

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Blida 1

Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie et Agro-écologie



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master II

En science de la Nature et de la vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et génomique végétale

Thème :

*Étude phytochimique et activités biologiques des
extraits de Quercus ssp.*

Présenté par :

M^{elle} NAFAI SELMA

Devant les membres de jury composé de :

M^{me} KHEDDAR R.	MCA	U. Blida 1	Présidente
M^{me} TAFIFET L.	MCB	U. Blida 1	Promotrice
M^{me} BENTOURA S.	MCB	U. Blida 1	Examinatrice
M^{elle} TEBBAL N.	Doctorante	U. Blida 1	Co-promotrice

Année universitaire

2024/2025



Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH, dont la grâce m'a permis d'accomplir ce travail et d'atteindre mes objectifs.

*J'exprime ma profonde gratitude à ma promotrice, **Mme TAFIFET Lamia**, et à ma Co-promotrice, **Mlle TEBBAL Nesrine**, pour leur encadrement bienveillant, leur disponibilité et leurs conseils éclairés tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je tiens à remercier sincèrement **Mme Kheddar Rokia**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury, ainsi qu'à **Mme Bentoura Sihame**, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail. J'ai eu la chance de bénéficier de ses compétences et de ses connaissances.*

Enfin, je souhaite adresser mes remerciements à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont accompagnée, soutenue, encouragée ou simplement inspirée durant ce parcours. Grâce à leur présence, ce mémoire est bien plus qu'un aboutissement académique : il incarne une expérience humaine riche et marquante.

À chacune et chacun, merci du fond du cœur.





Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

*À ma mère, ma meilleure amie, ma source d'énergie positive, celle qui n'a
jamais*

*Cessé de m'encourager, de me soutenir, et de m'épauler. Ce travail est un
Aboutissement pour elle autant que pour moi, quoi que je dise où que je fasse je
ne*

Saurais point la remercier comme il se doit.

À mon père que je remercie pour ses efforts et ses encouragements.

*À ma grand-mère, ma deuxième maman, Pour tout ce qu'elle a fait pour moi et
pour son soutien et ses efforts et ses encouragements durant toutes mes années
d'études.*

Que Dieu te protège et te garde auprès de moi.

*À mon frère et mes chères sœurs : **Salah, Sarah, Yasmine, Maria.***

*À mes oncles qui m'ont soutenue de toutes les manières possibles et leurs
encouragements : **Kamel, Amine, Mourad, Brahim, Okba, Sidali, Younes***

A toute la famille

Merci à tout



Résumé

Notre travail vise à explorer la richesse phytochimique des feuilles de *Quercus ilex* et *Quercus canariensis* ainsi que leurs activités biologiques, notamment antioxydante, antibactérienne et anti-inflammatoire.

L'extraction a été réalisée à partir de cinq solvants (méthanol, éthanol, acétone, éther de pétrole et eau distillée), suivie d'un criblage phytochimique qualitatif qui a révélé la présence importante de tanins, flavonoïdes, saponines et quinones libres.

L'activité antibactérienne a été évaluée sur six souches pathogènes par la méthode de diffusion en milieu gélosé. Les extraits méthanoliques et acétoniques se sont montrés les plus actifs, en particulier l'extrait méthanolique de *Q. ilex* avec une zone d'inhibition de 17 mm contre *Acinetobacter baumannii* et celui de *Q. canariensis* avec 17 mm contre *Staphylococcus aureus*.

L'activité antioxydante, mesurée par la méthode du DPPH, a montré que les extraits acétoniques et méthanoliques des deux espèces possèdent une capacité notable à neutraliser les radicaux libres, avec des IC₅₀ inférieurs à 100 µg/ml.

Enfin, les tests d'inhibition de la dénaturation des protéines ont mis en évidence un potentiel anti-inflammatoire intéressant des extraits éthanoliques de *Q. ilex* ainsi que des extraits méthanoliques et acétoniques de *Q. canariensis*.

Ces résultats confirment la valeur des deux espèces étudiées comme sources prometteuses de composés bioactifs, ouvrant des perspectives pour leur utilisation en pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.

Mots clés : *Quercus ilex* ; *Quercus canariensis* ; polyphénols ; activité antioxydante ; activité antibactérienne ; activité anti-inflammatoire.

Abstract

Our study aims to explore the phytochemical richness of *Quercus ilex* and *Quercus canariensis* leaves as well as their biological activities, particularly antioxidant, antibacterial and anti-inflammatory activities.

Extraction was performed using five solvents (methanol, ethanol, acetone, petroleum ether and distilled water), followed by qualitative phytochemical screening which revealed the significant presence of tannins, flavonoids, saponins and free quinones.

Antibacterial activity was evaluated on six pathogenic strains by the agar diffusion method. The methanolic and acetonc extracts showed the highest activity, particularly the methanolic extract of *Q. ilex* with an inhibition zone of 17 mm against *Acinetobacter baumannii* and that of *Q. canariensis* with 17 mm against *Staphylococcus aureus*.

Antioxidant activity, measured by the DPPH method, showed that the acetonc and methanolic extracts of both species possess notable capacity to neutralize free radicals, with IC₅₀ values below 100 µg/ml.

Finally, protein denaturation inhibition tests highlighted an interesting anti-inflammatory potential of ethanolic extracts of *Q. ilex* as well as methanolic and acetonc extracts of *Q. canariensis*.

These results confirm the value of both studied species as promising sources of bioactive compounds, opening perspectives for their use in pharmaceutical, cosmetic and agri-food industries.

Keywords :

Quercus ilex ; *Quercus canariensis* ; polyphenols ; antioxidant activity ; antibacterial activity ; anti-inflammatory activity.

ملخص

يهدف عملنا إلى استكشاف الثراء الكيميائي النباتي لأوراق البلوط الأخضر والبلوط الكناري وكذلك أنشطتها البيولوجية، خاصة النشاط المضاد للأكسدة والمضاد للبكتيريا والمضاد للالتهابات.

تم إجراء الاستخلاص باستخدام 5 مذيبات (الميثانول، الإيثانول، الأسيتون، الأثير البترولي والماء المقطر)، متبوعًا بفحص كيميائي نباتي نوعي كشف عن الوجود الكبير للعفص، الفلافونويدات، الصابونين والكويونات الحرة.

تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا على 6 سلالات مُمرضة بطريقة الانتشار في الوسط الهلامي. أظهرت المستخلصات الميثانولية والأسيتونية النشاط الأكثر فعالية، خاصة المستخلص الميثانولي للبلوط الأخضر بمنطقة تثبيط 17 ملم ضد الأسينيتوباكتر البومانية ومستخلص البلوط الكناري بـ 17 ملم ضد المكورات العنقودية الذهبية.

أظهر النشاط المضاد للأكسدة أن المستخلصات الأسيتونية والميثانولية للنوعين تمتلك قدرة ملحوظة على تحييد الجذور الحرة، مع قيم التركيز المثبط الخمسيني أقل من مائة ميكروغرام لكل مليلتر.

أخيرًا، أبرزت اختبارات تثبيط تمسخ البروتينات إمكانية مضادة للالتهابات مثيرة للاهتمام للمستخلصات الإيثانولية للبلوط الأخضر وكذلك المستخلصات الميثانولية والأسيتونية للبلوط الكناري.

تؤكد هذه النتائج قيمة النوعين المدروسين كمصادر واعدة للمركبات النشطة بيولوجيًا، مما يفتح آفاقًا لاستخدامها في المجالات الصيدلانية والتجميلية والصناعات الغذائية الزراعية.

الكلمات المفتاحية :

البلوط الأخضر؛ البلوط الكناري؛ البوليفينولات؛ النشاط المضاد للأكسدة؛ النشاط المضاد للبكتيريا؛ النشاط المضاد للالتهابات.

Liste des abréviations

AC : extrait acétonique

Abs : Absorbance

ATB : antibiotique

Aq : Aqueux

C : Concentration

DMSO : Diméthylsulfoxyde

DPPH : 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl.

E : extrait éthanolique

ED : extrait aqueux (eau distillée)

EP : extrait d'éther de pétrole

Me : extrait méthanolique

R : Rendement

Q. Canariensis : *Quercus Canariensis*

Q. Ilex : *Quercus Ilex*

CI₅₀ : La concentration (g/l) ou l'extrait qui a inhibé la formation de radical de 50%.

I% : Le pourcentage d'inhibition

Liste des figures

Figure (01) : Les différents organes de chêne vert.....	6
Figure (02) : Distribution géographique du Chêne vert (<i>Q. ilex</i>) en Algérie.....	8
Figure (03) : <i>Lymantria dispar</i>	11
Figure (04) : <i>Tortrix viridana</i>	11
Figure (05) : <i>Cerambyx cerdo</i>	11
Figure (06) : Les différents organes du chêne zéen.....	14
Figure (07) : Répartition de chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i>) dans le monde.....	14
Figure (08) : Répartition de chêne zéen (<i>Quercus canariensis</i>) en Algérie.....	16
Figure (09) : Classification des métabolites secondaires.....	20
Figure (10) : Structure chimique des polyphénols.....	21
Figure (11) : Classification des polyphénols.....	22
Figure (12) : Squelette de base des flavonoïdes.....	22
Figure (13) : Principales classes de flavonoïdes.....	23
Figure (14) : Classification des tanins.....	26
Figure (15) : Classification des antioxydants.....	32
Figure (16) : Localisation du parc national de Chréa.....	38
Figure (17) : <i>Quercus ilex</i>	39
Figure (18) : <i>Quercus canariensis</i>	39
Figure (19) : Structure libre et réduite du DPPH.....	42
Figure (20) : Rendement d'extraction des extraits des feuilles de <i>Quercus ilex</i> L.....	47
Figure (21) : Rendement d'extraction des extraits des feuilles de <i>Quercus canariensis</i>	48
Figure (22) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Staphylococcus aureus</i>	51
Figure (23) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Staphylococcus aureus</i>	52
Figure (24) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Escherichia coli</i>	53
Figure (25) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Escherichia coli</i>	53
Figure (26) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	54
Figure (27) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	55

Figure (28) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Klebsiella pneumoniae</i>	55
Figure (29) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Klebsiella pneumoniae</i>	55
Figure (30) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Proteus mirabilis</i>	56
Figure (31) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Proteus mirabilis</i>	57
Figure (32) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus ilex</i> sur <i>Acinetobacter baumannii</i>	57
Figure (33) : Effet antibactérien des extraits de <i>Quercus canariensis</i> sur <i>Acinetobacter baumannii</i>	58
Figure (34) : L'activité antioxydante des extraits de <i>Quercus ilex</i> et l'acide ascorbique.....	60
Figure (35) : L'activité antioxydante des extraits de <i>Quercus canariensis</i> et l'acide ascorbique.....	64
Figure (36) : Effet anti-inflammatoires des extraits acétonique de <i>Quercus canariensis</i> ..	64
Figure (37): Effet anti-inflammatoires des extraits méthanoliques de <i>Quercus ilex</i>	65
Figure (38) : Effet anti-inflammatoires des extraits méthanoliques de <i>Quercus canariensis</i>	66
Figure (39): Effet anti-inflammatoires des extraits éthanoliques de <i>Quercus ilex</i>	66
Figure (40) : Effet anti-inflammatoires des extraits éthanoliques de <i>Quercus canariensis</i>	66
Figure (41): Effet anti-inflammatoires des extraits aqueux de <i>Quercus ilex</i>	67
Figure (42) : Effet anti-inflammatoires des extraits aqueux de <i>Quercus canariensis</i>	68
Figure (43) : Effet anti-inflammatoires des extraits à l'éther de pétrole de <i>Quercus ilex</i> ...	68
Figure (44): Effet anti-inflammatoires des extraits à l'éther de pétrole de <i>Quercus canariensis</i>	69

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les Surfaces forestières occupées par le chêne vert dans quelque pays....	8
Tableau 02 : Caractéristiques botaniques et dendrologiques du Chêne zéen.....	16
Tableau 03 : Quelques exemples de champignons et d'insectes qui s'attaquent au Chêne zéen.....	18
Tableau 04 : Les types d'acide phénolique.....	25
Tableau 05 : Souches bactériennes et leurs références.....	37
Tableau 06 : Sensibilité des souches bactériennes selon le diamètre de la zone d'inhibition.....	43
Tableau 07 : Résultats du screening phytochimique des feuilles de <i>Quercus</i> <i>canariensis</i>	44
Tableau 08 : Résultats du screening phytochimique des feuilles de <i>Quercus ilex</i>	50
Tableau 09 : Valeurs IC ₅₀ d'extrait de <i>Q. ilex</i> et <i>Q. canariensis</i> et de l'acide ascorbique.....	62

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
<i>PARTIE BIBLIORAPHIQUE</i>	
CHAPITRE I : Présentation du chêne vert <i>Quercus ilex</i> L.....	4
I.1. Généralités sur <i>Quercus ilex</i>	5
I.1.1. Historique sur le chêne.....	5
I.1.2. Systématique et classification	5
I.1.3. Description botanique	6
I.1.4.Répartition géographique	7
I.1.5. Ecologie du chêne vert	9
I.1.6. Utilisation traditionnelle	10
I.1.7.Facteurs de dégradation de l'espèce	10
I.2.Généralités sur <i>Quercus canariensis</i>	12
I.2.1 Définition	12
I.2.2.Systématique et classification	12
I.2.3. Description botanique	13
I.2.4. Répartition géographique	15
I.2.5. Ecologie du chêne zéen	17
.....	
I.2.6.Utilisation traditionnelle	17
I.2.7.Facteurs de dégradation de l'espèce	17
Chapitre II : Métabolites secondaires.....	19
II. 1. Généralité	20
II.2. Les composées phénoliques	20
II.3.Classification des polyphénols	21

II.3.1. Flavonoïdes	22
II.3.2. Non flavonoïdes	25
II.4. Polyphénols dans les plantes	27
II.4.1. Intérêt thérapeutique des polyphénols.....	27
Chapitre III : Les activités biologiques	30
III. Les activités biologiques	31
III.1.Activités antioxydant.....	31
III.2.Activité antibactériennes	32
III.3. Activité anti-inflammatoire	34
III.3.1.Définition	34
.....	
III.3.2.Effet anti-inflammatoire des plantes	34
III.3.3.Influence de l'effet inflammatoire sur l'organisme	35
<i>PARTIE EXPÉRIMENTALE</i>	
Chapitre IV : Matériels et méthode	36
IV.1. Lieu de travail	37
IV.2. Matériels	37
IV.2.1. Matériels non biologiques	37
IV.2.2.Matériels biologiques	37
IV.3. Méthodes expérimentales	39
IV.3.1. Séchage et conservation des plantes	39
IV.3.2. Extraction des polyphénols par macération	40
IV.3.3. Détermination du rendement	41
IV.3.4. Analyses qualitatives des extraits	41
IV.3.5.Technique macro méthode	43
IV.3.6.Activités antimicrobiennes	43
IV.3.7.Activité anti-inflammatoire	45
Chapitre V : Résultats et discussion.....	46
V.1. Détermination du rendement	47
V.2. Screening phytochimique	48
V.3.Etude de l'activité antibactérienne	51
V.4.Etudes de l'activité antioxydante	60
V.5. Etude d'activité anti inflammatoire.....	63

Conclusion	70
Références bibliographiques	73
Annexe	84

Introduction

La région méditerranéenne est largement reconnue comme une zone de biodiversité exceptionnelle à l'échelle mondiale, marquée par une coexistence complexe d'écosystèmes et d'espèces diversifiés (**Solomou *et al.*, 2017**). La diversité des plantes est confrontée à diverses menaces importantes, notamment le changement climatique et une surexploitation, qui compromettent la durabilité de ces ressources précieuses (**Martin *et al.*, 2011**).

Depuis des millénaires, les plantes sont une source essentielle de composés bioactifs, fondamentaux pour la médecine traditionnelle et moderne, contribuant au traitement des maladies et à la découverte de nouveaux médicaments (**Boubaker *et al.*, 2012**). Malgré leur immense potentiel, seule une fraction des 300 000 espèces végétales a été étudiée sur les plans phytochimique (15%) et biologique (6%) (**Verpoorte, 2002**).

Cette situation souligne l'urgence de valoriser davantage les plantes aromatiques et médicinales (PAM), une démarche d'autant plus cruciale en Algérie, dotée d'une flore exceptionnelle. L'importance de la phytothérapie est attestée par l'OMS (2003), qui rapporte que 80% de la population mondiale y recourt, et par une pharmacopée humaine riche de plus de 20 000 espèces, dont 50% sont utilisées en industrie pharmaceutique (**Lhuillier, 2007**).

Les extraits végétaux, riches en métabolites secondaires comme les composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes, tanins), représentent un réservoir prometteur pour le développement de nouvelles thérapies (**Karmakar *et al.*, 2011**).

En Algérie, cette pratique ancestrale est enrichie par la position géographique stratégique du pays, facilitant la transmission et l'évolution des savoirs empiriques.

Parmi les espèces végétales d'intérêt majeur, le genre *Quercus* (chênes) est particulièrement reconnu pour ses propriétés thérapeutiques. Ce genre, qui regroupe plus de 450 variétés réparties dans l'hémisphère nord, présente une diversité de compositions chimiques et d'applications médicinales (**Burlacu *et al.*, 2020**).

Notre étude se concentre sur deux espèces essentielles qui se trouvent dans la région de Chréa : le *Quercus canariensis* (chêne zéen) et le *Quercus ilex* L. (chêne vert). Le *Quercus canariensis*, originaire du bassin méditerranéen, suscite un intérêt en raison de ses propriétés phytochimiques et antimicrobiennes, bien que les études systématiques à son sujet soient encore limitées (**Burlacu *et al.*, 2020**). Le *Quercus ilex* L. occupe une place importante dans le patrimoine forestier de l'Algérie, jouant un rôle crucial dans la protection des écosystèmes.

Les propriétés biologiques des plantes dérivent de la diversité de leurs composés phytochimiques, aux effets bénéfiques avérés sur la santé. L'étude de ces composés chez *Quercus canariensis* et *Quercus ilex L.* pourrait révéler des substances aux activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes puissantes, des découvertes essentielles face aux défis contemporains de santé.

En somme, cette étude a pour objectif d'explorer le potentiel phytochimique et les activités biologiques (antioxydante, anti-inflammatoire et antibactérienne) des extraits de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex L.*, collectés dans la région de Chréa. Notre démarche consistera en la détection des composés présents et l'évaluation de ces activités pour les extraits préparés avec cinq solvants différents pour chaque plante, sans inclure de dosage spécifique.

Ce travail ambitionne de combler les lacunes actuelles et de fournir une base scientifique solide pour leur utilisation potentielle en médecine. Le manuscrit de ce projet est structuré en plusieurs parties :

- Une étude bibliographique sur les espèces et leurs métabolites secondaires.
- Un volet expérimental détaillant l'extraction avec cinq solvants, le screening phytochimique qualitatif, et l'évaluation des activités antioxydante, anti-inflammatoire et antibactérienne.
- La présentation et la discussion des résultats.

Nous concluons notre travail par une synthèse des résultats majeurs et proposerons des perspectives pour de futures recherches.

CHAPITRE I :
Présentation du chêne vert
Quercus ilex L.

I.1. Généralités sur *Quercus ilex*

I.1.1. Historique sur le chêne

L'origine du mot « Chêne remonte au gaulois « Cassinu », qui a ensuite évolué en latin sous la forme Casnus », puis en vieux français avec le terme « Chasne (**Dujardin, 2010**). Le terme chêne désigne plusieurs espèces d'arbres et d'arbustes qui appartiennent au genre *Quercus* , ainsi qu'à quelques genres connexes de la famille des Fagacées, tels que Cyclobalanopsis et Lithocarpus.

Selon **Antoine Kremer (2002)**, l'analyse des gènes de chênes et des pollens fossiles a révélé que lors des précédentes périodes glaciaires, certaines populations de chênes ont perduré dans des zones refuges qui sont aujourd'hui en Espagne, en Italie et dans les Balkans, ce qui a contribué à la reconstitution des populations actuelles d'Europe.

Les premières empreintes de chênes, mises en évidence à partir de restes fossiles découverts en Amérique du Nord, datent de l'Oligocène, il y a environ 35 millions d'années. La diversification du genre *Quercus* connaît une expansion significative à la fin du Tertiaire, et il est généralement admis que la majorité des espèces actuelles ont émergé dès le Pliocène, il y a environ 10 millions d'années. Il est probable que la région de la diversification des genres se trouve en Asie du Sud-Est ou en Amérique du Nord. De nouvelles espèces ont émergé en réponse à des changements climatiques majeurs survenus au cours de l'ère tertiaire, et elles sont demeurées limitées aux latitudes méridionales. Un nombre restreint d'espèces était inclus dans la forêt mixte de conifères et de feuillus « transcontinentale » qui s'étendait de façon ininterrompue de l'Eurasie à l'Amérique du Nord jusqu'à la fin de l'ère tertiaire (**Manos et Stanford, 2001**).

I.1.2. Systématique et classification

La taxonomie du Chêne vert a fait l'objet de nombreuses études. La grande diversité morphologique de cette espèce a mené à une classification systématique extrêmement complexe et indécise (**Barbero, 1980**).

D'après **Nixon (1993)**, la classification de cette plante est la suivante :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Spermatophyta

- **Sous-embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Sous classe** : Archichlamydeae
- **Ordre** : Fagales
- **Famille** : Fagaceae
- **Genre** : *Quercus*
- **Espèce** : *Quercus ilex*

I.1.3. Description botanique

Quercus ilex est un arbre de provenance méditerranéenne à feuillage persistant qui peut grandir jusqu'à 25 mètres de hauteur. La couleur de l'écorce est grise. Les feuilles, qui peuvent atteindre jusqu'à 7 cm de long et sont ovale à en forme de lance avec un bout acéré, sont rigides et dentelées. Elles arborent une teinte vert sombre et un éclat sur leur face supérieure, tandis que la face inférieure est couverte de poils gris-vert. Les fleurs sont très petites en chatons. Les fruits sont des glands étroits et acérés qui se trouvent dans des cupules courtes et recouvertes d'écailles (**Figure 01**), (Bayer *et al*, 2005).

