à 87,27 % à 500 µg/mL, révélant une réponse clairement dose-dépendante. Cette activité peut être attribuée à la richesse de l'extrait en composés phénoliques et flavonoïdes, reconnus pour leur capacité à stabiliser les protéines et à limiter les altérations structurales induites par les agents pro-inflammatoires (Hajjaj *et al.*, 2017 ; Amri *et al.*, 2018).

La comparaison entre les deux modèles met en évidence que le diclofénac présente une efficacité supérieure à faibles concentrations, tandis que l'extrait végétal nécessite des concentrations plus élevées pour exprimer pleinement son activité anti-inflammatoire. Cette différence s'explique par la nature du diclofénac en tant que molécule pharmaceutique pure, ciblant directement les voies inflammatoires, contrairement à l'extrait végétal dont l'effet résulte d'une action synergique de plusieurs composés bioactifs.

Ces résultats sont en accord avec des études antérieures ayant démontré le potentiel anti-inflammatoire des extraits de *Pistacia atlantica*, tout en soulignant que leur efficacité demeure inférieure à celle des anti-inflammatoires non stéroïdiens standards à faibles doses (Hajjaj *et al.*, 2017 ; Ghahremani-Meydani *et al.*, 2023). En outre, Sakat *et al.* (2010) ont confirmé que le test de dénaturation de l'albumine constitue un outil pertinent pour l'évaluation des propriétés anti-inflammatoires des extraits végétaux, ce qui renforce la fiabilité des résultats obtenus.

En conclusion, l'extrait aqueux des feuilles de *Pistacia atlantica* présente une activité anti-inflammatoire significative caractérisée par une inhibition dose-dépendante de la dénaturation de l'albumine. Bien que le diclofénac demeure plus puissant en raison de sa nature pharmacologique, les résultats obtenus confirment l'intérêt de *Pistacia atlantica* comme source naturelle prometteuse de composés bioactifs à potentiel anti-inflammatoire, justifiant la poursuite des investigations pharmacologiques et toxicologiques.

Conclusion générale

CONCLUSION :

L'espèce de *Pistacia Atlantica* est largement réponde dans la région de Maghnia, d'après la les recherches qui a montré la richesse de cette espèce en composées phénoliques et flavonoïdes nous a poussé à étudier les composés phénoliques ainsi l'activité antioxydant et antiinflammatoire de cette espèce. Afin d'étudier les effets antioxydante et antiinflammatoire de pistachier de l'Atlas nous avons utilisé la méthode analytique reconnus telle que la capacité antioxydante totale (CAT), réduction de fer (FRAP) et l'activité de piégeage des radicaux libres (DPPH) qui sont considérées comme des analyses plus pertinentes.

Les résultats obtenus ont montré que les feuilles des *Pistacia Atlantica* sont particulièrement riches en composés phénoliques, notamment en acide gallique et acide caféique, deux acides phénoliques reconnus pour leur forte activité antioxydante et antiinflammatoire. Les analyses réalisées ont également révélé une activité biologique notable des extraits, traduisant l'importance de ces composés dans la protection contre le stress oxydatif et les processus inflammatoires au niveau cellulaire.

Ces résultats montrent que le *Pistacia Atlantica* constitue une source naturelle importante de polyphénols, mettant en évidence son intérêt biologique parmi les espèces végétales locales à haute valeur bioactive. Ainsi ces résultats ouvrent la voie à des études futures plus approfondies, visant à établir la relation entre la composition chimique et les différentes activités biologiques.