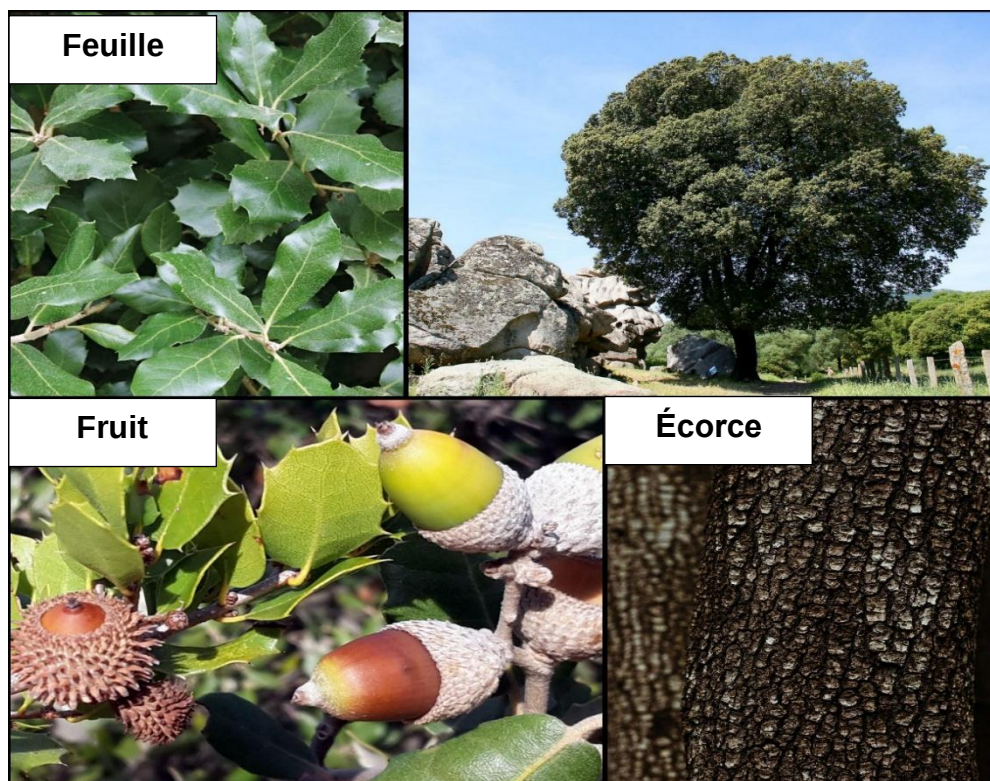


Figure (01) : Les différents organes de chêne vert

I.1.4.Répartition géographique

I.1.4.1.Dans le monde

L'espèce d'arbre *Quercus ilex* L., communément appelée chêne vert, présente une répartition géographique très étendue allant de l'Himalaya à la Grande-Bretagne et couvrant une large portion du bassin méditerranéen (**Tableau 01**). Avec sa fréquence élevée, cette espèce est l'un des arbres de première importance. Il est localisé principalement dans la partie ouest de la région méditerranéenne. Dans le patrimoine forestier de l'Afrique du Nord, le chêne vert est l'une des espèces les plus dominantes et il constitue la base de la forêt montagnarde (**Benia, 2010**).

Tableau (01) : Les Surfaces forestières occupées par le chêne vert dans quelque pays.

Pays	Surfaces
Espagne	2890.000 ha
Portugal	530.000 ha
France	350.000 ha
Italie	380.000 ha
Tunisie	80.000 ha
Algérie	680.000 ha
Maroc	134.000 ha

Source : (Haichour, 2009).

I.1.4.2.En Algérie

En Algérie, le chêne vert couvre une vaste portion de la surface forestière, approximativement 680.000 hectares. On le retrouve partout, que ce soit sur l'Atlas saharien ou l'Atlas tellien où il crée de splendides forêts en Kabylie et sur les hauteurs de Tlemcen. Les chênaies les plus significatives se trouvent en Oranie, où elles forment des peuplements purs ou mélangés avec le pin d'Alep dans les régions de Tiaret et Saïda. On le trouve sous forme de futaies anciennes dans la région de Tlemcen (**Figure 02**) (**Koumiche, 2016**).

On le retrouve à l'est dans Djebel Aurès, où il coexiste avec le pin d'Alep. C'est notamment observable dans les forêts de Belezma, Bou-Arif, Sgag et Oued Fedala (**Benia, 2010**). Il s'étend au cœur du pays, où il rivalise avec le pin d'Alep ; on le trouve sur les pentes

dégradées de l'Atlas Métidjien sous forme de taillis. Dans les zones de Tablat et Sour-El Ghozlan, on trouve des taillis de qualité inférieure, tandis qu'à Tenès, on peut découvrir de magnifiques futaies qui nécessitent un bon entretien pour être préservées (Haichour, 2009).

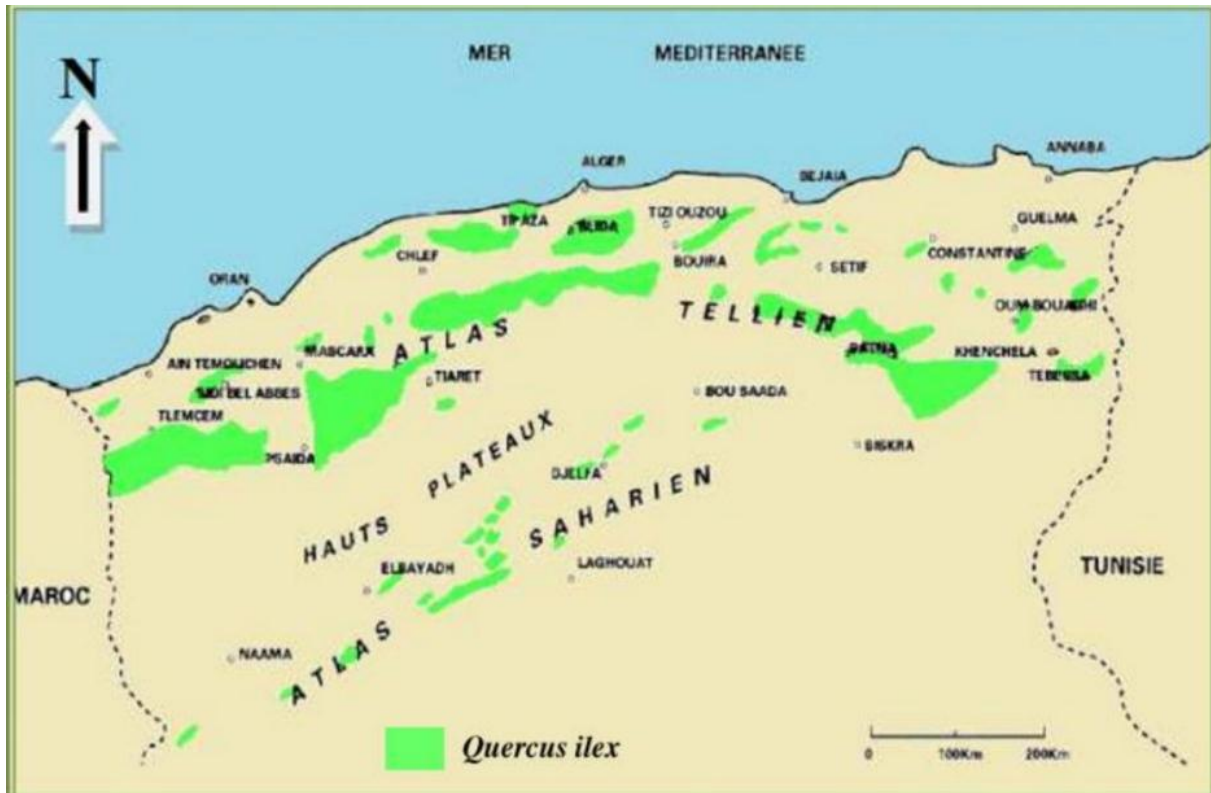


Figure (02) : Distribution géographique du Chêne vert (*Q. ilex*) en Algérie (Haichour, 2009).

I.1.5. Ecologie du chêne vert

Une des raisons majeures de la prospérité du chêne vert en région méditerranéenne est sa capacité exceptionnelle à résister aux contraintes écologiques et hydriques. Le chêne vert possède plusieurs caractéristiques biologiques qui lui garantissent sa survie et son bon fonctionnement durant les périodes de sécheresse. De ce fait, en plus de son enracinement profond, le chêne vert a la capacité de réagir à une sécheresse intense en diminuant son évapotranspiration (Barbero *et al.*, 1992 in Berrchi, 2011).

Les facteurs écologiques majeurs qui agissent sur son développement sont : les facteurs climatiques et les facteurs édaphiques.

I.1.5.1. Facteurs climatiques

- **Les exigences thermiques**

Le chêne vert peut tolérer des températures minimales « m » allant de -3° C à +7° C, avec une limite inférieure extrême de - 15° C. Il supporte des températures extrêmes «M » pouvant aller jusqu'à 42° C (**Dahmani, 1997, Saidani, 2011**). L'optimal de croissance du chêne vert se situe dans une fourchette de température annuelle moyenne allant de 10° C à 16° C, avec une préférence pour 13 °C. Toutefois, il est vulnérable aux gelées, surtout lors de la phase de semis (**Saadoun, 1989 , Hellali et Moussaoui, 2016**).

- **Les exigences pluviométriques**

Selon **Boudy (1952)**, le chêne vert prospère de manière optimale dans les zones humides où la pluviométrie est d'au moins 700 à 1200 mm, cependant il parvient à subsister dans le sud avec une précipitation allant jusqu'à 300 mm.

I.1.5.2. Les exigences édaphiques

On peut définir le Chêne vert comme une essence plastique. On dirait qu'il est insensible à la composition chimique du substrat, étant donné sa présence sur tous les types de substrats, à l'exception des sols compacts, asphyxiants ou saturés, où ses racines sont incapables de s'infiltrer (**Koumiche, 2016**). Avec un sol profond, le chêne vert développe une racine pivotale, tandis que dans un sol moins profond, ses racines se répandent et l'arbre devient buissonnant (**Regimbeau, 1979, Koumiche, 2016**).

I.1.6. Utilisation traditionnelle

En raison de ses composants actifs tels que les tanins, les mucilages et la pectine, le chêne vert est largement utilisé à des fins médicinales à l'échelle mondiale (**Beaulieu et Lamant, 2006**).

I.1.6.1. Feuilles

Sont généralement des propriétés antiseptiques, étaient utilisées en quantités importantes lorsqu'il y avait un risque de gangrène pour un membre. On leur prêtait la capacité d'interrompre la propagation de l'infection, notamment dans les cas de pertes blanches, de métrites, d'angines, de pharyngites et de stomatites. Cette plante est

bénéfique pour traiter les gastralgies internes, ainsi que pour soigner efficacement les hémorroïdes, les inflammations oculaires, les engelures et les fistules anales.

I.1.6.2. Glandes

Ces remèdes sont employés dans le traitement de diverses affections telles que les hémorragies, la tuberculose, les gastralgies, les pertes blanches, la diarrhée, l'incontinence urinaire et la faiblesse générale. Les Amérindiens ont utilisé la mousse verte se développant sur les glands immergés dans la boue afin de soigner les infections.

I.1.6.3. Ecorce

Est astringente grâce à sa richesse en tanins, ce qui en fait un excellent remède

Topique pour combattre l'eczéma et diverses autres maladies cutanées.

Généralement bien Tolérée par la peau, elle ne provoque pas d'irritation. Elle est aussi antiseptique, antiinflammatoire et hémostatique.

I.1.7.Facteurs de dégradation de l'espèce

I.1.7.1. Facteurs abiotiques

- **Incendies**

D'après **Boudy (1950)**, **Hellali et Moussaoui, 2016**, le chêne vert est moins susceptible d'être affecté par le feu. Dans les forêts, où le sous-bois est clairsemé et de dimensions modestes, le feu se limite généralement à traverser la zone, se contentant d'incendier les arbres.

I.1.7.2. Les facteurs biotiques

Certaines espèces de champignons phytopathogènes parasitent le *Quercus ilex*, causant des dommages considérables. Parmi les maladies cryptogamiques, on peut mentionner les polypores qui, bien qu'elles ne s'attaquent généralement qu'aux arbres en déclin, peuvent pénétrer dans des arbres en bonne santé. Il s'agit de Polypores dryadens, qui entraîne la décomposition blanche à la base des chênes. Nous mentionnons aussi la maladie du blanc des chênes, ou l'Oïdium, qui freine le développement des feuilles et entrave la production de chlorophylle (**Koumiche, 2016**).

Et également par des insectes considérés comme les principaux prédateurs des végétaux, qui provoquent d'importants dommages aux cultures et aux forêts (**Belabbas, 2010**). Ces nuisibles appartiennent à diverses catégories et manifestent des comportements variés tels que les Phyllophages comme le *Lymantria* (**Figure 03**), le *Tortrix viridana* (**Figure 04**) ainsi que les xylophages cas du *Platypus cylindrus*, *Cerambyx cerdo* (**Figure 05**).



Figure (03) : *Lymantria dispar*.

Figure (04) : *Tortrix viridana*.

Figure (05) : *Cerambyx cerdo*.

I.2. Généralités sur *Quercus canariensis*

I.2.1 Définition

Quercus canariensis, présent dans le pourtour méditerranéen, représente l'une des espèces d'arbres les plus significatives, couvrant environ 65 000 hectares en Algérie. Il présente un vaste polymorphisme, résultant de sa grande variabilité génétique naturelle qui est influencée par divers facteurs externes et internes (**Hamidouche, 2010**). Cet arbre constitue également une source phytogénique de composés organiques volatils hautement réactifs (**Welter et al., 2012**).

I.2.2. Systématique et classification

La classification du chêne zéen est sujet d'un grand débat entre les botanistes à cause de son Polymorphisme foliaire (**Emberger.1939 ; Maire.1961 ; Quézel et Santa.1962**).

La classification la plus commune est : (**Ourlis.2001**)

- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous-Embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Ordre** : Fagales
- **Famille** : Fagacées
- **Sous-Famille** : Quercucinéas
- **Genre** : *Quercus*
- **Sous-Genre** : Cerris
- **Espèce** : *Quercus canariensis Willd*

I.2.3. Description botanique

Les caractéristiques botaniques et dendrologiques principales du chêne zéen ont été largement décrites par plusieurs auteurs. Les travaux de **Camus (1939)**, **Boudy (1950, 1952, 1955)**, **Maire (1961)**, **Quézel et Santa (1962)**, **Quézel et Bonin (1980)**, et **Messaoudène (1996)** sont présentés dans la **Figure (06)** et synthétisés dans le **Tableau (02)**.

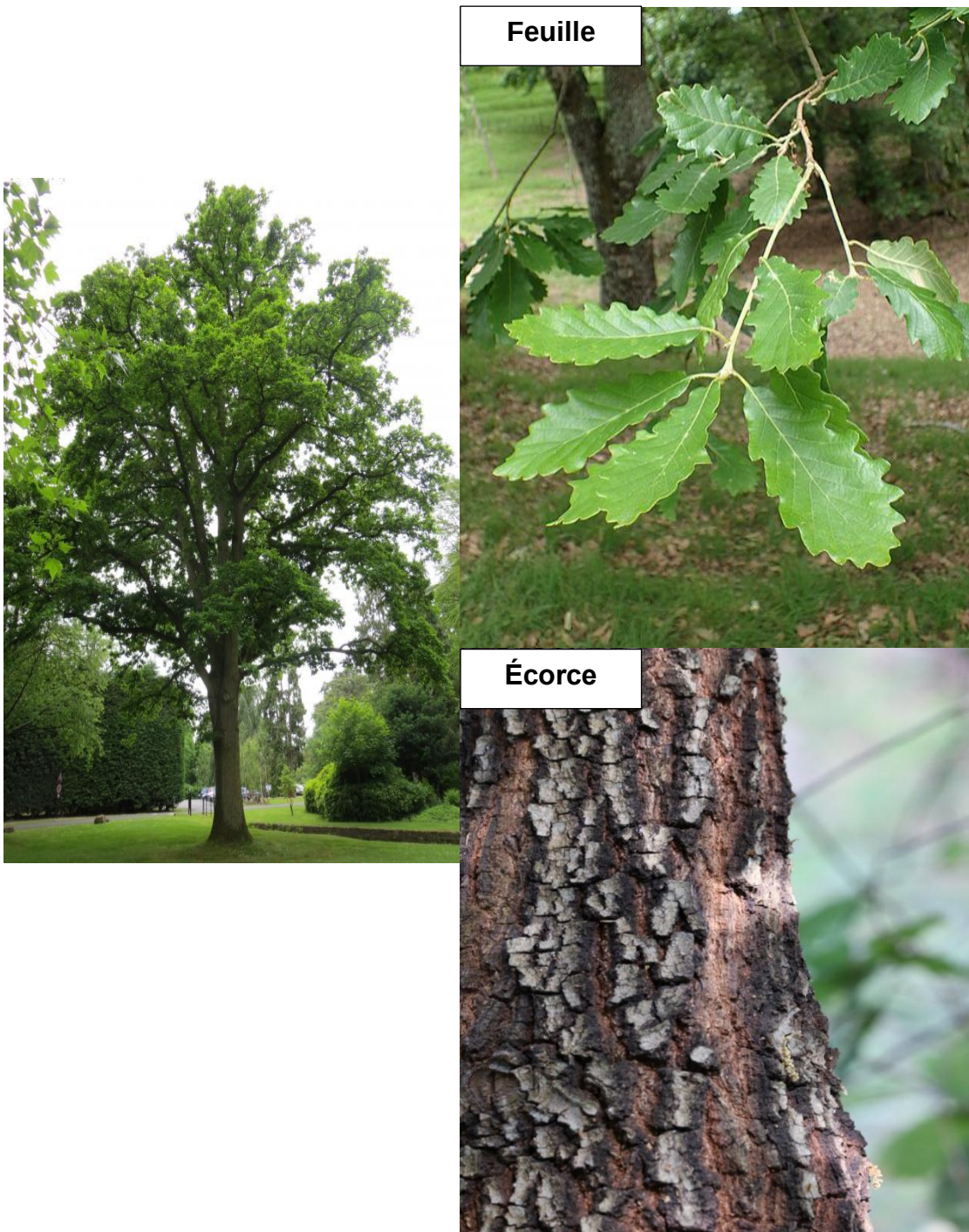




Figure (06) : Les différents organes du chêne zéen

Tableau (02) : Caractéristiques botaniques et dendrologiques du Chêne zéen

Désignation	Caractéristiques
Hauteur	De 20 à 30 m
Houppier	Très développé
Circonférence	6 m à 1.30 m
Ecorce	Couleur foncée et profondément fissuré
Fût	Allant jusqu'à 20 m et généralement unique
Rameaux	Abondant, fort et tomenteux
Feuilles	Caducue à limbe plus au moins découpées et pubescente et polymorphe : ovales, obvale, oblongues et elliptiques 10 à 15 cm sur 5 à 8 cm
Bourgeons	Étroit, conique, protégé par des écailles
Inflorescence	Essence monoïque, fleurit du mois d'avril à mai, dès l'âge de 30 ans
Enracinement	Pivotant, profond et puissant.
Fruits	Ce sont des glands indurés enchâssés dans une cupule composée d'écailles cylindrique, solitaire ou en groupe, agglomérés par 2 à 3 glands sur un pédoncule.
Fructification	Abondante, annuelle et régulière, à partir de l'âge de 30 ans et se situe d'octobre à novembre
Accroissement	Croissance en hauteur : estimé de 1.2 à 1.5 m/an. Croissance radiale : oscille de 1 à 1.5cm /an (2 cm en sol profond).
Régénération	Voie sexuée : par semis naturel ou artificiel Voie végétative : par rejets de souche après coupe ou incendie
Longévité	Dépassent 200 ans

II.2.4. Répartition géographique

II.2.4.1. Dans le monde

La distribution du chêne zéen se restreint à la rive sud-occidentale du bassin méditerranéen dans le territoire ibéro maghrébin (Achahl *et al*, 1980 ; Tassin, 2012). La zone de répartition est située dans la péninsule ibérique, à l'est et au sud de l'Espagne, au Portugal, en Afrique du Nord, en Algérie, au Maroc, ainsi que dans les montagnes tunisiennes et parfois dans le sud-est de la France (Zulueta, 1980 ; Cebalos et Ruiz de la Terre, 1971 ; GBIF.org, 2019 ; Aabdeldjalil, 2019). C'est en Algérie que l'on peut observer de magnifiques peuplements de chênes verts (Boudy, 1950 ; Laribi, 2000). Tel qu'indiqué dans la Figure 07, on peut observer la distribution mondiale du chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd).

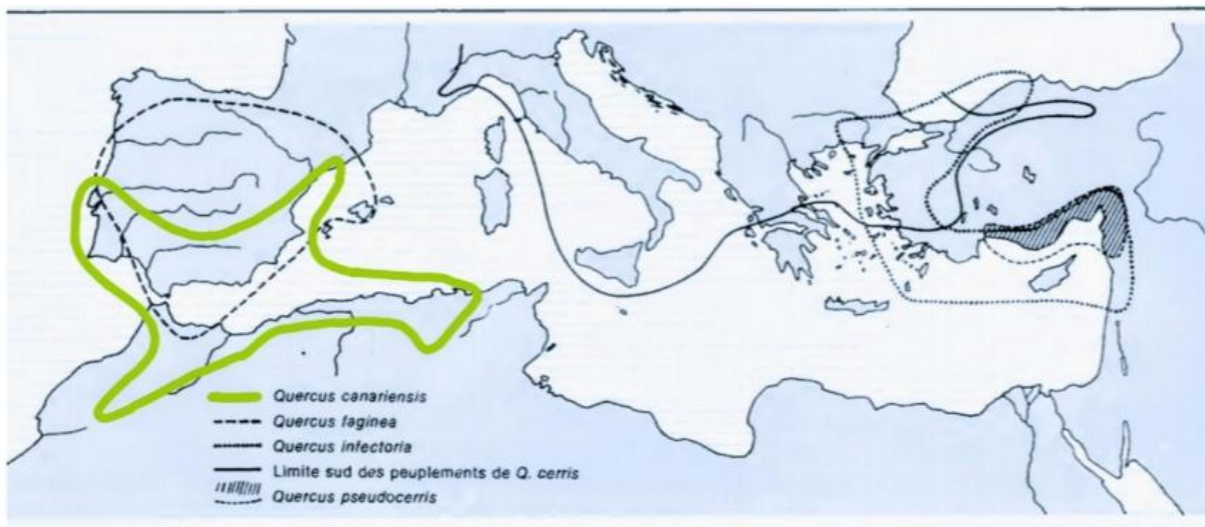


Figure (07) : Répartition de chêne zéen (*Quercus canariensis*) dans le monde (Quézel et Bonin, 1980).

II.2.4.2 En Algérie

En Algérie, le chêne zéen a une présence montagnarde significative, s'étendant sur 6500 hectares (Messaoudene et Tessier, 1991) et couvrant presque l'intégralité des massifs montagneux du nord. On observe principalement les peuplements les plus significatifs dans la région numidienne (Boudy, 1952), notamment de magnifiques et vigoureux peuplements basés sur le *Quercus canariensis* qui s'étendent de la Kabylie à la frontière tunisienne (Zerizer A. et Mensseri A., 2003). On note également leur présence en petite Kabylie (massif des Babor, Tamesgida, Kefrida, Tassentout) sur la partie orientale de la grande Kabylie plus

précisément dans la forêt d'Akfadou et Ath-Ghobri (Laribi et al., 2008 ; Messaoudene et al., 2008).

On les identifier également dans la région de Jijel (forêt de Guerouche), à Annaba (forêt de l'Edough), à l'extrême et sur la montagne Medjerda djebel El-Chora qui est en continuité avec la Koumrie en Tunisie, à El Taref (Gourak) ainsi que dans la forêt domaniale d'Ouled Bechiche à Souk Ahras. On localise des populations à l'état éparpillé dans les régions de Tenes, Thniet Elhad, Chercell, Chréa, Djurdjura, l'Aures et le Hodna (Maire, 1961 ; Medour, 2010). On note donc la présence de boisements moins significatifs à Skikda (El-Koll) et à Annaba (l'Edough), et des zones boisées très limitées sont réparties sur presque l'ensemble des chaînes montagneuses algériennes (Quézel, 1956). L'illustration suivante présente la distribution du chêne zéen (*Quercus canariensis*) en Algérie (Figure 08).

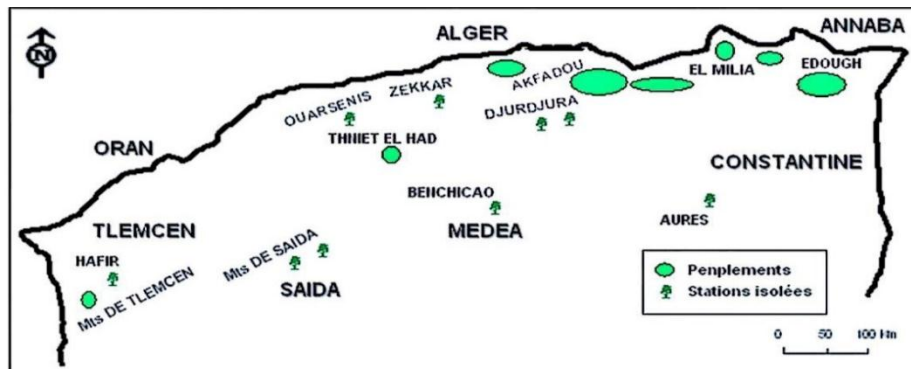


Figure (08) : Répartition de chêne zéen (*Quercus canariensis*) en Algérie (Rabhi.K, 2011).

1.2.5. Ecologie du chêne zéen

D'un point de vue écologique, le chêne zéen présente des exigences très strictes et ne développe des peuplements que dans des habitats humides recevant des quantités importantes de précipitations. En revanche, il ne tient pas compte de la nature physico-chimique du sol, son déterminisme est principalement d'ordre bioclimatique (Achhal et al., 1980 et Zine El Abidine, 1988). On observe une tendance marquée à l'envahissement des peuplements par d'autres essences, en particulier le chêne liège (Seigue, 1985), ce qui favorise sa localisation principalement sur les hauteurs. Aux basses altitudes on trouve le chêne zéen dans les dépressions cuvettes ou en taches dans les ravins à bilan hydrique relativement favorable ou

encore sur les versants exposés au nord (Quézel, 1956 ; Messaoudene, 1996 ; Zine El Abidine, 1988).

I.2.6.Utilisation traditionnelle

Le *Quercus* est largement employé en phytothérapie depuis de nombreuses années pour traiter diverses affections, notamment les troubles gastro-intestinaux, les inflammations de la muqueuse buccale, ainsi que pour ses propriétés antidotes aux alcaloïdes toxiques et pour réguler la transpiration des pieds. Les bourgeons de cette plante présentent également des propriétés en gemmothérapie, contribuant à combattre la fatigue, à stimuler la corticosurrénale, et à agir comme un tonique général et sexuel (Hody, C.d, 2016).

I.2.7.Facteurs de dégradation de l'espèce

I.2.7.1.Facteurs abiotiques

- **Incendies**

Les incendies ont un impact significatif sur la région méditerranéenne, et sa vulnérabilité au feu est étroitement liée à la configuration et à la composition botanique de ses peuplements (Seigue, 1985). Il est observé que les forêts de chênes à feuilles caduques font partie des types de forêts qui ont été altérées en raison de la dégradation causée par les incendies. Il en va de même pour les formations végétales des régions d'Afrique du Nord, d'Espagne et du Portugal, qui ont souvent été altérées pour laisser place à des forêts et maquis de chênes lièges (Quézel, 1956).

Toutefois, Boudy (1955) indique que les forêts exclusivement de chêne zéen sont peu sensibles au feu. Cependant, lorsqu'elles sont mélangées avec le chêne liège, elles subissent d'importants dégâts lors des incendies. On décrit le chêne zénien comme étant pyrolabile, ce qui signifie qu'il possède une écorce fine et qu'il est particulièrement vulnérable au feu. C'est pourquoi la zénaie ne couvre actuellement qu'une petite portion de son habitat écologique naturel (Le Houerou, 1974).

I.2.9.2.Les facteurs biotiques

Le chêne zéen est vulnérable à diverses maladies causées par des agents pathogènes, des champignons et des insectes xylophages (Tableau 03). Certaines de ces causes entraînent une annihilation complète de l'arbre, tandis que d'autres provoquent une diminution de sa

croissance et une dégradation de la qualité technologique du bois. Selon **Smail (1989)**, **Tafer (2000)**, l'oïdium est la maladie la plus répandue et sévère touchant les chênes. Dans son étude de 1994 sur l'écologie des macromycètes lignicoles, Smail décrit une variété de champignons qui s'attaquent au bois du Chêne zéen. Quant à **Mansour (1984)**, il met en évidence que l'agent inféodé des fagacées est le *Microsphaera alphitoïdes*.

Tableau (03) : Quelques exemples de champignons et d'insectes qui s'attaquent au Chêne zéen.

Champignons	Insectes
<i>Fomesfomentarius</i>	<i>Cerambysheros</i>
<i>Tometesversicolor</i>	<i>Lymantriadispar</i>
<i>Trichamptumabietinum</i>	<i>Catocala nymphaea</i>
<i>Stereumhirsutum</i>	<i>Euproctischresoraea</i>
<i>Caloporustaxicola</i>	<i>Tortrix viridana L.</i>

Chapitre II :
Métabolites secondaires

II. Métabolites secondaires

II. 1. Généralité

La phytochimie, également désignée sous le terme de chimie des végétaux, constitue une discipline scientifique consacrée à l'étude de la structure, du métabolisme et des fonctions des composés naturels d'origine végétale, ainsi qu'aux méthodes d'analyse, d'extraction et de purification de ces derniers. Étroitement associée à la pharmacognosie, qui s'intéresse aux matières premières et aux substances biologiques à potentiel thérapeutique, elle met en évidence l'importance de ces métabolites tant pour le végétal que pour l'être humain. En effet, présents de manière inégale dans les différentes parties de la plante, ces composés sont à l'origine de ses propriétés biologiques et pharmacologiques. Les métabolites secondaires sont généralement regroupés en trois grandes classes : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes (**Figure 09**), chacun de ces groupes rassemblant une grande diversité de molécules dotées d'activités biologiques multiples (**Mansour, 2009**).

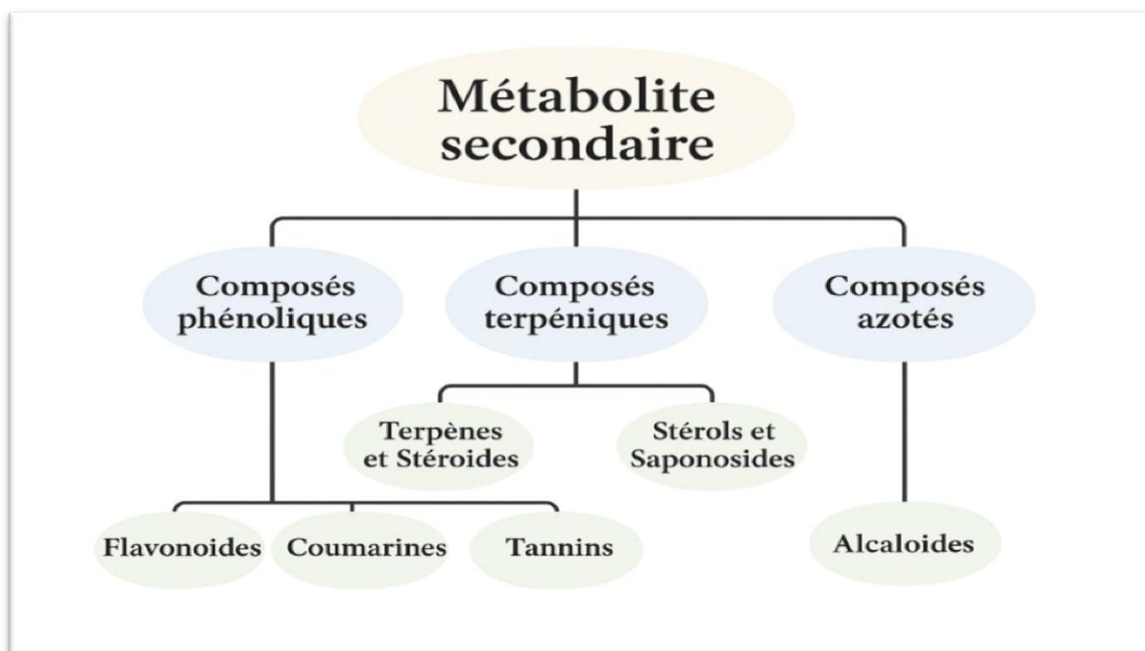


Figure (09): Classification des métabolites secondaires (**Original**)

II.2. Les composées phénoliques

Ces composés sont communément désignés sous les termes de « polyphénols » ou « composés phénoliques », et regroupent environ 8 000 molécules différentes. Ils se retrouvent dans toutes les parties des plantes supérieures, à savoir les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits (Siham, 2021). Les polyphénols se distinguent par la présence d'un noyau benzénique lié directement à un groupe hydroxyle (Figure 10), qu'il soit libre ou impliqué dans une autre fonction (éther, ester, hétéroside) (Koudou, 2009).

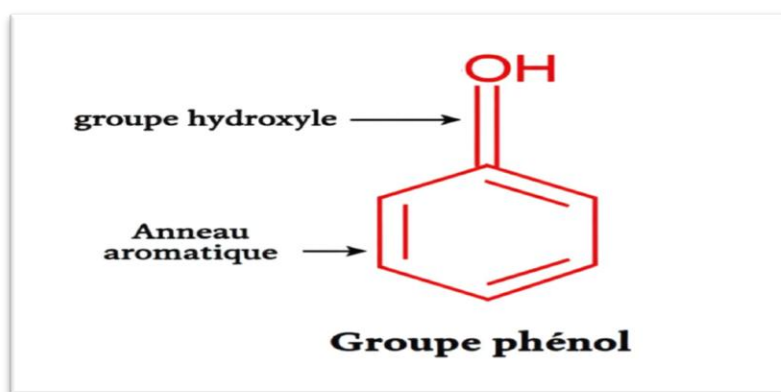


Figure (10) : Structure chimique des polyphénols (Sobiesiak, 2017)

Les antioxydants les plus présents dans l'alimentation sont les polyphénols, leur apport alimentaire total pouvant atteindre 1g /jour, ce qui dépasse largement celui de toutes les autres catégories de composés phytochimiques et antioxydants alimentaires (Rezgui, 2020).

II.3. Classification des polyphénols

Les polyphénols peuvent être classés en deux catégories principales : Les non-flavonoïdes, dont les principaux composés incluent les acides phénoliques, les stilbènes, les tanins, les lignines, les lignanes et les coumarines (Hoffmann, D. 2003), ainsi que les flavonoïdes, qui se caractérisent par les flavones, flavanones, flavonols, isoflavonones, anthocyanines, proanthocyanidines et flavanols (Figure 11).

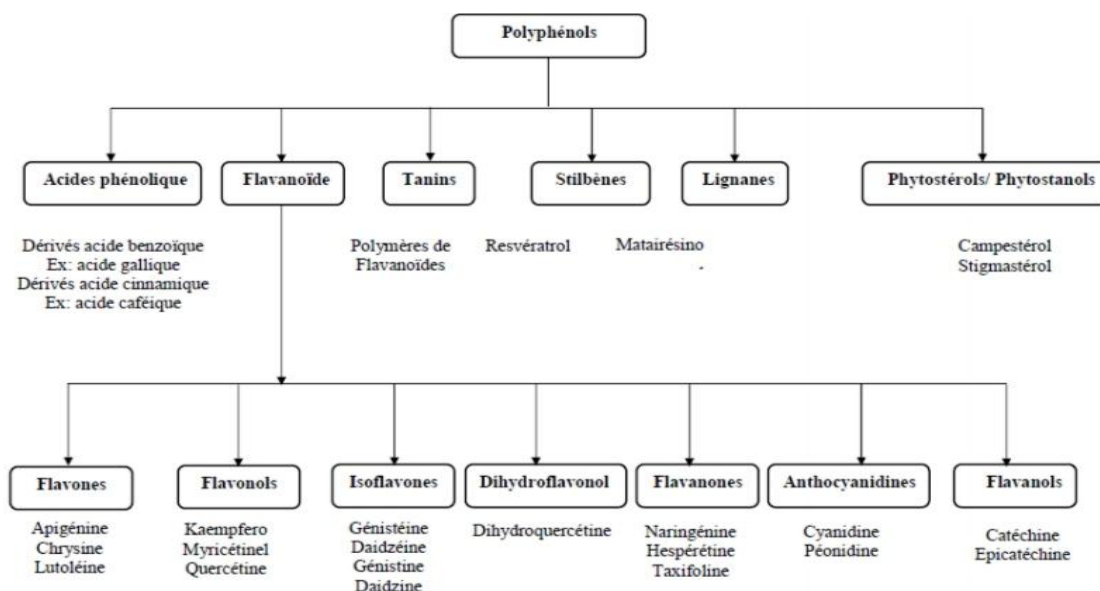


Figure (11) : Classification des polyphénols (Laouini, 2014).

II.3.1. Flavonoïdes

Le mot « flavonoïde » tire son origine du latin « flavus », signifiant jaune (Ribereau-gayon, 1968). Il englobe une vaste variété de composés naturels faisant partie de la famille des polyphénols (Seyoum *et al.*, 2006), (Figure 12). Les flavonoïdes sont largement reconnus comme étant des pigments présents dans la plupart des végétaux, fréquemment associés à la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (Bruneton, 1999). Ces composés présentent des variations à la fois quantitatives et qualitatives en fonction du stade de développement de la plante (Fritch et Griesbach, 1975), ce qui justifie en grande partie leur attrait commercial dans les secteurs de l'industrie alimentaire et des colorants.

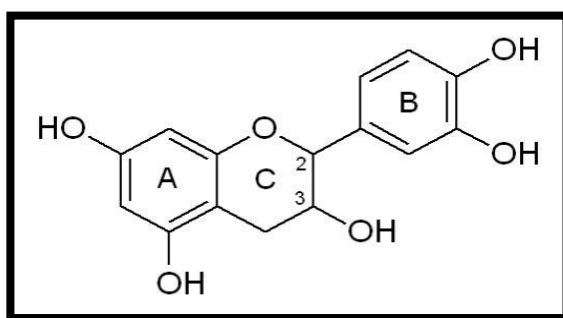


Figure (12) : Squelette de base des flavonoïdes.

Ils présentent également certaines vertus médicinales (Vauzour *et al.*, 2001). Ces composés peuvent être divisés en deux catégories en fonction de la présence (flavonoïdes sensu stricto) ou de l'absence (flavonoïdes sensu lato) d'une fonction cétone sur la chaîne tri carbonée reliant les deux noyaux aromatiques. Les flavonoïdes sensu stricto présentés dans la (Figure 13) regroupent les flavonols, flavanones et flavanols ainsi que les flavanones et isoflavones.

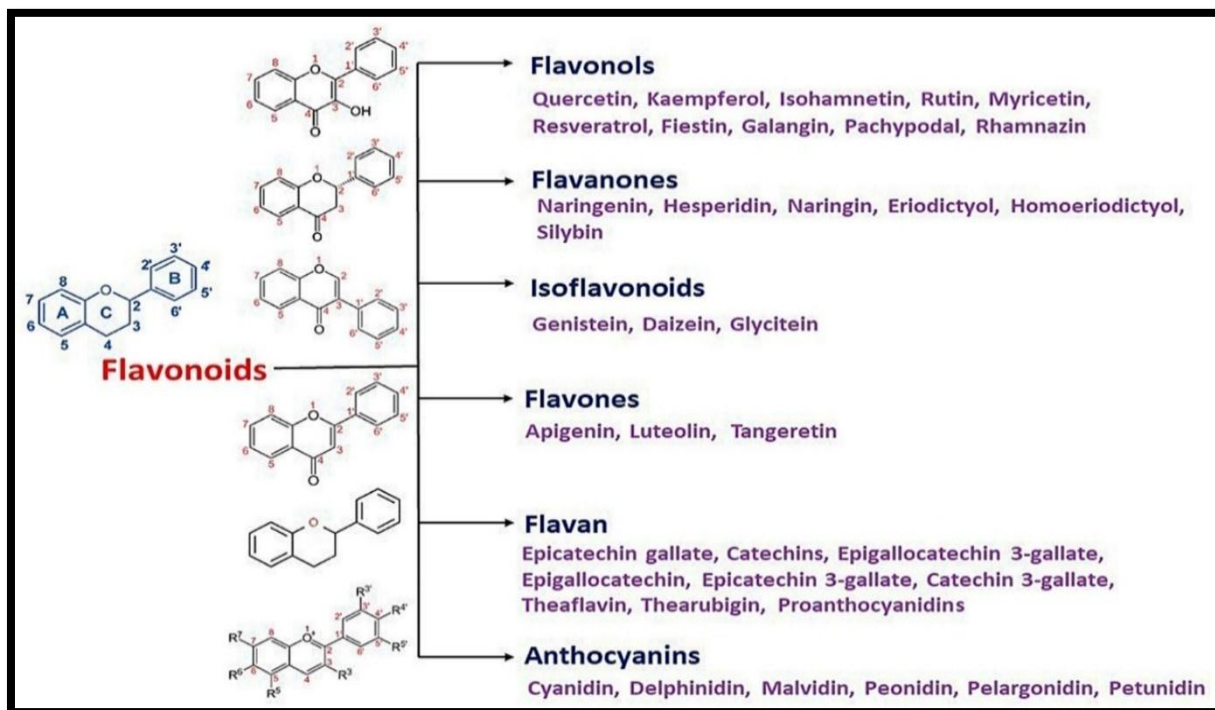


Figure (13): Principales classes de flavonoïdes (Al Aboody, M. S ; Mickymaray, S, 2020).

II.3.1.1. Flavonols

Les flavonols se distinguent par une liaison double en position 2-3 et la présence d'un groupe hydroxyle en C3. Dans le règne végétal, les flavonoïdes sont omniprésents, leur teinte allant du blanc au jaune. On les retrouve principalement sous forme de quercétine, de kaempférol et de myricétine. Les composés qui s'accumulent dans les tissus végétaux se présentent presque toujours sous la forme glycosylée conjuguée.

Les flavanols sont présents en grande quantité dans les fruits et légumes, toutefois, la source alimentaire la plus riche en flavanols est sans doute le thé (Del Rio, 2010).

II.3.1.2. Flavones

Ces molécules sont étroitement apparentées aux flavonols, se distinguant uniquement par l'absence d'hydroxylation en position 3 du cycle C. Ces composés sont principalement

présents dans l'alimentation sous forme d'apigénine et de lutéoline. Contrairement aux flavonols, les flavones sont moins couramment présentes dans les fruits et les légumes. Ainsi, leur consommation alimentaire est extrêmement réduite d'après (**Fraga, 2009**).