RÉFÉRENCÉE BIBLIOGRAPHIQUE

RÉFÉRENCÉE BIBLIOGRAPHIE

- Achili, I., Amrani, A., Bensouici, C., Gül, F., Altun, M., Demirtas, I., Zama, D., Benayache, F., & Benayache, S. (2020). Chemical constituents, antioxidant, anticholinesterase and antiproliferative effects of Algerian *Pistacia atlantica* Desf. extracts. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 11, 249–256. <https://doi.org/10.2174/2212798411666200207101502>
- Amaechina, F. C., Ayid, B. A., & Omagbai, E. K. (2007). Pharmacognosy and hypotensive evaluation of *Ficus exasperata* Vahl leaf. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 64, 543–546.
- Amri, M., Meddah, B., Tir-Touil, A., & Touil, A. (2018). Anti-inflammatory activity of leaf extracts of *Pistacia atlantica*. *Pharmacognosy Journal*, 10(2), 245–250.
- Aniszewski, T. (1994). The biological basis of quinolizidine alkaloids in legumes. *Science of Legumes*, 1, 1–24.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., Berker, K. I., & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12, 1496–1547.
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. *Journal of Food Science*, 81(1), R91–R102. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13190>
- Baba Aissa, F. (2000). *Encyclopédie des plantes utiles : flore d'Algérie et du Maghreb*. EDAS.
- Badhani, B., Sharma, N., & Kakkar, R. (2015). Gallic acid: A versatile antioxidant. *RSC Advances*, 5(35), 27540–27557. <https://doi.org/10.1039/C5RA01911G>
- Belhadj, S. (1999). Pistachio situation in Algeria. *FAO-CIHEAM, NUCIS Newsletter*, 8, 30.
- Belhadj, S. (2003). *Les pistacheraies algériennes : état actuel et dégradation*. Centre Universitaire de Djelfa.
- Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C., & Gauquelin, T. (2008). Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. *Botany*, 86, 520–532.
- Benhammou, N., Atik-Bekkara, F., & Kadifkova-Panovska, T. (2007). Antiradical capacity of the phenolic compounds of *Pistacia lentiscus* L. and *Pistacia atlantica* Desf. *Advances in Food Science*, 29(3), 155–161. [DSpace Repository](https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292)
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP). *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- BNEDER. (2015). *Étude portant sur le diagnostic écologique des peuplements du pistachier de l'Atlas et proposition d'un plan d'action pour leur réhabilitation et leur extension* (95 p. + annexes).
- Bors, W., Michel, C., & Stettmaier, K. (1997). Antioxidant effects of flavonoids. *British Journal of Nutrition*, 6, 399–402.
- Boucherit, H. (2018). *Étude ethnobotanique et floristique de la steppe à Hammada scoparia (Pomel) dans la région de Naâma (Algérie occidentale)* (Thèse de doctorat). Université Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
- Bouderbala, R. (2012). *Les dayas à Pistacia atlantica Desf. des hautes plaines du sud algérois (Messaad)* (Mémoire de magister, spécialité écologie et environnement). Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger.

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3^e éd.). Lavoisier, Techniques & Documentation.
- Burte, J.-N. (1992). *Le bon jardinier* (Vol. 3). Éditions Rustica.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P. W., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90, 2580–2595.
- Chaba, B., Chraa, O., & Khichane, M. (1991). Germination, morphogenèse racinaire et rythme de croissance du pistachier d'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). In *Physiologie des arbres et arbustes en milieux arides* (pp. 465–472). Groupe d'Étude de l'Arbre, Paris.
- Cherifi, L., & Hami, A. (2017). *Activité antioxydante et antimicrobienne de Pulicaria odora et Smilax aspera*. Université Mouloud Mammeri, Algérie.
- Choghakhori, R., Abbasnezhad, A., Yazdi, M., & Ahmadvand, H. (2023). Antidiabetic, hypolipidemic, and antioxidant activities of *Pistacia atlantica*: A systematic review and meta-analysis of preclinical studies. *Phytotherapy Research*, 37(9), 3698–3711.
- Congo, M. (2012). *Étude des propriétés antiradicalaires et antiprolifératives des extraits de feuilles et de rameaux de Salvadora persica L.* (Thèse de pharmacie). Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Cotellet, N., Bernier, J. L., Catteau, J. P., Gaydou, E. M., & Wallet, J. C. (1995). Activité biologique de 24 flavones : inhibition de la xanthine oxydase et piégeage des radicaux libres. *INRA*, 359–396.
- Daneshzad, A., & Aynehchi, Y. (1980). Chemical studies of the oil of *Pistacia nuts* growing wild in Iran. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 57, 248–249.
- Dixon, R. A., & Paiva, N. L. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*, 7, 1085–1097.
- Edenharder, R., & Grünhage, D. (2003). Free radical scavenging abilities of flavonoids. *Mutation Research*, 540, 1–18.
- El Hafian, M., Benlamdini, N., Elyacoubi, H., Zidane, L., & Rochdi, A. (2014). Étude floristique et ethnobotanique des plantes médicinales utilisées au niveau de la préfecture d'Agadir-Ida-Outanane (Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 81, 7198–7213.
- Favier, A. (2003). Le stress oxydant. *L'Actualité Chimique*, 17, 501–512.
- Fleuriet, A., Jay-Allemand, C., & Macheix, J. J. (2006). *Composés phénoliques des végétaux*. Presses Polytechniques et Universitaires Normandes.
- Gauthier, R. J. (1998). *Les composés phénoliques des végétaux*. Université de Bordeaux.
- Gershenzon, J., & Croteau, R. (1991). Terpenoids. In *Herbivores: Their interactions with secondary plant metabolites* (pp. 165–219). Academic Press.
- Ghahremani-Meydani, M., Iranshahi, M., & Sahebkar, A. (2023). Anti-inflammatory potential of *Pistacia atlantica* leaf buds. *Phytotherapy Research*, 37(6), 2435–2445.
- Ghalem, B. R., & Benhassaini, H. (2007). Étude des phytostérols et des acides gras de *Pistacia atlantica*. *Afrique Science*, 3(3), 405–412.
- Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes : structures et propriétés biologiques. *Phytothérapie*, 4, 162–169.