II.3.1.3.Flavanones

Ces molécules se distinguent par l'absence de liaison double en positions 2 et 3 et par la présence d'un centre asymétrique à la position 2. Les agrumes, qui sont réputés pour leur forte concentration en flavanones, demeurent la source principale de ces composés. Les oranges amères, citrons, pamplemousses, mandarines, clémentines et oranges douces sont tous des membres de la famille des agrumes (**Tomas-Barberan, 2000**).

II.3.1.4.Flavan-3-ols ou flavanols

Ces molécules présentent une hydroxylation en C3 et sont définies par l'absence du groupe carboxyle en C4. On les trouve en grande quantité dans les fruits tels que les abricots, les cerises, les raisins et tous les fruits colorés (**Fraga, 2009**).

II.3.1.5.Isoflavones

Les isoflavones sont perçues comme des variantes des flavones et constituent une sous-catégorie majeure et distincte des flavonoïdes (**Bouheroum, 2007**). La fixation du cycle B à C3 au lieu de C2. Selon **Fraga (2009)**, leur distribution dans le règne végétal est extrêmement restreinte.

II.3.1.6.Anthocyanes

Les anthocyanes, du grec « Anthos » signifiant fleur et « kyanos » signifiant bleu, représentent des pigments hydrosolubles que l'on retrouve dans la majorité des espèces (**Kong et al., 2003**).

Les anthocyanes s'accumulent dans les vacuoles cellulaires (**Kerio et al., 2012**) et sont associées aux teintes rouges, violettes et bleues observées dans divers organes végétaux tels que les fruits, les légumes, les fleurs et les graines. De plus, ces composés jouent un rôle crucial dans la physiologie végétale en tant qu'attractifs pour les insectes et en favorisant la dispersion des graines (**Shipp et al., 2010**). Les anthocyanes sont maintenus stables dans les plantes grâce à leur interaction avec des acides aminés, des tanins et des 4-oxo-flavonoïdes (**Roux et Catier, 2007**).

II.3.2. Non flavonoïdes

II.3.2.1 Acides phénoliques

Les acides phénoliques (C6-C1 ou C6-C3), constituent les formes les plus élémentaires des composés et se divisent en deux catégories majeures, à savoir les acides hydroxy benzoïques et les acides hydroxy cinnamiques (**Tableau 04**).

Tableau (04) : Les types d'acide phénolique (**Chira *et al.*, 2008**).

Les acides hydroxy benzoïques	Les acides hydroxy cinnamiques
Les acides hydroxy benzoïques possèdent une structure C6-C1, constituée d'un noyau benzénique sur lequel se fixe une chaîne aliphatique à un carbone.	Leur structure fondamentale est constituée d'un noyau benzénique associé à une chaîne aliphatique de trois atomes de carbone, souvent avec un ou plusieurs groupements hydroxyles qui sont estérifiés en ester d'alcool aliphatique.

II.3.2.2. Stilbènes

Les stilbènes sont présents en quantité minime dans l'alimentation humaine, leur solubilité dans l'eau étant insignifiante et plus marquée dans la majorité des solvants organiques (**Belkheiri, 2010**).

II.3.2.3. Lignines

Il s'agit d'un polymère fortement ramifié, constitué de trois alcools phénoliques simples. La lignine se trouve dans les parois cellulaires, en particulier dans les parois secondaires des éléments conducteurs, et elle contribue à la résistance mécanique et à la rigidité des tiges lignifiées.

Bien qu'elle soit très répandue (seule la cellulose lui fait concurrence), sa composition demeure en grande partie un mystère. Ce polymère de taille considérable, qui ne se dissout ni dans l'eau ni dans la majorité des solvants organiques, rend son extraction sans dégradation majeure impossible (**Hopkins, 2003**).

II.3.2.4. Coumarines

Les coumarines, identifiées pour la première fois par Vogel en 1820 dans le *Coumarouna odorata* (Lacy et O’Kennedy, 2004), se présentent majoritairement sous forme glycosylée, limitant ainsi leur toxicité cellulaire. Rattachées au groupe des phytoalexines, elles correspondent à des molécules de faible masse moléculaire dérivées principalement des voies métaboliques des phénylpropanoïdes et des sesquiterpènes.

II.3.2.5. Tanins

Les tanins sont des composés polyphénoliques possédant une forte affinité pour les protéines, propriété qui explique leur pouvoir tannant. Ils sont largement répandus dans le règne végétal, avec des concentrations accrues dans les tissus âgés ou pathologiques, et se localisent dans les vacuoles sous deux formes principales : hydrolysable et condensée (Roux et Catier, 2007). La figure 14 illustre leur classification. Ils sont particulièrement abondants dans diverses espèces végétales, notamment les fruits et les graines de céréales, tandis que leurs principales sources alimentaires sont le vin et le thé (Pénicaud, 2009).

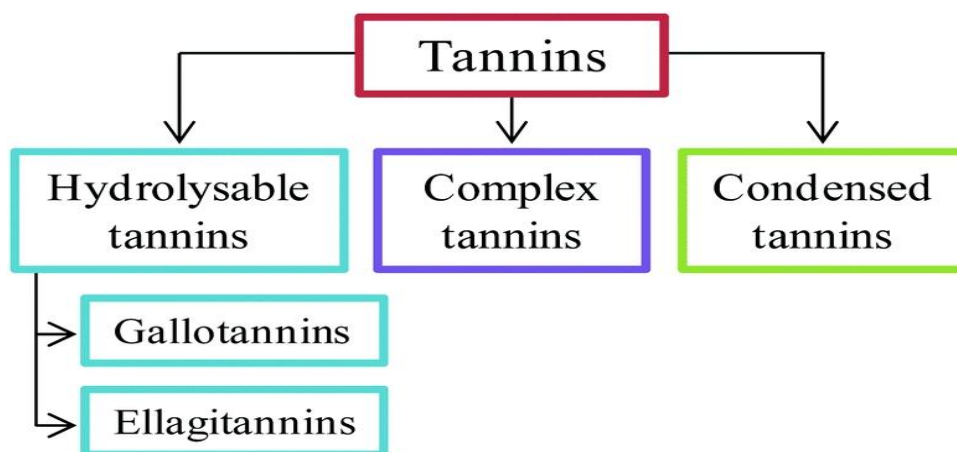


Figure (14) : Classification des tanins (Arbenz, A., Avérous, L .2015).

II.3.2.5.1. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables, également appelés acides tanniques, sont des polymères dérivés de l'acide gallique ou de son produit de condensation, l'acide éllagique. Ils ont une masse moléculaire plus réduite et provoquent une précipitation des protéines nettement moins

importante que les tanins condensés. Comme leur dénomination le suggère, ces tanins se prêtent aisément à une hydrolyse tant acide que basique, et ils s'hydrolysent sous l'effet de l'enzyme et de l'eau chaude. Il s'agit de polyesters de glucides et d'acides phénoliques, qui peuvent être aisément décomposés en oses et en acide phénique par les enzymes tannasses. Selon leur composition, on peut différencier les tanins galliques des tanins éllagique (**Paris et Hurabielle, 1981**).

II.3.2.5.2. Tanins condensés

Les tanins non hydrolysables sont des polymères de flavonols et de proanthocyanidols qui, lorsqu'ils sont bouillis avec des acides minéraux dilués, produisent des composés insolubles amorphes de couleur rouge, connus sous le nom de phlobaphènes ou rouge de tanins (**Lucchesi, M.-E. 2005**).

II.4. Polyphénols dans les plants

Les composés phénoliques se trouvent principalement dans deux compartiments cellulaires distincts : les vacuoles et la paroi. Les polyphénols se combinent dans les vacuoles avec des sucres ou des acides organiques, ce qui augmente leur solubilité et diminue leur toxicité pour la cellule.

Au niveau de la paroi cellulaire, la lignine et les flavonoïdes sont principalement liés aux structures pariétales. La répartition des polyphénols dans les tissus est étroitement associée à leur rôle physiologique au sein de la plante et peut présenter une spécificité très marquée (**Bénard, 2009**).

Les composés phénoliques pourraient remplir diverses fonctions : ils sont à l'origine de la coloration des fleurs, des fruits et des graines dans le but d'attirer les pollinisateurs et de favoriser la dispersion des graines. Par ailleurs, ils sont indispensables pour la défense des plantes face aux microbes nuisibles et leur autorise à capturer simultanément ces radiations et les espèces d'oxygène réactif qui se génèrent (**Stalikas, 2007**).

II.4.1. Intérêt thérapeutique des polyphénols

Les composés phénoliques ont la capacité de lutter contre l'inflammation, de renforcer la résistance des capillaires, de diminuer les effets néfastes du diabète et de protéger la peau contre les rayons ultraviolets en réduisant les dommages provoqués par l'exposition au soleil (**Spiller et Spiller, 2007**). De nombreuses études épidémiologiques ont démontré que la

consommation d'aliments riches en polyphénols est associée à une réduction du risque de maladies chroniques (Nève, 2002). De par leur structure contenant des groupes phénoliques et d'autres fonctions chimiques, les flavonoïdes sont reconnus comme ayant des propriétés antimicrobiennes (Harborne et Williams, 2000).

Ils s'attaquent à une multitude de souches bactériennes, l'intensité de leur action variant en fonction du microorganisme et de l'écosystème. Ils ont la capacité de freiner la prolifération de *Staphylococcus aureus* (Babai et al., 2004), *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Enterobacter cloacae*, *Héliotropismes sinuatum*, *Proteus mirabilis*. (Okigbo et al., 2005) Une flavanone prénylée extraite de l'arbuste *Eysenhardtia texana*, ainsi qu'un flavane dérivé des fruits de *Terminalia bellerica*, ont démontré une efficacité face au microorganisme *Candida albicans* (Valsaraj et al., 1997).

II.5. Les alcaloïdes

Un alcaloïde est un composé organique naturel (habituellement d'origine végétale), contenant de l'azote, plutôt basique, distribué de manière restreinte et doté d'effets pharmacologiques notables à petite dose. Les réponses de précipitation typiques utilisant les « réactifs généraux des alcaloïdes » corroborent aussi le rassemblement d'une telle collection (Bruneton, 2009).

D'après Kebili (2016), les alcaloïdes sont généralement classés en fonction de leurs précurseurs biogénétiques communs et de la position de l'atome d'azote : véritables alcaloïdes, pseudo-alcaloïdes et proto-alcaloïdes.

II.5.1. Propriété

Les alcaloïdes possèdent la capacité de créer des sels et d'avoir un goût amer. On peut caractériser la présence d'alcaloïdes par précipitation. On les a longtemps classifiés et désignés selon le végétal ou l'animal dont ils étaient séparés. Mais on a généralement tendance à les classer selon leur structure chimique. Leurs caractéristiques sont souvent diversifiées et liées à leurs éléments chimiques, tels que la céphéline (antifongique, antibactérien) et l'émétine (amoebicide, anti protozoaire).

II.6. Les saponosides

Les saponosides sont des hétérosides dérivés des stérols ou des triterpènes. On les retrouve dans tous les tissus, mais leur présence est particulièrement marquée au niveau des racines où

ils se situent dans les vacuoles. Ils sont ardu à cristalliser et à dissoudre dans l'eau, l'alcool dilué ainsi que dans les solvants organiques non polaires (**Bruneton, 1999 ; Paris, 1976**).

Dans le domaine pharmaceutique, les sapogénines stéroïdiques sont utilisées comme matières premières pour l'hémi synthèse de dérivés stéroïdiques corticoïdes ou progestatifs. Les saponosides ont des réactions significatives en tant qu'agents émulsifiants et moussants, ils possèdent également une action protectrice sur le système veineux (caractéristiques de la vitamine P), ce qui confère à leur nature veinotrope (renforce le tonus des parois veineuses).

II.7. Les terpénoïdes

Les terpènes, également connus sous le nom de terpénoïdes, sont des éléments courants dans les cellules des plantes et sont notamment responsables de l'odeur caractéristique des végétaux (**Klaas *et al.*, 2002**). Selon **Hopkins (2003)**, ces molécules se manifestent en diverses formes telles que les huiles essentielles, les pigments (comme le carotène), les hormones (telles que l'acide abscissique) et les stérols (notamment le cholestérol).

Chapitre III

Les activités biologiques

III. Les activités biologiques

III.1. Activités antioxydant

- **Stress oxydatif**

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre entre la production de radicaux libres et la formation de métabolites réactifs, tels que les oxydants ou les ERO (espèces réactives de l'oxygène), et leur neutralisation par des mécanismes de défense connus sous le nom d'antioxydants. Ce déséquilibre peut entraîner des dommages aux biomolécules essentielles des cellules, ce qui peut avoir des répercussions sur l'organisme dans sa globalité (**Ďuračková, 2010**).

- **Radicaux libres**

Les radicaux libres peuvent être définis comme des molécules ou des fragments de molécules contenant des électrons non appariés. La présence de radicaux inutilisés augmente la réactivité envers un radical libre (**Valko *et al.*, 2006**). Il est possible que la génération de radicaux libres provienne d'une source endogène ou exogène (**Bakasso, 2009**).

- **Antioxydants**

Les antioxydants enzymatiques sont synthétisés endogènement et se composent de trois enzymes : la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT) et la glutathion peroxydase (GPx) (**Mollica *et al.*, 2019**). La plupart des antioxydants non enzymatiques ne sont pas synthétisés par l'organisme et peuvent être apportés par l'alimentation. Ces molécules comprennent de petites molécules caractérisées par de faibles poids moléculaires, telles que les caroténoïdes, les minéraux, les polyphénols, le glutathion et l'ubiquinone (**Figure 15**), (**Nimse et Pal, 2015 ; Moharram et Youssef, 2014**).

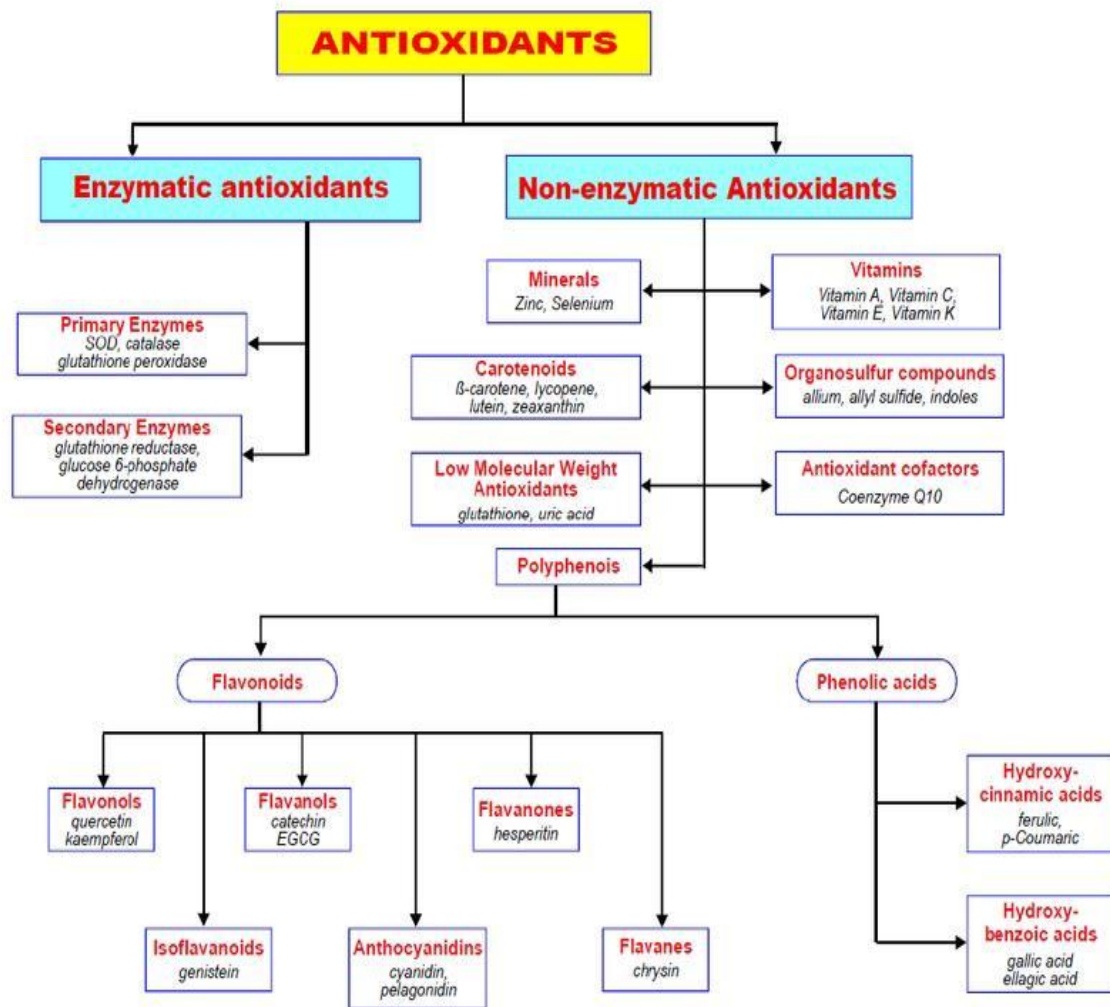


Figure (15) : Classification des antioxydants (Bunaciu, A. A, 2015).

III.2.Activité antibactérienne

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires procaryotes, fréquemment présents en grande quantité en raison de leur capacité de multiplication rapide (Beldi, 2021). Les bactéries peuvent être classées en deux catégories, à savoir les bactéries Gram positif et les bactéries Gram négatif, en fonction des variations de structure et de composition chimique de leur paroi cellulaire (Beldi, 2021). En règle générale, leur diamètre est inférieur à 1µm. Ils peuvent être visualisés au microscope optique, que ce soit à l'état frais ou après coloration. Les bactéries peuvent adopter différentes formes telles que sphériques (cocci), en bâtonnet (bacilles), incurvées (vibrions) ou spiralées (spirochètes). Pour les observer, il est nécessaire d'utiliser la microscopie électronique (Ozniewski, 2010).

III.2.1. Description des bactéries étudiées

- ***Pseudomonas aeruginosa* ATCC**

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie en forme de bâtonnet (bacille), mesurant 1,5 à 3 µm de long et 0,5 à 0,8 µm de large. Gram-négative, non sporulée et mobile, elle est un aérobie strict, nécessitant la présence d'oxygène pour se développer. Elle est utilisée comme référence dans les tests de sensibilité aux antibiotiques, garantit la fiabilité et la reproductibilité des résultats expérimentaux. Cette bactérie est une cause fréquente d'infections urinaires, souvent associées à des plaies ou dispositifs médicaux en milieu hospitalier.

- ***Staphylococcus aureus* ATCC**

Staphylococcus aureus est une bactérie sphérique (coccoïde) mesurant 0,8 à 1 µm, caractérisée par une forme irrégulière et une paroi cellulaire Gram-positive. Elle est anaérobie facultative, non encapsulée, non sporulante et immobile. Cette bactérie est couramment impliquée dans les intoxications alimentaires, les infections cutanées et les maladies respiratoires.

- ***Escherichia coli* ATCC**

Escherichia coli (*E. coli*) est une bactérie en forme de bâtonnet (bacille), mesurant 1 à 1,5 µm de large et 2 à 6 µm de long. C'est une bactérie Gram-négative et fait partie des entérobactéries. Anaérobie facultative, elle est non sporulante et immobile. *E. coli* est une cause fréquente de diarrhée aiguë, d'infections urinaires, de bactériémie, de méningite, de gastro-entérite et de septicémie.

- ***Klebsiella pneumoniae***

Klebsiella pneumoniae est une bactérie en forme de bâtonnet (bacille) mesurant environ 3 à 4 µm. Elle est classée comme Gram-négative et se distingue par le fait qu'elle est immobile et capsulée. Cette capsule est un facteur de virulence important, contribuant à sa capacité à provoquer des infections. Cette bactérie est une cause fréquente d'infections urinaires et peut également entraîner des surinfections bronchiques chez les personnes atteintes de bronchite chronique.

- *Acinetobacter baumannii*

Acinetobacter baumannii est une bactérie coccobacillaire Gram-négative, strictement aérobie, immobile, non sporulante et parfois encapsulée. Résistante aux conditions environnementales et souvent multi résistante aux antibiotiques, elle est impliquée dans diverses infections nosocomiales, notamment respiratoires, urinaires, sanguines et neurologiques, en particulier chez les patients vulnérables ou hospitalisés en soins intensifs.

- *Proteus mirabilis*

Proteus mirabilis est une bactérie en forme de bâtonnet (bacille), mesurant entre 0,4 et 0,8 µm. Elle est classée Gram-négative et se distingue par sa très grande mobilité. C'est une bactérie aéro-anaérobie, ce qui signifie qu'elle peut se développer en présence ou en l'absence d'oxygène. *Proteus mirabilis* est une cause fréquente d'infections urinaires.

III.3. Activité anti-inflammatoire

III.3.1.Définition

L'inflammation est une réponse du corps à des lésions ou à des menaces. Elle est déclenchée par la présence de bactéries, une lésion cutanée ou un contact avec des agents irritants (Davis, 2006).

La réponse inflammatoire représente la réaction habituelle de l'organisme face à des agressions, qu'elles soient d'origine immunitaire ou non. Il s'agit d'une réponse du tissu conjonctif et des vaisseaux (Touitou, 2003).

III.3.2.Effet anti-inflammatoire des plantes

Benoit *et al.*, (1976) ont analysé 163 espèces de plantes supérieures et de champignons, sélectionnées de manière aléatoire, et ont évalué leur activité anti-inflammatoire dans le modèle d'œdème de la patte de rat induit par la carraghénine. Parmi ces échantillons, 73 espèces ont montré une capacité à inhiber l'inflammation de 25% ou plus à des doses comprises entre 5 et 1000 mg/ml ; 17 espèces ont présenté une inhibition de l'ordre de 30 à 39% ; 21 espèces ont démontré une inhibition de 40 à 49% ; 15 espèces ont affiché une inhibition entre 50 et 59% ; 4 espèces ont montré une inhibition de 60 à 69% et 2 espèces ont été capables d'inhiber l'inflammation de 70 à 79% (Sofowora, 2010).

III.3.3. Influence de l'effet inflammatoire sur l'organisme

La réponse inflammatoire se manifeste par quatre signes caractéristiques, à savoir la rougeur, la douleur, la tuméfaction et la chaleur (**Bonnotte *et al.*, 2003**). D'après **Gazengel et Orecchioni (1999)**, l'inflammation joue un rôle à la fois bénéfique et préjudiciable :

- La fonction bénéfique de la réaction inflammatoire réside dans sa capacité à agir comme un signal d'alarme, facilitant ainsi la mobilisation rapide des cellules phagocytaires par l'organisme. Elles éliminent efficacement les bactéries potentiellement présentes au site de la lésion, ce qui limite leur propagation et la progression de l'infection. Elles participent également à l'élimination des cellules endommagées et à la préparation du processus de cicatrisation.
- Les effets nocifs de cette substance se manifestent par une destruction locale des tissus ; elle provoque l'expulsion dans l'environnement extracellulaire du contenu très acide et contenant de nombreuses enzymes des vacuoles de digestion des phagocytes, ainsi que des cellules environnantes, entraînant la formation de pus et une lésion tissulaire significative, pouvant évoluer vers la nécrose.

Chapitre IV :
Matériels et méthodes

IV.1. Lieu de travail

Notre étude porte sur l'analyse phytochimique et l'évaluation des activités antimicrobiennes, antioxydants et anti-inflammatoires des espèces *Quercus canariensis* et *Quercus ilex*. Cette recherche s'est déroulée sur une période de quatre mois (de mars à juin 2025), et les analyses ont été effectuées au sein de deux laboratoires de l'Université Blida 1 :

- Laboratoire d'amélioration des plantes du département de biotechnologie et d'agro écologie.
- Laboratoire d'analyses du bloc C .

IV.2. Matériels

IV.2.1. Matériels non biologiques

Les bactéries ont été mises en culture sur un milieu spécifique, le Milieu de culture Muller Hinton. L'ensemble du matériel de laboratoire, comprenant la verrerie, les équipements, les réactifs, les solvants, les colorants ainsi que les disques d'antibiotiques utilisés au cours de cette étude, est détaillé dans l'**annexe 1**.

IV.2.2. Matériels biologiques

IV.2.2.1. Les bactéries

Les souches bactériennes utilisées dans cette étude ont été fournies par le laboratoire de microbiologie de l'hôpital Fares Yahia, situé à Koléa wilaya de Tipaza. Elles incluent des souches de référence certifiées par l'ATCC ainsi que des isolats cliniques d'origine urinaire et purulente (**Tableau 05**).

Tableau (05) : Souches bactériennes et leurs références

Bactéries	ATCC / Origine
<i>Escherichia coli</i>	25922
<i>Staphylococcus aureus</i>	23235
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	27853
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Isolat urinaire
<i>Proteus mirabilis</i>	Isolat urinaire
<i>Acinetobacter</i>	Isolat de pus

IV.2.2.2. Matériel végétale

Le matériel végétal analysé dans cette étude se compose de feuilles de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex*, récoltées en mars 2025 dans la localité de Bouarfa, située dans la région du Chréa, wilaya de Blida.

Cette région est dans la wilaya de Blida au nord de l'Algérie, se distingue par son relief montagneux et son climat montagnard favorable à une biodiversité riche. *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* y forment des chênaies essentielles à l'équilibre écologique, contribuant à la préservation des sols et à la régulation du climat. Bordée par la plaine de la Mitidja au nord et l'Atlas Blidéen au sud, Chréa constitue un site d'intérêt scientifique et écologique, où les écosystèmes forestiers jouent un rôle clé dans la conservation de la région (**Figure 16**).

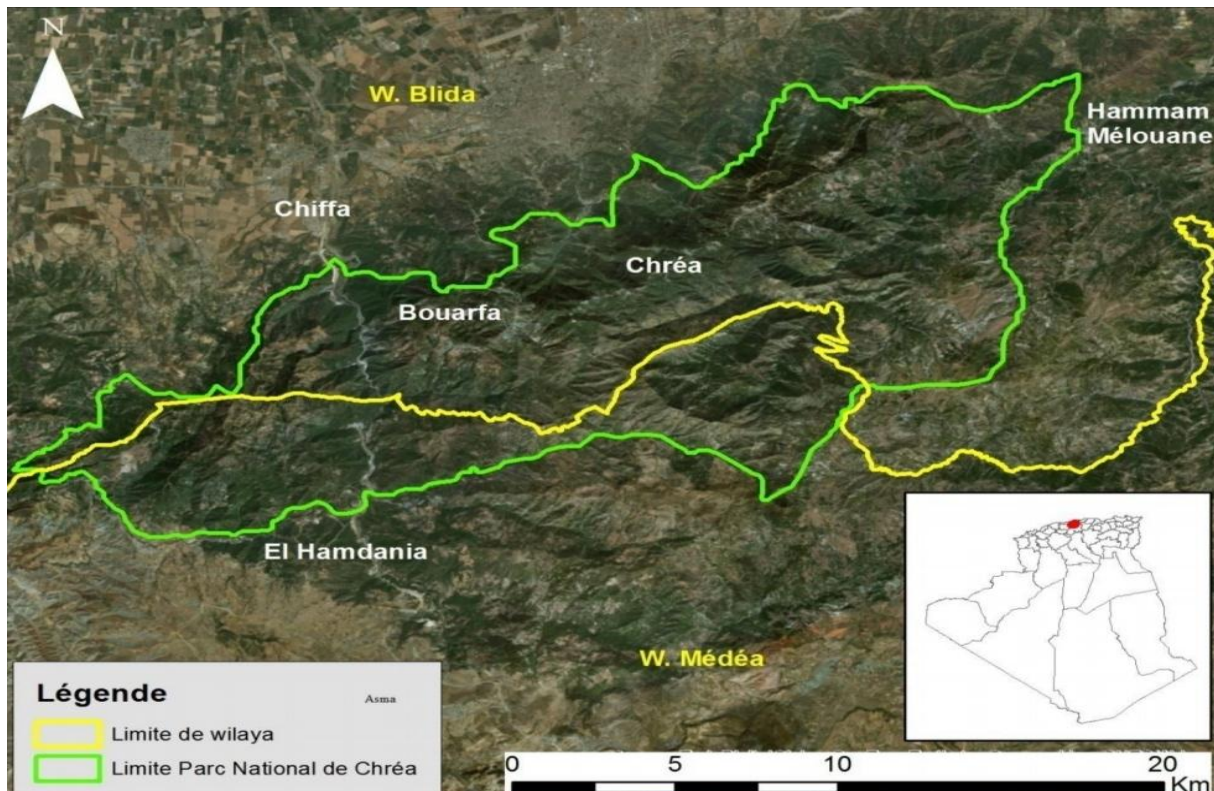


Figure (16) : Localisation du parc national de Chréa (Gharbi, H., & Meziani, M. 2019).

IV.3. Méthodes expérimentales

IV.3.1. Séchage et conservation des plantes

Les feuilles ont été soigneusement triées afin d'éliminer celles présentant des altérations ou des signes de contamination par des parasites. Elles ont ensuite été disposées dans une étuve maintenue à 45°C pendant une durée de 7 jours. Afin de garantir une déshydratation complète, des contrôles réguliers ont été effectués toutes les 48 heures, incluant la pesée des feuilles jusqu'à stabilisation du poids. Une fois totalement sèches, elles ont été réduites en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique (**Figure 17 et 18**), puis tamisées avant d'être stockées dans des bocaux hermétiques. La conservation s'est effectuée à température ambiante, dans un environnement sec préservé de toute humidité.

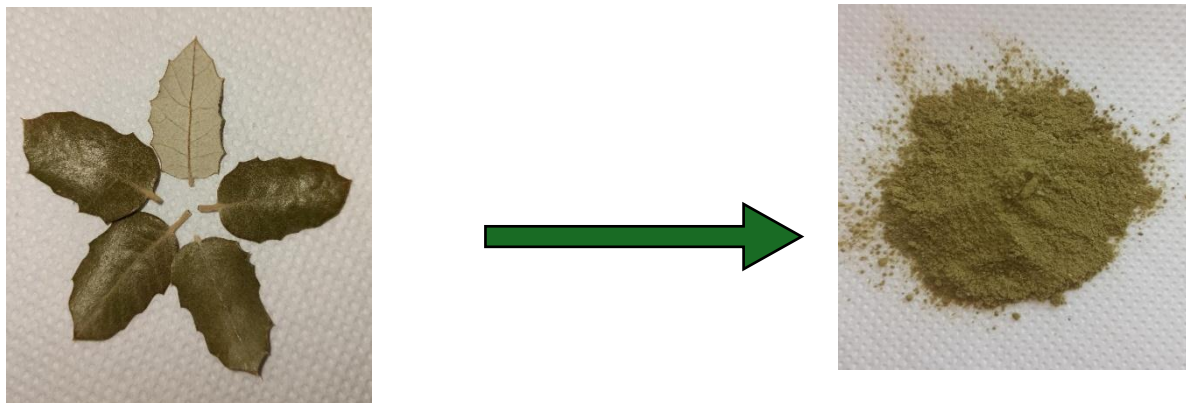


Figure (17) : *Quercus ilex*. (Original)

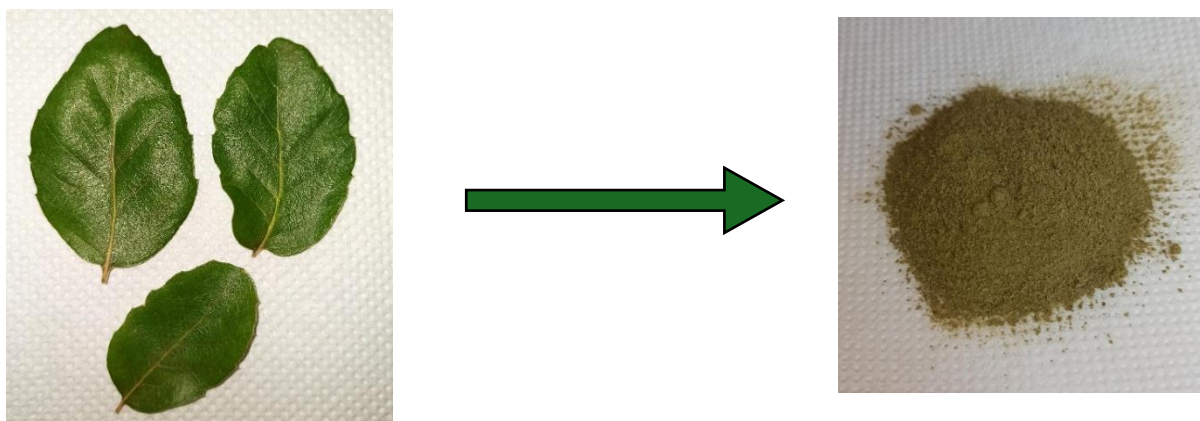


Figure (18) : *Quercus canariensis*. (Original)

IV.3.2. Extraction des polyphénols par macération

Cette technique d'extraction vise à libérer et isoler le maximum de molécules polyphénoliques contenues dans des structures vacuolaires, en cassant le tissu végétal et en facilitant la diffusion grâce à des solvants organiques qui optimisent et accélèrent le processus d'extraction.

IV.3.2.1.Extraction par macération à l'eau distillée

Les extraits aqueux de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* ont été préparés individuellement. Pour chaque espèce, 25 g de poudre de feuilles ont été macérés séparément dans 250 ml de solvant sous agitation constante pendant 72 heures, à température ambiante et à l'abri de la lumière (les béchers utilisés pour la macération ont été soigneusement couverts d'aluminium). Après cette période, les mélanges propres à chaque espèce ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre Whatman N°5, puis concentrés par évaporation sous basse pression à 60°C à l'aide d'un rotavapeur, afin d'éviter la dégradation des polyphénols. Enfin, chaque extrait obtenu a été stocké à 4°C (Murat Ku *et al.*, 2007).

IV.3.2.2.Extraction des polyphénols par le méthanol, l'acétone et l'éthanol

Les extraits organiques de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* ont été préparés individuellement. Pour chaque espèce, 25 g de poudre de feuilles ont été macérés séparément dans un mélange de 200 ml de solvant (méthanol, éthanol, acétone) et 50 ml d'eau distillée. Cette macération a été précédée d'une agitation pendant 24 heures à l'aide d'un agitateur à hélice. La solution obtenue pour chaque espèce a ensuite été soumise à une filtration, puis à une évaporation à l'aide d'un rotavapeur afin d'obtenir respectivement l'extrait méthanolique, l'extrait d'acétone et l'extrait éthanolique. Les extraits obtenus ont été stockés à une température de 4°C (Degrou, 2013).

IV.3.2.3. Extraction des polyphénols par l'éther de pétrole

Pour l'extraction par l'éther de pétrole, on ajoute 25g de poudre dans 250 ml d'éther de pétrole. Après une agitation mécanique durant 24 heures à température ambiante. L'extrait éther de pétrole est obtenu en filtrant et concentrant le mélange à l'aide d'un Rotavapeur, à une température de 30°C (Genevois, 1975). L'annexe 2 illustre les phases qui synthétisent ce procédé.

IV.3.3. Détermination du rendement

Le rendement est défini comme la quantité d'extrait obtenue après évaporation du solvant, et il est généralement exprimé en pourcentage par rapport à la masse initiale de la plante utilisée pour l'extraction.

La formule proposée par **Falleh *et al.*, (2008)** a été utilisée pour calculer le rendement d'extraction :

$$R = \frac{\text{Masse d'extraction obtenue}}{\text{prise d'essais}} \times 100$$

R : Rendement

IV.3.4. Analyses qualitatives des extraits

L'objectif du screening phytochimique est de détecter la présence ou l'absence de différents métabolites secondaires dans les tissus végétaux de la région examinée de la plante, en recourant à des réactions qualitatives pour la caractérisation. Ces réactions se basent sur un changement de couleur induit par des agents spécifiques à chaque groupe de composés ou une analyse sous l'influence de la lumière ultraviolette. Selon le classement proposé par **(Négué, 2003)**, les résultats seront organisés de la manière suivante :

- Réaction franchement positive : + + +
- Réaction moyennement positive : + +
- Réaction positive : +
- Réaction difficile à interpréter : ±
- Réaction négative : -

IV.3.4.1. Détection des tanins

La détection de tanins se fait en ajoutant 100 µl d'une solution de FeCl₃ à 1% à chaque extrait dans un volume de 1 ml. La présence d'une couleur nous indique le genre de tanin présent :

- Une teinte vert foncé ou bleue indique la présence de tanins.
- Ton brun/noir : présence de tanins galliques.
- Un bleu verdâtre : il y a des tanins catéchiques.

IV.3.4.2.Détection des flavonoïdes

On ajoute 1 ml de chaque extrait à quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré (HCl) et 0,1 g de magnésium (Mg). Nous laissons faire pendant 3 minutes. L'apparition d'une couleur rouge-orangé indique la présence de flavonoïdes.

IV.3.4.3.Détection des saponines

Cette technique utilise la réaction de Libermann-Burchard. Nous prenons 5 ml de nos extraits, que nous mélangeons à 5 ml d'anhydride acétique ($C_4H_6O_3$) et ajoutons quelques gouttes d' H_2SO_4 concentré. La teinte rouge signale la présence de stéroïdes, tandis que la teinte verte signale la présence de triterpènes.

IV.3.4.4.Détection des quinones libres

On ajoute quelques gouttes de NaOH à 1% à chaque 1 ml des extraits. L'apparition d'une teinte allant du jaune au rouge ou violet signale la présence de quinones libres.

IV.3.5.Activité antioxydante

Principe

Le DPPH est un radical stable qui montre une absorption caractéristique à 517 nm en solution, ce qui se traduit par une couleur violette. La décoloration rapide de cette teinte survient lorsque le DPPH est réduit par un agent capteur de radicaux libres (**Figure 19**).

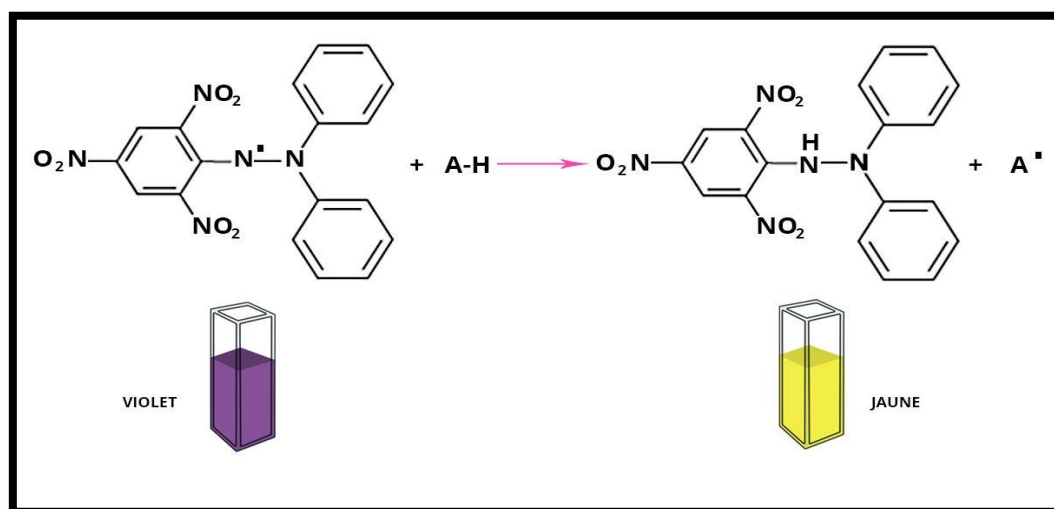


Figure (19) : Structure libre et réduite du DPPH (Haddouchi et al., 2016)

IV.3.5. Technique macro méthode

On ajoute 50 µl de chaque extrait à différentes concentrations dans 1950 µl de la solution de DPPH (2,4 mg de DPPH pour 100 mL de méthanol). 5 concentrations ont été testées, conformément à la méthode de la concentration minimale inhibitrice (CMI), à savoir : (10, 5, 2,5, 1,25, 0,62 et 0,31) mg/mL. L'appareil est coloré en blanc à l'aide de méthanol. L'analyse est effectuée à une longueur d'onde de 515 nm après un temps d'exposition de 30 minutes à température ambiante, contrairement au standard qui inclut l'acide ascorbique en différentes concentrations.

IV.3.6. Activités antimicrobiennes

- *Principe*

Cette méthode implique l'utilisation de disques (disques en papier absorbant stériles de 6 mm de diamètre) imbibés de 20 µl de l'extrait à analyser, ce dernier ayant été dissous dans le DMSO. Les disques sont disposés sur gélose Mueller-Hinton, uniformément ensemencée avec une suspension de la bactérie à analyser. Suite à la diffusion, les boîtes sont placées en incubation à 37 °C pour une durée de 18 à 24 heures. Les zones d'inhibition ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse (**Debib et al., 2014**). Selon le diamètre d'inhibition, les bactéries sont réparties dans l'une des catégories suivantes (**Junior et Zani, 2000**) (**Tableau 05**).

Tableau (06) : Sensibilité des souches bactériennes selon le diamètre de la zone d'inhibition (**Junior et Zani, 2000**).

Diamètre de la zone d'inhibition (Di) (mm)	Degré de sensibilité des bactéries étudiées
$Di \leq 9$	Souche résistante
$10 \leq Di \leq 13$	Légèrement sensible
$14 \leq Di \leq 18$	Très sensible
$Di > 18$	Extrêmement sensible

IV.3.6.1. Protocole expérimental

IV.3.6.2. Préparation des extraits avec du DMSO

L'extraction des composés à partir des feuilles de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* a été réalisée à l'aide de DMSO. Dans cette section, nous avons appliqué la méthode d'extraction solide-liquide décrite par **Wong *et al.* (2006)**, avec une adaptation consistant à dissoudre les extraits dans 5 à 7 mL de DMSO en vue des analyses antibactériennes (**Debib *et al.*, 2014**). Par la suite, l'évaluation de l'activité antimicrobienne a été menée à l'aide de cinq concentrations décroissantes des extraits, correspondant aux valeurs suivantes de la concentration minimale inhibitrice (CMI) : 10, 5, 2,5, 1,25, 0,62 et 0,31 mg/mL.

CMI = concentration minimale inhibitrice : la plus petite concentration d'antibiotique (extrait) qui inhibe toute croissance visible d'une souche bactérienne après 18-24 heures de culture à 37°C.

Cette valeur caractérise l'effet bactériostatique d'un antibiotique.

IV.3.6.3. Préparation de l'inoculum

Les suspensions bactériennes ont été préparées en sélectionnant de manière précise 4 à 6 colonies distinctes et identiques provenant d'une culture en phase exponentielle de croissance de 18 heures. Les échantillons sont ensuite placés dans 5 ml d'eau physiologique stérile, puis agités vigoureusement à l'aide d'un vortex pendant quelques secondes.

IV.3.6.4. Préparation des milieux de culture

Le milieu gélosé de Muller-Hinton déjà liquéfiée dans un bain Marie est versé aseptiquement sur des boîtes de Pétri à raison de 10 ml par boîte. Par la suite, le mélange est placé dans un environnement stérile (sous hotte) et exposé à une flamme de Bunsen pour induire sa solidification.

IV.3.6.5. Ensemencement et dépôt des disques

Après avoir trempé un écouvillon stérile dans la suspension bactérienne, il est soigneusement essoré en le pressant fermement contre la paroi interne du tube avant d'être frotté sur toute la surface de la gélose sèche en stries serrées, de haut en bas.