- Gholivand, M. B., Rahimi-Nasrabadi, M., Batooli, H., &Ebrahimabadi, A. H. (2010). Chemical composition and antioxidantactivities. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 24–28.
- Giner-Larza, E. M., Máñez, S., Recio, M. C., Giner, R. M., Prieto, J. M., Cerdá-Nicolás, M., &Ríos, J. L. (2001). Oleanonicacid, a 3-oxotriterpene from*Pistacia*, inhibitsleukotrienesynthesis and has anti-inflammatoryactivity. *European Journal of Pharmacology*, 428(1), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S0014-2999\(01\)01291-1](https://doi.org/10.1016/S0014-2999(01)01291-1)
- Gramza, A., & Korczak, J. (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis* L.). *Food Science and Technology*, 16, 351–358.
- Hajjaj, H., El Bouzidi, L., &Chait, A. (2017). Anti-inflammatoryproperties of aqueousextracts of *Pistaciaatlantica*. *Journal of HerbalMedicine*, 7, 23–29.
- Hamel, T., Sadou, N., Seridi, R., Boukhdar, S., &Boulemtafes, A. (2018). Pratique traditionnelle d'utilisation des plantes médicinales dans la population de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Ethnopharmacologia*, 59, 65–77.
- Hashemi, L., Asadi-Samani, M., Moradi, M.-T., &Alidadi, S. (2017). Anticancer activity and phenolic compounds of *Pistaciaatlantica*extract. *International Journal of Pharmaceutical and PhytopharmacologicalResearch*, 7, 26–31.
- Haslam, E. (1998). *Practicalpolyphenolics*. Cambridge UniversityPress.
- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medicalsignificance of flavonoids. *Pharmacology&Therapeutics*, 96, 67–202.
- Karagözler, A. A., Erdağ, B., &Emek, Y. C. (2008). Antioxidantactivity and proline content. *Food Chemistry*, 111(2), 400–407.
- Kechar, K., &Hellal, B. (2016). Évaluation de l'activité antioxydante de *Ballota hirsuta*Benth. *Phytothérapie*, 15, 217–221.
- Kourad, M. (1987). *Possibilité d'extension de l'aire dePistaciaatlanticadans la wilaya de Tlemcen* (Mémoire de fin d'études). ITA, Mostaganem.
- Meddour, M., Sahar, O., &Babkar, A. (2022). Savoirs locaux sur les plantes spontanées chez les populations de la wilaya de Tamanrasset (Sahara central, Algérie). *Vertigo*, 22(1), 1–30. <https://doi.org/10.4000/vertigo.35315>
- Monjauze, A. (1980). Connaissance du Bétoum (*Pistaciaatlantica*Desf.). *Revue Forestière Française*, 4, 357–363.
- Oliveira, A. S., Farias, J. R., Gomes Franco, D. C., Castro da Costa, A. A., Gomes Santos, P., Pinto Silva, M. C., Fernandes Nascimento, F. R., &Meireles Guerra, R. N. (2024). Anti-*Candida*phytochemicals and isolated compounds in Anacardiaceafamily: An updatedreview and in silico analysis. [*Nom de la revue non précisé*], 17 pages.
- oul, F., Belyagoubi-Benhammou, N., Zitouni, A., &Atik-Bekkara, F. (2017). *Antioxidantactivity and phenolic profile of differentorgans of Pistaciaatlantica*Desf. subsp. *atlantica*from Algeria. *Natural ProductsResearch*, 31(6), 718–723. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1217205> [PubMed](#)
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in oxidative stress. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74.
- Prior, R. L., Wu, X., &Schaich, K. (2005). Standardizedmethods for the determination of antioxidantcapacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302.
- Ribéreau-Gayon, P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod.
- Sakat, S. S., Juvekar, A. R., &Gambhire, M. N. (2010). Evaluation of anti-inflammatoryactivity of plant extractsusingalbumindenaturationmethod. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(1), 1–6.

- Tripathi, K. D. (2013). *Essentials of medical pharmacology* (7th ed.). Jaypee Brothers Medical Publishers.
- Vane, J. R., & Botting, R. M. (1998). Mechanism of action of anti-inflammatory drugs. *The American Journal of Medicine*, 104(3), 2S–8S. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(97\)00203-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(97)00203-9)
- Zohary, M. (1952). A monographical study of the genus *Pistacia*. *Palestine Journal of Botany*, 4, 187–228.