Cette opération est répétée trois fois, en tournant la boîte de 60° à chaque fois, toujours à proximité du bec Bunsen. Ensuite, des disques stériles, préalablement imbibés de l'ex délicatement déposés sur la gélose et laissés à diffuser sur la paillasse pendant 30 minutes. Enfin, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

IV.3.6.6. Lecture des boîtes

La mesure du diamètre des zones claires autour des disques (zone d'inhibition) se fait à l'aide d'un pied à coulisse ou avec une règle graduée.

IV.3.7. Activité anti-inflammatoire

IV.3.7.1. Méthode de dénaturation par l'albumine de l'œuf

La méthode de dénaturation thermique de l'albumine d'œuf permet d'évaluer le potentiel anti-inflammatoire d'un extrait à travers sa capacité à stabiliser les structures protéiques soumises à un stress thermique. En limitant cette dénaturation, l'extrait témoigne d'une action protectrice analogue à celle de composés anti-inflammatoires. Le pourcentage d'inhibition observé constitue ainsi un indicateur quantifiable de cette activité.

IV.3.7.2. Mode opératoire

Une solution de 1300 µl a été préparée, composée de 100 µl d'albumine d'œuf, préalablement centrifugée pendant 10 minutes à 3000 RPM, 700 µl de tampon phosphate salin (PBS, pH 6,4) et 500 µl de l'extrait à tester. L'étude a été réalisée sur nos extraits des différents solvants (méthanolique, acétonique, éthanolique, etc.) à trois concentrations distinctes : 10, 5 et 1,25 mg/ml.

Le diclofénac a été utilisé en tant que référence positive aux concentrations de 100 µg/ml et 1 mg/ml, tandis qu'un volume équivalent d'eau distillée a servi de témoin négatif. Les différents mélanges ont été incubés à 37 ± 2 °C pendant 15 minutes, puis chauffés à 70 °C durant 5 minutes. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 660 nm (**Chandra et al .,2012**)(Modifier). Le % d'inhibition de la dénaturation des protéines est calculé, en utilisant la formule :

$$\% \text{ d'inhibition} = 100 \times [V_t/V_c - 1]$$

V_t = absorbance de l'échantillon d'essai ; V_c = absorbance de contrôle.

Chapitre V :
Résultats et discussion

V.1. Détermination du rendement

Les rendements d'extraction obtenus par macération pour *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* sont représentés dans les **figure (20 et 21)**. Ils montrent des variations notables selon la nature du solvant utilisé. Chez *Quercus ilex*, le meilleur rendement a été obtenu avec l'éthanol (29,29 %), suivi par l'acétone (21,2 %). Le méthanol aqueux et l'eau distillée ont présenté des rendements modérés, respectivement de (16,24 %) et (12,48 %), tandis que l'éther de pétrole a donné le plus faible rendement (10,8 %).

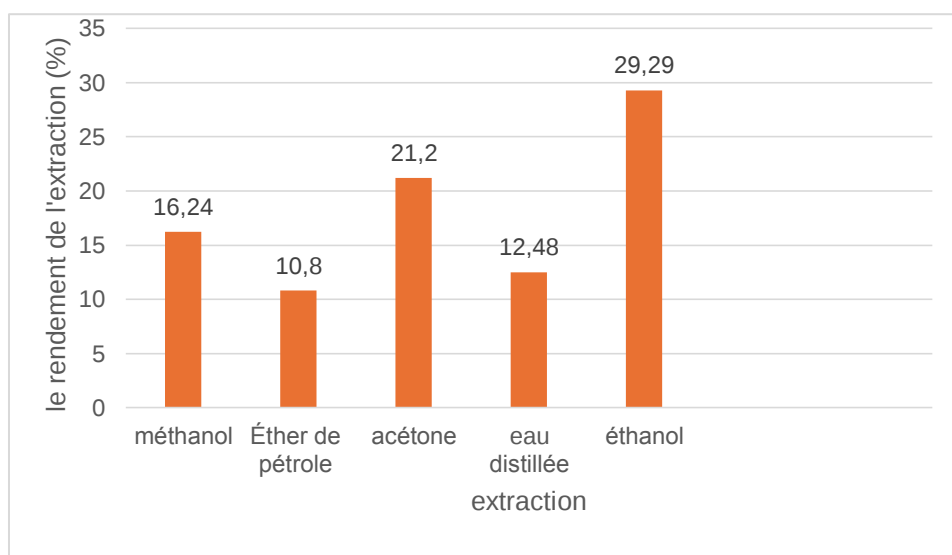


Figure (20) : Rendement d'extraction des extraits des feuilles de *Quercus ilex L.*

Concernant *Quercus Canariensis*, l'éthanol s'est également révélé le solvant le plus efficace (22,56 %), suivi de près par l'acétone (16,88 %) et le méthanol aqueux (15,60 %). Les rendements obtenus avec l'eau distillée (13,92 %) et l'éther de pétrole (13,92 %) restent plus faibles, mais relativement proches.

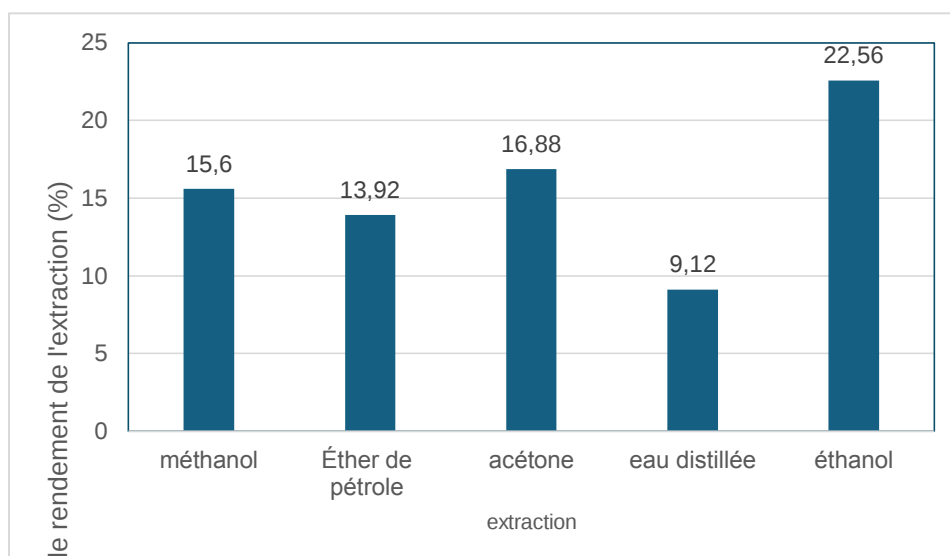


Figure (21) : Rendement d'extraction des extraits des feuilles de *Quercus Canariensis*.

Les rendements d'extraction obtenus par macération avec différents solvants fluctuent considérablement selon leur polarité. Pour *Quercus ilex* et *Quercus Canariensis*, l'éthanol s'est montré le plus efficace, avec une performance atteignant respectivement 29,16% et 22,56%. L'acétone, suivie du méthanol aqueux et de l'eau distillée, a été employée, alors que l'éther de pétrole, un solvant apolaire, a donné les rendements les plus bas. Ces résultats mettent en évidence le rôle crucial des propriétés physico-chimiques du solvant dans l'efficacité de l'extraction des métabolites secondaires. Ils souscrivent aux résultats d'**Ahmadi et al. (2019)**, qui ont souligné l'importance des solvants hydro-alcooliques (éthanol/eau, méthanol/eau) pour l'extraction de composés phénoliques à partir des écorces de *Quercus brantii* Lindl., attribuant cette efficacité à leur polarité intermédiaire. **Falleh et al. (2008)** confirment cette étude en soulignant l'impact combiné du solvant et de la variété végétale sur la productivité et la composition des extraits.

V.2. Screening phytochimique

V.2.1. Screening phytochimique de *Quercus Canariensis*

Les résultats du cribla phytochimique des extraits de feuilles de *Quercus Canariensis* sont classés dans le **tableau 7**.

Tableau (07) : Résultats du screening phytochimique des feuilles de *Quercus Canariensis*

Extrait	ED	E	Me	AC	EP
Tanins	-	+++	-	+++	-
Tanins galliques	-	-	++	-	-
Tanins catéchiques	++	-	-	-	-
Quinones libres	++	-	+	-	+
Flavonoïdes	+	-	+++	+	-
saponines	+	+	+	+	+

Fortement positives : +++ ; moyennement positive : ++ ; positive : + ; négative : -

E : Extrait éthanolique/ Me : Méthanolique/ EP : éther de pétrole/ AC : Acétonique / ED : extrait aqueux

Le screening phytochimique de *Quercus canariensis* a révélé une richesse en composés phénoliques, dont la répartition varie en fonction du solvant d'extraction utilisé (eau, éthanol, méthanol, acétone et éther de pétrole). Les tanins sont particulièrement abondants dans les extraits éthanolique et acétonique, tandis que l'extrait méthanolique présente une quantité modérée de tanins galliques. L'extrait aqueux contient surtout des tanins catéchiques, alors que l'extrait à l'éther de pétrole ne révèle aucune trace de tanins, qu'ils soient galliques ou catéchiques.

Les flavonoïdes sont fortement présents dans l'extrait méthanolique, et détectés en moindre quantité dans les extraits aqueux et acétonique. Ils sont toutefois absents des extraits éthanolique et à l'éther de pétrole. Les alcaloïdes ont été identifiés dans tous les extraits, à l'exception de l'extrait aqueux. Les quinones libres ne sont détectées que dans les extraits aqueux, méthanolique, eau distillée et à l'éther de pétrole.

Enfin, Les saponines, quant à elles, ont été détectées dans l'ensemble des extraits, indépendamment du solvant utilisé.

Ces résultats corroborent les observations de **Al-Fatimi *et al.* (2016)**, qui ont mis en évidence, chez *Quercus infectoria*, une richesse en métabolites secondaires tels que les tanins, les flavonoïdes, les saponines et les alcaloïdes, avec une répartition variable selon le solvant d'extraction utilisé. Cette diversité phytochimique est associée à des activités biologiques notables, notamment antioxydante et antimicrobiennes.

V.2.2. Screening phytochimique de *Quercus ilex*

Les résultats du cribla phytochimique des extraits de feuilles de *Quercus ilex* sont classés dans le **tableau 8**.

Tableau (08) : Résultats du screening phytochimique des feuilles de *Quercus ilex*

Solvants	E	Me	EP	AC	ED
Composés					
Tanins Galliques	-	+++	-	++	++
Tanins Catéchiques	-	-	+++	-	-
Tanins	+++	+	+	-	-
Saponine	+	+	+	+	+
Quinones libres	+	+	+++	-	-
Flavonoïde	+	-	-	-	-

Fortement positive : +++ ; moyennement positive : ++ ; positive : + ; négative : -

E : Extrait éthanolique/ Me : Méthanolique/ EP : éther de pétrole/ AC : Acétonique / ED :
extrait aqueux

L'analyse phytochimique de *Quercus ilex* a permis de mettre en évidence la présence de divers composés phénoliques, dont la distribution varie selon le solvant utilisé (eau, éthanol, méthanol, acétone et éther de pétrole). Une faible concentration en flavonoïdes a été observée dans tous les extraits, à l'exception de l'extrait éthanolique, où ils sont plus abondants.

Les tanins se distinguent par une présence marquée dans les extraits aqueux, méthanolique et acétonique, notamment les tanins galliques. En revanche, l'extrait à l'éther de pétrole révèle uniquement des tanins catéchiques.

Quant aux saponines, elles sont détectées dans l'ensemble des extraits, indépendamment du solvant d'extraction utilisé.

S'agissant des quinones libres, leur présence est confirmée dans tous les extraits sauf ceux obtenus avec l'eau et l'acétone.

Ces résultats s'inscrivent dans la continuité des travaux de **Boucif, O. E. W. (2024)**, qui ont mis en lumière, chez différentes espèces du genre *Quercus*, la prédominance de composés phénoliques tels que l'acide tannique, les saponines et les quinones

V.3. Etude de l'activité antibactérienne

V.3.1. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Staphylococcus aureus*

Les expérimentations menées ont révélé que *Quercus ilex* présente une activité antibactérienne plus marquée contre *Staphylococcus aureus*, avec des zones d'inhibition atteignant 12 mm pour l'extrait acétonique et 14 mm pour l'extrait aqueux. En revanche, *Quercus Canariensis* a montré une efficacité moindre, avec un maximum de 17 mm observé pour l'extrait méthanolique (**Annexe 4**).

Les solvants polaires (acétone, eau, méthanol) ont permis d'extraire les composés les plus actifs, tandis que l'éther de pétrole s'est révélé inefficace, avec des zones d'inhibition faibles voire nulles. Le DMSO n'a produit aucun effet (témoin négatif). L'antibiotique utilisé, en tant que référence positive, a affiché une activité nettement supérieure, avec des diamètres dépassant 18 mm.

Ainsi, les résultats suggèrent que *Quercus ilex*, en particulier par extraction acétonique, possède un potentiel antibactérien plus important que *Quercus Canariensis*.

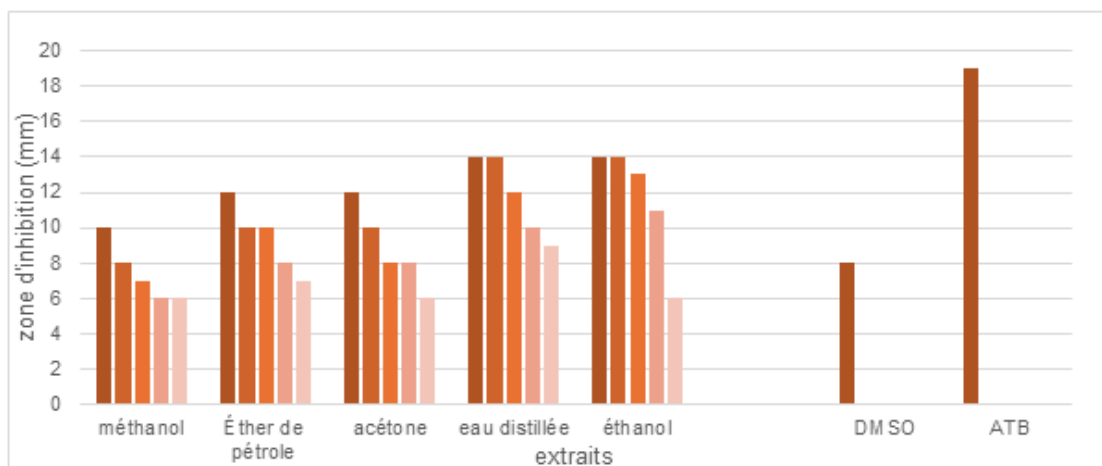


Figure (22) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus ilex* sur *Staphylococcus aureus*.

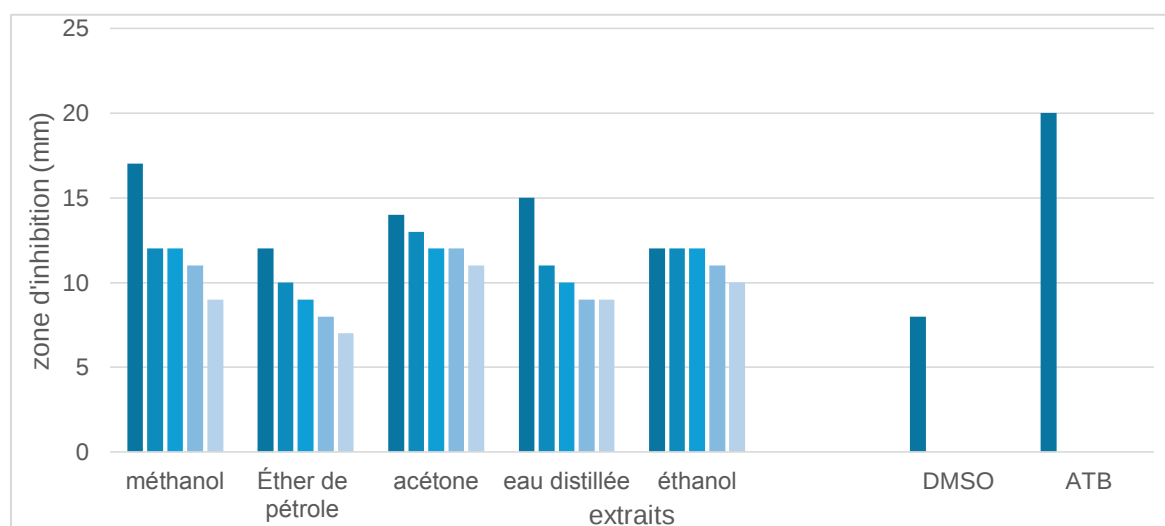


Figure (23) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus Canariensis* sur *Staphylococcus aureus*.

V.3.2. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Escherichia coli*

Le *Quercus ilex* démontre une activité antibactérienne modérée contre *Escherichia coli*, essentiellement via son extrait méthanolique (13 mm), suivi par les extraits éthanolique et aqueux (11 mm). L'activité de l'extrait d'éther de pétrole a été réduite, environ 9 mm, tandis que le DMSO est demeuré sans action avec un diamètre de zone d'inhibition approximatif de 7 mm. L'antibiotique a engendré un diamètre de zone d'inhibition nettement plus large (22 mm), attestant ainsi la sensibilité de la souche.

En comparaison, *Quercus Canariensis* a démontré une activité légèrement moindre : les extraits méthanoliques et éthanoliques ont provoqué des inhibitions d'environ (12 et 9 mm), alors que les extraits aqueux (14 mm) et à l'éther de pétrole se sont avérés moins efficaces (11 mm).

Ainsi, ces résultats indiquent que *Quercus Ilex*, notamment à travers l'extrait acétonique, offre un potentiel antibactérien plus prometteur contre *Escherichia coli*.

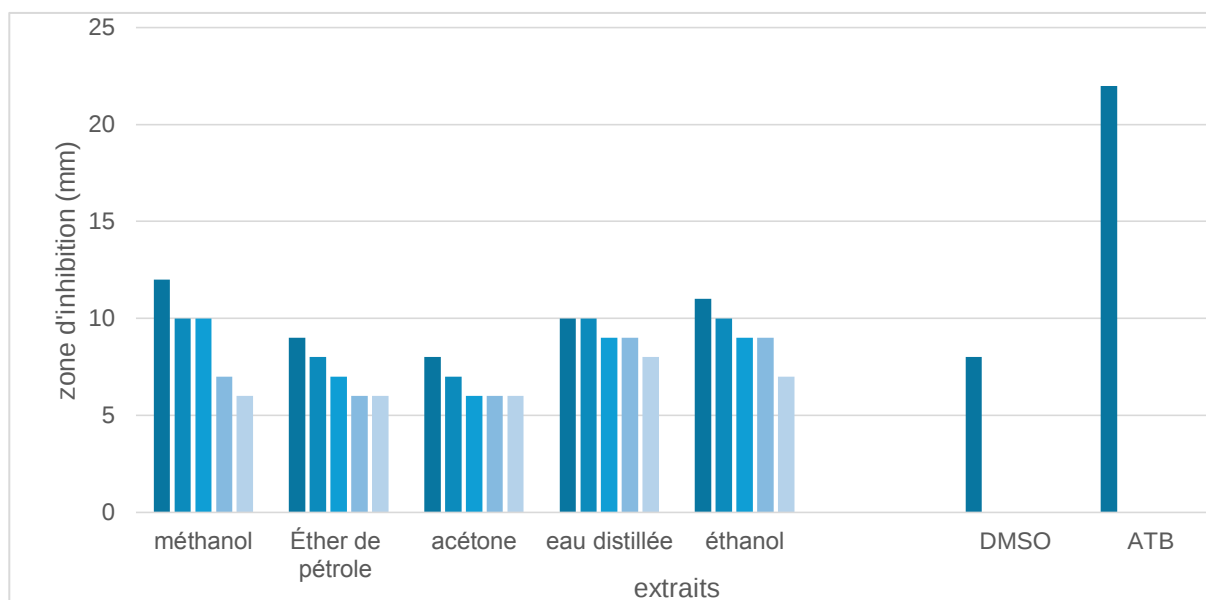


Figure (24) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus Ilex* sur *Escherichia coli*

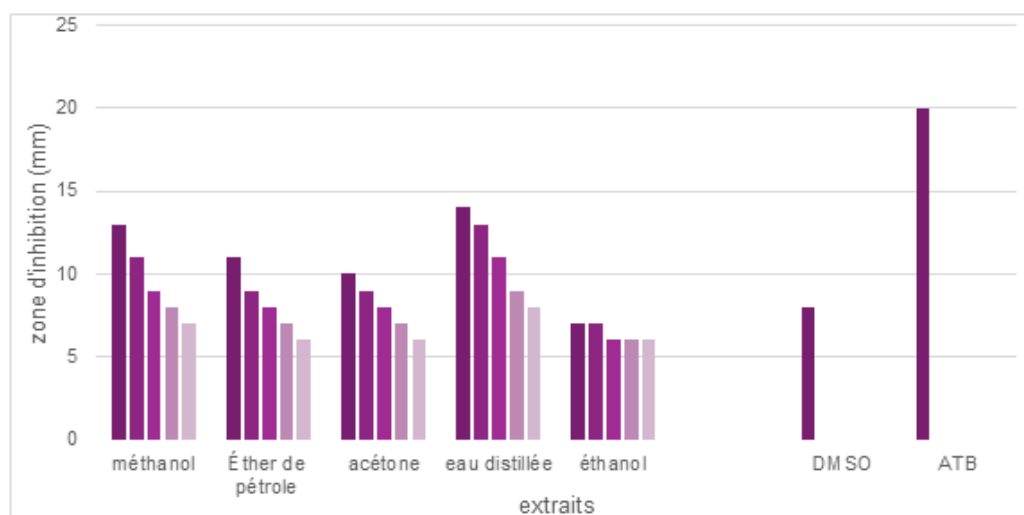


Figure (25) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus canariensis* sur *Escherichia coli*

V.3.3. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Pseudomonas aeruginosa*

Les résultats obtenus révèlent que *Quercus Ilex*, notamment à travers ses extraits méthanolique et éthanolique (16 mm), démontre une forte activité antibactérienne contre *Pseudomonas aeruginosa*. De plus, il a été observé que les extraits acétonique et méthanolique de *Quercus canariensis* présentent une activité similaire, avec des zones d'inhibition atteignant également 16 mm. Les extraits éthanolique et aqueux de *Q. Ilex* affichent des inhibitions modérées (12- 10 mm), tandis que l'éther de pétrole reste peu efficace (~8 mm).

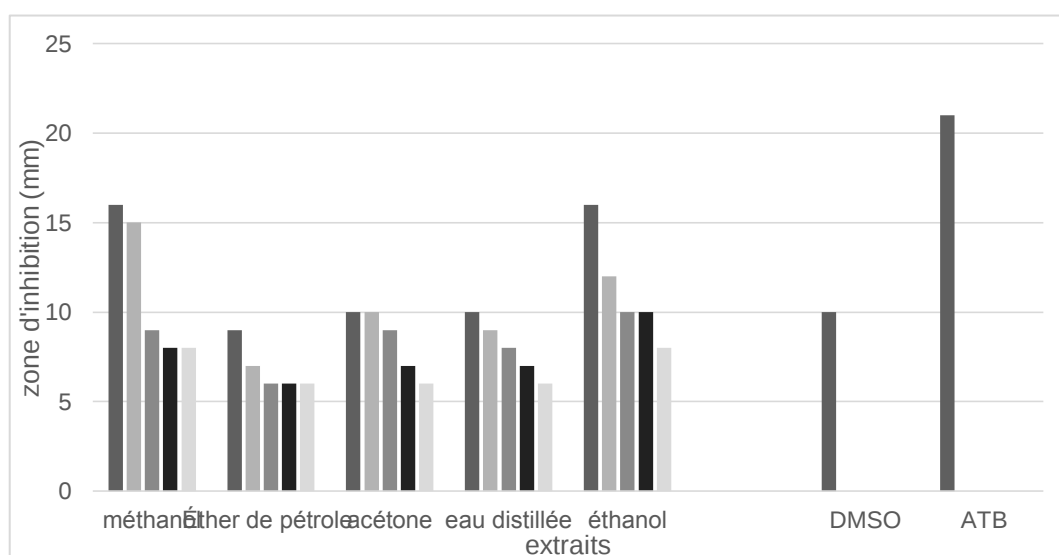


Figure (26) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus ilex* sur *Pseudomonas aeruginosa*.

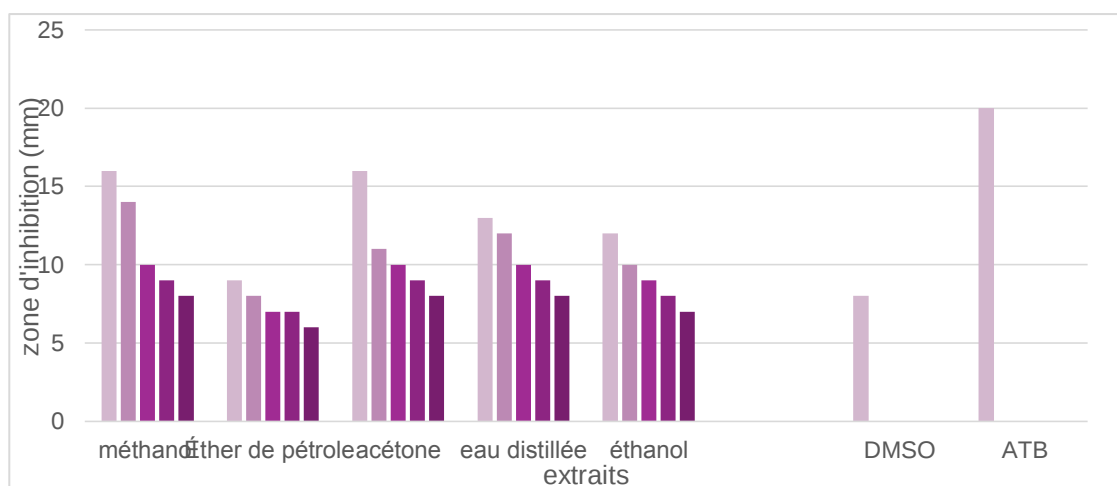


Figure (27) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus canariensis* sur *Pseudomonas aeruginosa*.

Ces résultats confirment l'efficacité comparable des deux espèces face à cette souche.

V.3.4. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Klebsiella pneumoniae*

Les extraits de *Quercus Canariensis* démontrent un effet supérieure à ceux de *Quercus Ilex* contre *Klebsiella pneumoniae*, avec des zones d'inhibition plus importantes. Tandis que *Q. Ilex* performe mieux avec l'éthanol (15 mm) et *Q. canariensis* excelle avec l'eau distillée (16 mm).

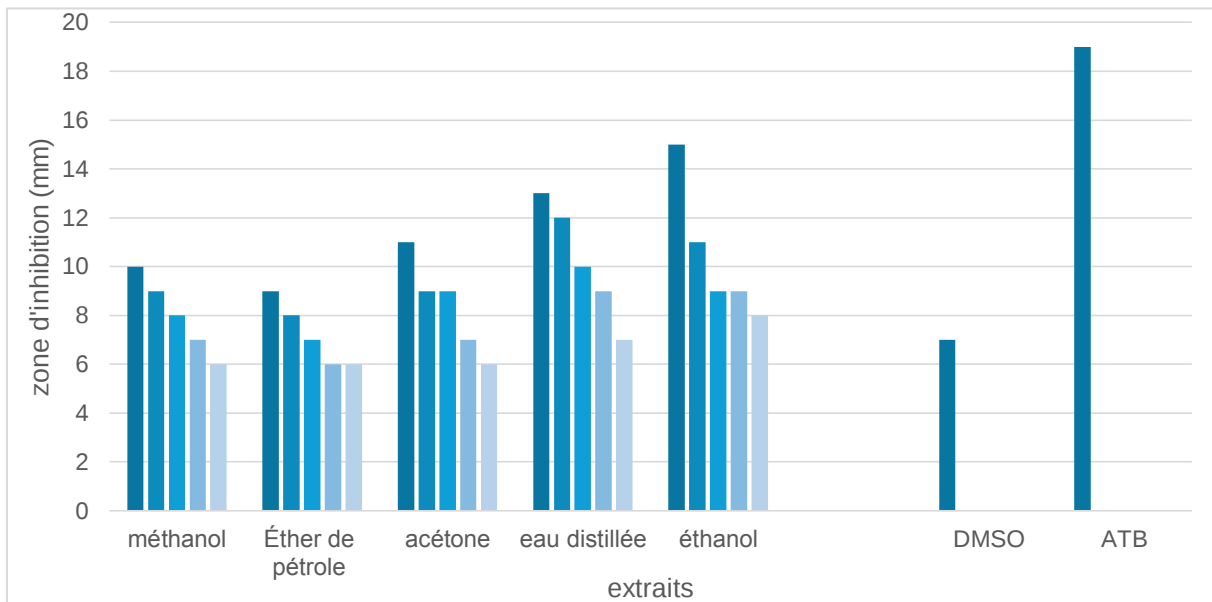


Figure (28) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus ilex* sur *Klebsiella pneumoniae*

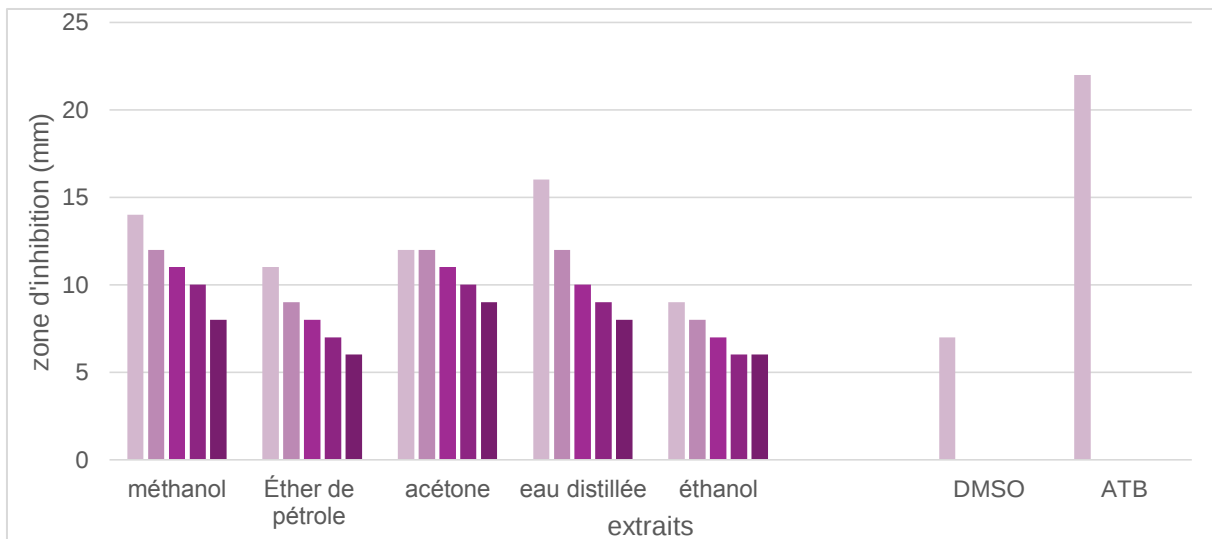


Figure (29) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus canariensis* sur *Klebsiella pneumoniae*

V.3.5. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Proteus mirabilis*

Les extraits de *Quercus canariensis* démontrent une activité antibactérienne légèrement plus élevée que ceux de *Quercus ilex* contre de *Proteus mirabilis*. L'éther de pétrole est identifié comme le solvant d'extraction le plus efficace pour *Q. canariensis* (12 mm), tandis que l'éthanol et l'eau distillée sont considérés comme optimaux pour *Q. Ilex* (10 mm). Les diamètres des zones d'inhibition mesurées se situent généralement dans une fourchette de 6 à 12 mm pour les divers extraits, la souche *Q. canariensis* se distinguant par une plus grande reproductibilité des résultats et une activité plus stable à travers les divers solvants d'extraction.

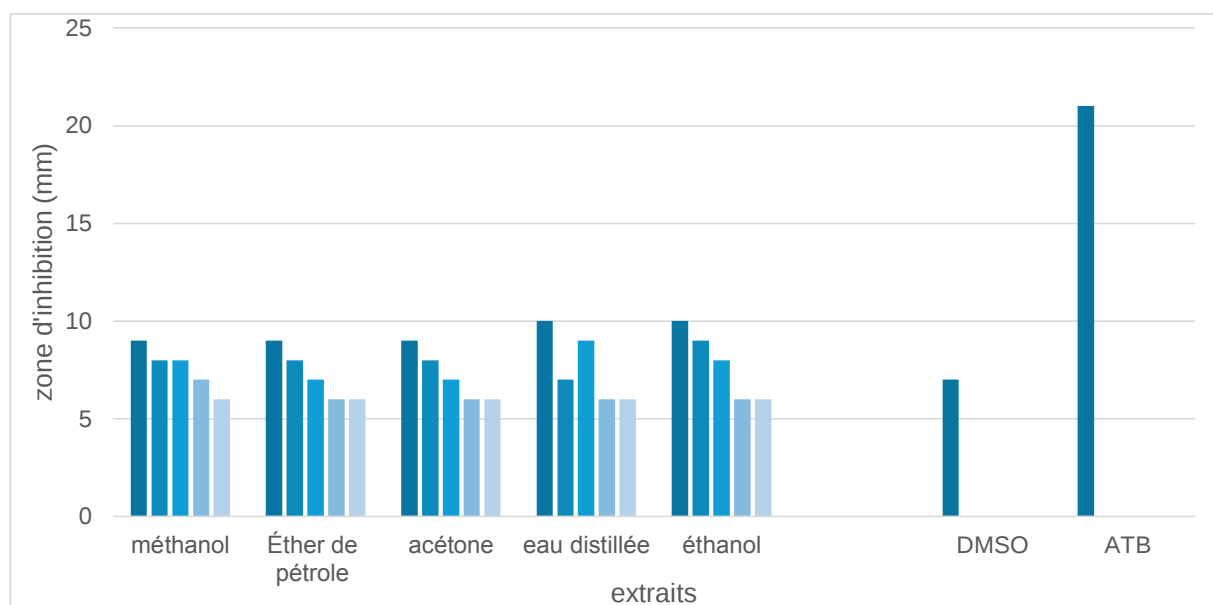


Figure (30) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus ilex* sur *Proteus mirabilis*

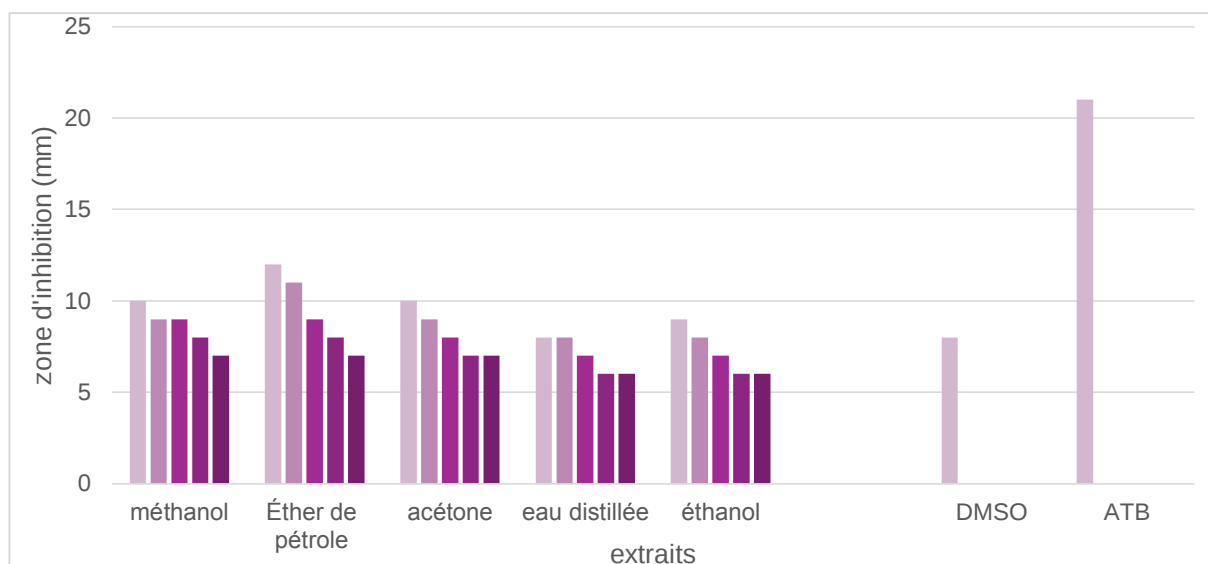


Figure (31) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus canariensis* sur *Proteus mirabilis*

V.3.6. Activité antibactérienne des extraits de *Q. ilex* et *Q. Canariensis* sur *Acinetobacter baumannii*

Les extraits de *Quercus Ilex* démontrent une activité antibactérienne nettement supérieure à ceux de *Q. canariensis* contre *Acinetobacter baumannii*. Le méthanol constitue le solvant d'extraction le plus efficace pour *Q. ilex* (17 mm), suivi de l'éther de pétrole (15 mm), tandis que pour *Q. canariensis*, l'acétone donne les meilleurs résultats (16 mm). Cette inversion de tendance par rapport aux autres souches testées suggère qu'*Acinetobacter baumannii* présente une sensibilité particulière aux composés bioactifs de *Quercus Ilex*, avec des zones d'inhibition variant entre 8-17 mm pour cette espèce contre 6-16 mm pour *Q. canariensis*.

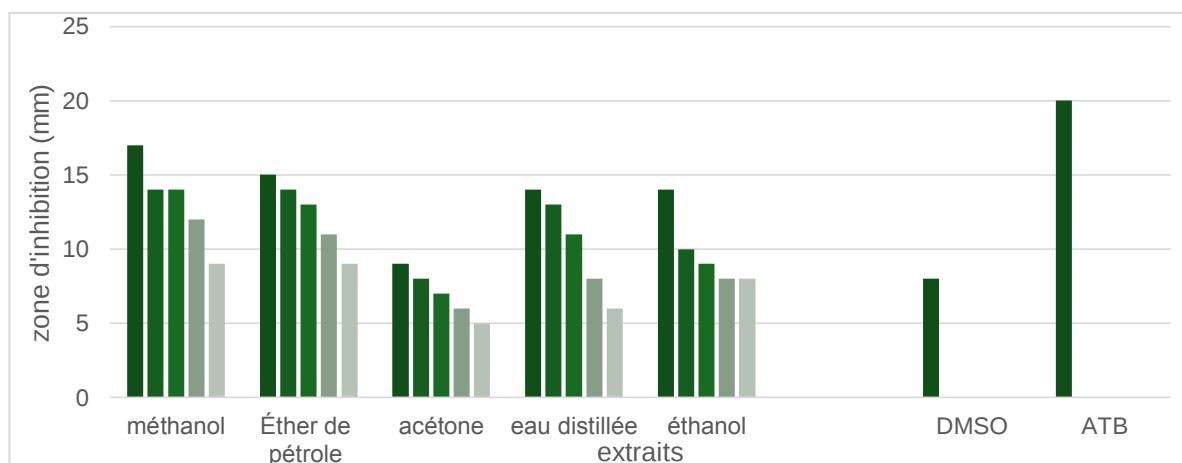


Figure (32) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus ilex* sur *Acinetobacter baumannii*

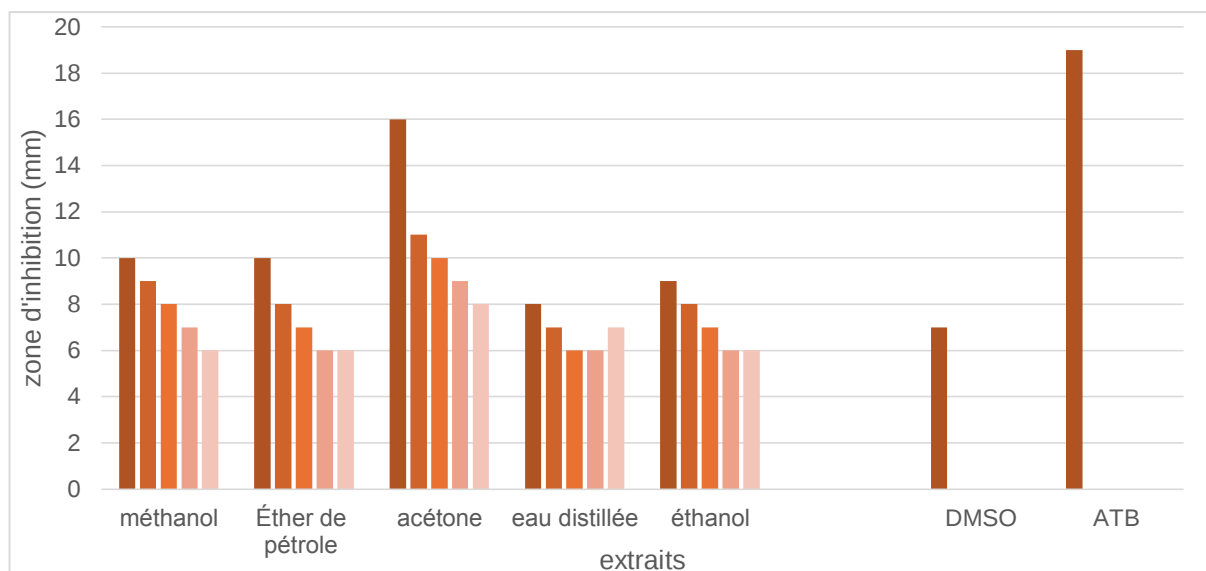


Figure (33) : Effet antibactérien des extraits de *Quercus canariensis* sur *Acinetobacter baumannii*

• Discussion

Les extraits polaires (acétonique, méthanolique, aqueux) de *Quercus ilex* ont démontré une activité antibactérienne significative : zones d'inhibition de 12–14 mm (*Staphylococcus aureus*), 11–13 mm (*Escherichia coli*), 16 mm (*Pseudomonas aeruginosa*) et jusqu'à 17 mm (*Acinetobacter baumannii*). Ces résultats confirment ceux de **Güllüce et al. (2004)** qui, avec un extrait méthanolique à 300 µL/mL, ont obtenu des CMI compris entre 125 et 500 µL/mL et observé une inhibition notable sur *E. coli* et *Pseudomonas* via la méthode diffusion sur disque. En outre, **Berahou et al. (2007)** ont montré que des extraits éthyl-acétate, butanol et aqueux d'écorce de *Q. ilex* présentent des CMI de 128–512 µg/mL contre diverses souches bactériennes.

Concernant *Quercus canariensis*, les extraits méthanolique et acétonique ont respectivement inhibé *S. aureus* (17 mm) et *P. aeruginosa* (16 mm), ce qui concorde avec les données de **Tebbal et al. (2025)**, qui rapportent des zones >21 mm et indiquent une teneur en polyphénols de 9,5–9,9 mg GAE/g ainsi que 22 % de néophytadiène repérée par GC–MS.

La faible efficacité observée avec les extraits à l'éther de pétrole (≤ 12 mm) s'explique par leur incapacité à extraire les composés hydrophiles actifs phénols, flavonoïdes et proanthocyanidines, conformément aux analyses phytopharmaceutiques récentes.

V.4. Etudes de l'activité antioxydante

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de *Quercus ilex* et *Quercus canariensis* vis-à-vis du radical libre DPPH a été réalisée par spectrophotométrie. Cette méthode repose sur la capacité des composés antioxydants à réduire le radical DPPH, se traduisant par un changement colorimétrique caractéristique du violet au jaune, permettant ainsi de quantifier l'activité anti radicalaire des différents extraits testés.

V.4.1 L'effet d'activité antioxydante sur *Quercus ilex*

L'activité antioxydante des extraits de *Quercus ilex* présente une variation significative selon solvant d'extraction utilisé. Les extraits méthanoliques et éthanoliques démontrent des activités remarquables, avec des taux d'inhibition de 55 à 58 % à une concentration de 50 $\mu\text{g/ml}$, qui sont similaires à ceux de l'acide ascorbique (60 % à 50 $\mu\text{g/ml}$). L'extrait acétonique révèle une activité modérée de 35 %, alors que les extraits aqueux et d'éther de pétrole démontrent des activités plus faibles, variant entre 15 et 30 %. Cette classification traduit la capacité d'extraction des composés phénoliques antioxydants en fonction de la polarité du solvant.

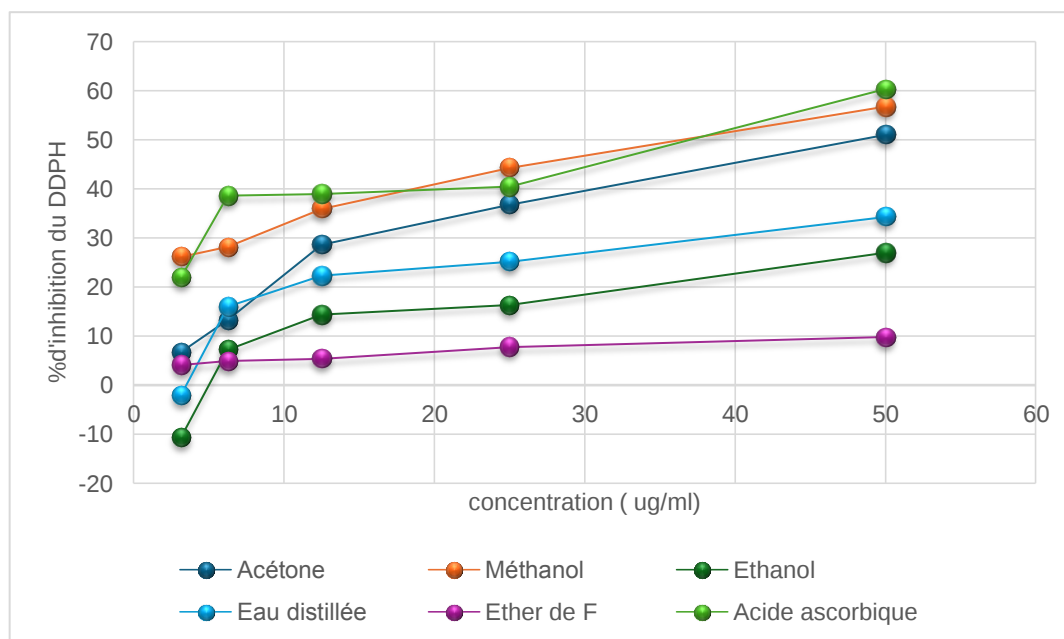


Figure (34) : L'activité antioxydante des extraits de *Quercus ilex* et l'acide ascorbique.

V.4.2. L'effet d'activité antioxydante sur *Quercus canariensis*

Les extraits de *Quercus canariensis* ont démontré une activité antioxydante nettement plus élevée que celle de *Q. ilex*. Les extraits méthanolique et éthanolique montrent respectivement des taux d'inhibition de 57 % et 56 % à la concentration de 50 µg/ml, se rapprochant considérablement de l'efficacité de l'acide ascorbique. De plus, l'extrait acétonique démontre une activité plus intense (40% comparé à 35% pour *Q. ilex*), tandis que les extraits aqueux et d'éther de pétrole affichent aussi des performances supérieures. Ces observations indiquent une plus grande abondance de composés antioxydants secondaires chez *Q. canariensis*.

La capacité des extraits testés à piéger le radical libre DPPH° a été évaluée à travers leurs valeurs de CI_{50} , correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité radicalaire. Cette valeur, inversement proportionnelle à l'efficacité antioxydante, a été calculée selon la relation : $CI_{50} = 50/k$

k = la pente de l'évolution du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration.

Ainsi, plus la CI_{50} est faible, plus l'extrait possède une forte capacité à éliminer les radicaux libres.

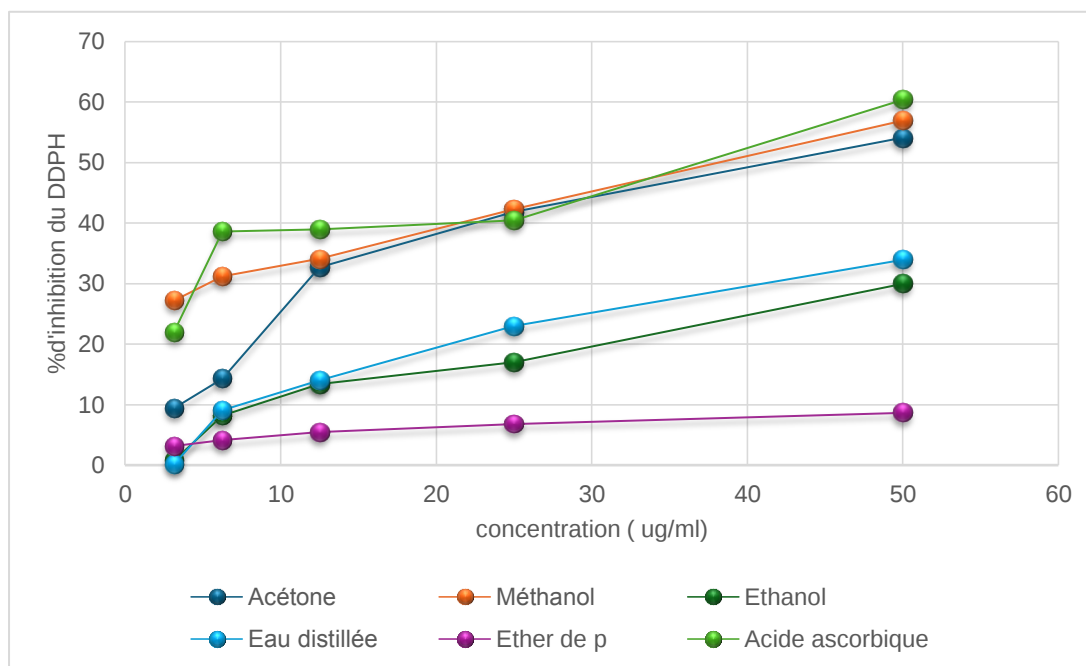


Figure (35) : L'activité antioxydante des extraits de *Quercus canariensis* et l'acide ascorbique

Tableau (09): Valeurs CI_{50} d'extrait de *Q. ilex* et *Q. canariensis* et de l'acide ascorbique.

Extraits	CI ₅₀ (µg/ml) <i>Q. ilex</i> %	CI ₅₀ (µg/ml) <i>Q. canariensis</i> %	Interprétation
Acide ascorbique	76.82	76.82	Très forte activité
Acétone	90.96	87.84	Forte activité
Méthanol	92.93	95.86	Bonne activité
Éthanol	120.95	110.91	Moyenne activité
Eau distillée	125.87	132.27	Faible activité
Éther de pétrole	412.83	451.19	Très faible activité

• Discussion

Les extraits de *Quercus ilex* et de *Quercus canariensis* démontrent une activité antioxydante relativement proche, malgré des variations observées en fonction du solvant employé. Par conséquent, on a observé que *Q. ilex* présente une activité légèrement plus élevée dans les extraits méthanoliques, ce qui suggère une affinité accrue de ses composés antioxydants avec ce solvant polaire. En contraste, *Q. canariensis* présente une activité plus prononcée dans les extraits acétoniques et éthanoliques, ce qui suggère une composition phénolique distincte ou une meilleure solubilité de ses métabolites dans ces solvants.

Les extraits méthanolique et éthanolique de *Quercus ilex* ont montré une inhibition de 55–58 % à 50 µg/ml du radical DPPH, se rapprochant fortement de celle de l'acide ascorbique (~60 %), tandis que les extraits acétonique, aqueux et d'éther de pétrole ont présenté une efficacité moindre (35 % et 15–30 %). Pour *Quercus canariensis*, les extraits méthanolique et éthanolique ont respectivement atteint 57 % et 56 %, avec 40 % pour l'extrait acétonique et de meilleures performances pour les autres solvants. Ces observations sont confirmées par les valeurs de CI₅₀ : chez *Q. ilex*, 92,9 µg/ml (méthanol), 120,9 µg/ml (éthanol) et 90,9 µg/ml (acétonique) ; chez *Q. canariensis*, des valeurs légèrement plus faibles (95,9, 110,9, 87,8 µg/ml). Les extraits aqueux et d'éther de pétrole présentent des CI₅₀ supérieurs à 125 µg/ml, indiquant une activité plus faible.

Q. canariensis, **Tebbal et al. (2025)** ont montré que « l'extrait éthanolique présentait le CI₅₀ le plus faible, démontrant ainsi la plus forte activité antioxydante, avec une valeur inverse de 2,63 mg/mL ».

ces données valident nos résultats montrant une légère supériorité de *Q. canariensis* dans les extraits méthanolique et éthanolique. Par ailleurs, **Fkiri et al. (2023)** ont obtenu un IC₅₀

≈ 52,8 µg/ml pour l'extrait méthanolique d'amandons de *Q. canariensis*, confirmant la forte capacité antioxydante de cette espèce.

V.5. Etude d'activité anti inflammatoire

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire des extraits de *Quercus canariensis* et *Quercus ilex* a été réalisée par la méthode de dénaturation thermique de l'albumine, une approche biochimique couramment utilisée pour estimer la capacité des composés à préserver l'intégrité structurale des protéines soumises à un stress. Cette méthode repose sur une comparaison rigoureuse avec un anti-inflammatoire de référence (diclofénac) et un témoin négatif (NaCl), permettant ainsi de situer l'efficacité relative des extraits testés.

V.5.1. Extraits Acétoniques

Les extraits de *Quercus canariensis* montrent des niveaux d'inhibition plus élevés que ceux de *Quercus ilex*, particulièrement à une concentration de 10 mg/ml où ils se rassemblent davantage autour du témoin positif (diclofénac). Cela suggère que *Q. canariensis* est plus performant pour minimiser la dénaturation des protéines en cas de stress thermique, le différenciant clairement de *Q. ilex*.

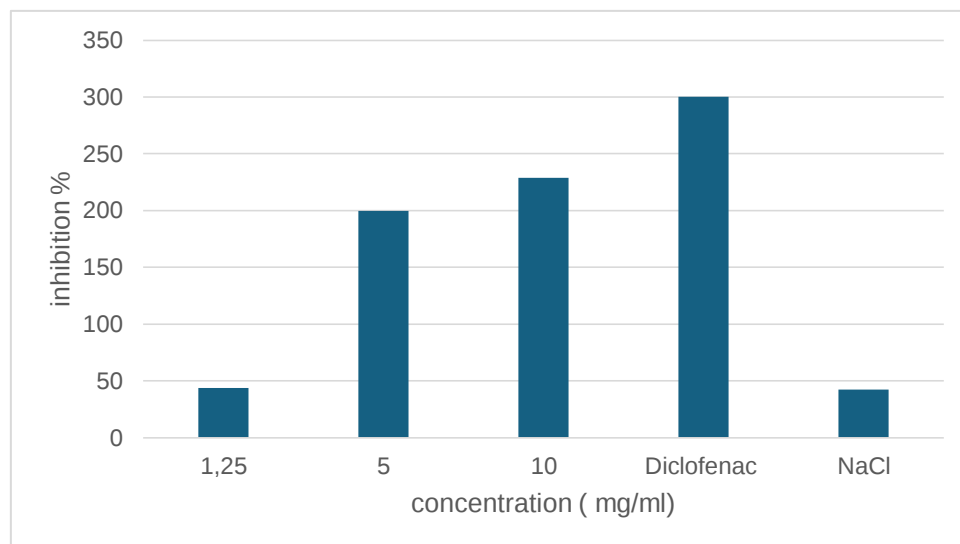


Figure (35) : Effet anti-inflammatoires des extraits acétonique de *Quercus ilex*.

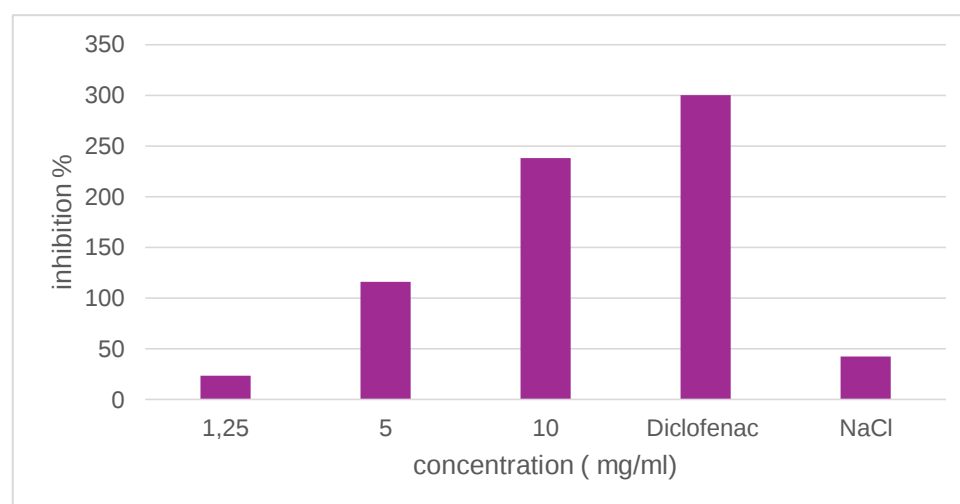


Figure (36) : Effet anti-inflammatoires des extraits acétonique de *Quercus canariensis*.

V.5.2. Extraits Méthanoliques

Les extraits méthanoliques de *Quercus canariensis* montrent des niveaux d'inhibition plus élevés que ceux constatés pour *Quercus ilex*, en particulier à 10 mg/ml, où leurs valeurs se rapprochent significativement de celles du standard (diclofénac). Ces observations soulignent la capacité supérieure de *Q. canariensis* à préserver l'intégrité des protéines face au stress thermique.

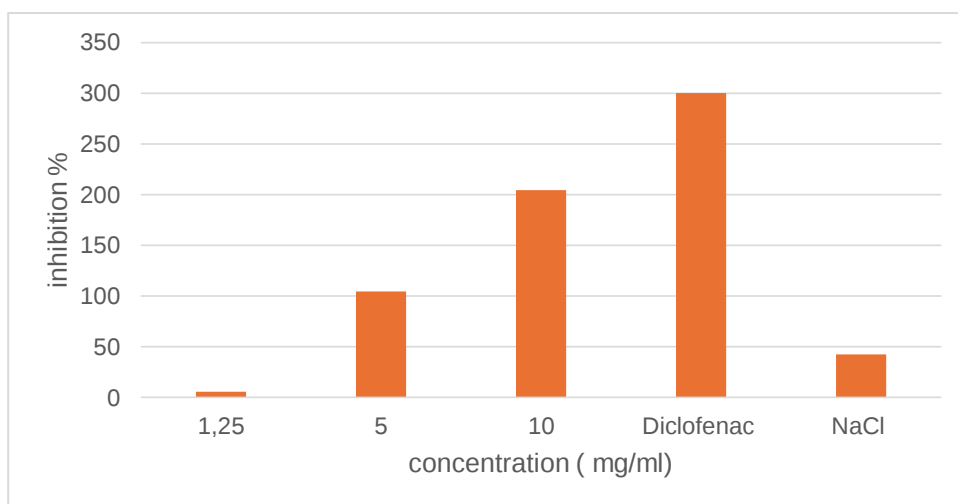


Figure (37): Effet anti-inflammatoires des extraits méthanoliques de *Quercus ilex*

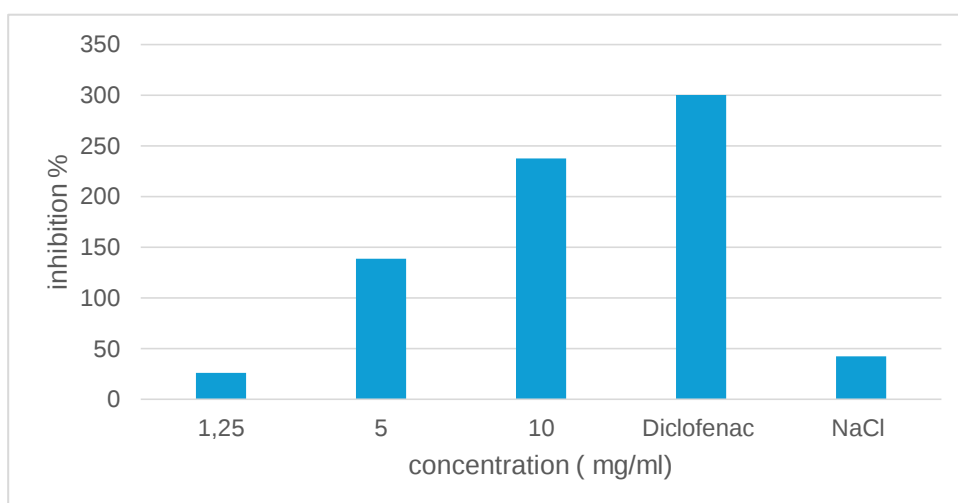


Figure (38) : Effet anti-inflammatoires des extraits méthanoliques de *Quercus canariensis*.

V.5.3. Extraits éthanoliques

Concernant les extraits éthanoliques, *Quercus ilex* présente des taux d'inhibition plus élevés que *Quercus canariensis*, en particulier à la concentration de 10 mg/ml, où ses résultats se rapprochent davantage de ceux du témoin positif (diclofénac). Ce constat met en évidence la capacité supérieure des extraits de *Q. ilex* à préserver l'intégrité structurale des protéines soumises à un stress thermique, comparativement à *Q. canariensis*.

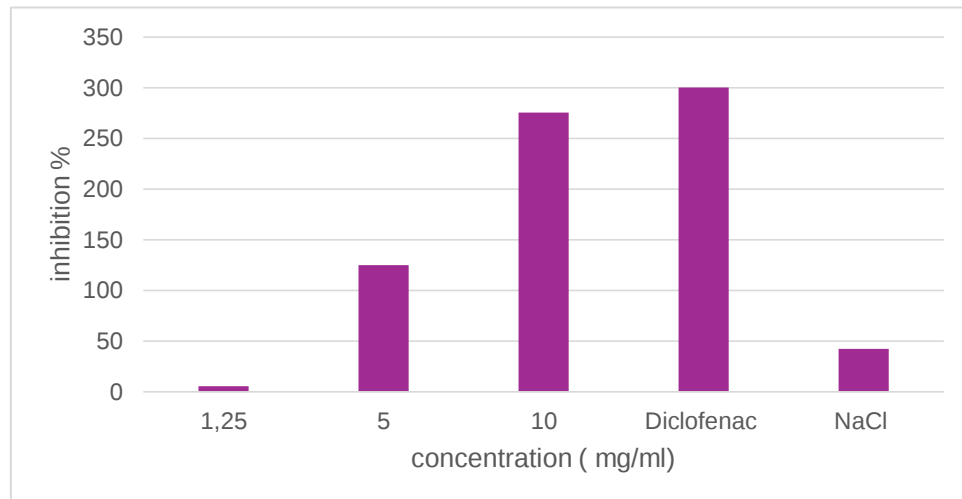


Figure (39): Effet anti-inflammatoires des extraits éthanoliques de *Quercus ilex*

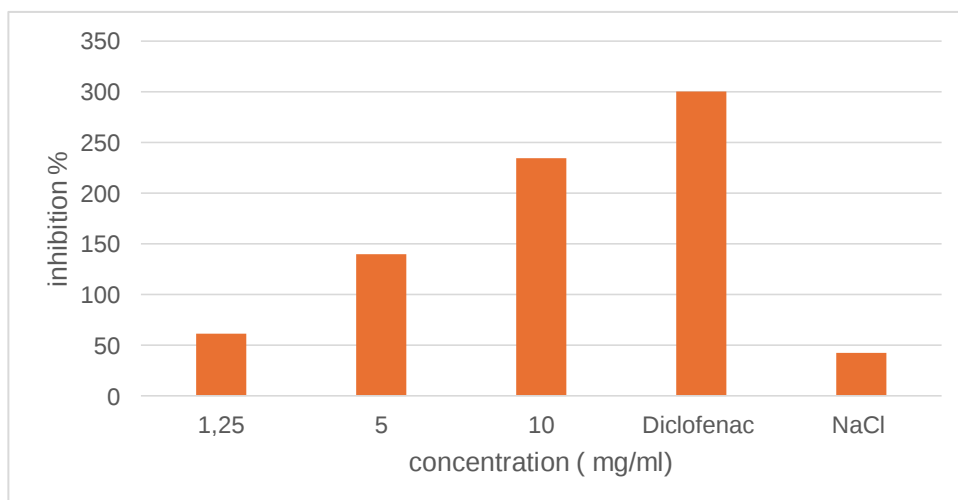


Figure (40) : Effet anti-inflammatoires des extraits éthanoliques de *Quercus canariensis*

V.5.4.Extraits aqueux

Pour les extraits aqueux, *Quercus canariensis* se démarque par des taux d'inhibition plus importants comparativement à ceux observés pour *Quercus ilex*, surtout à la concentration de 10 mg/ml où ses résultats sont presque similaires à ceux du diclofénac. Ces observations indiquent une aptitude supérieure des extraits aqueux de *Q. canariensis* à prévenir la dénaturation des protéines provoquée par un stress thermique, par rapport à *Q. ilex*.

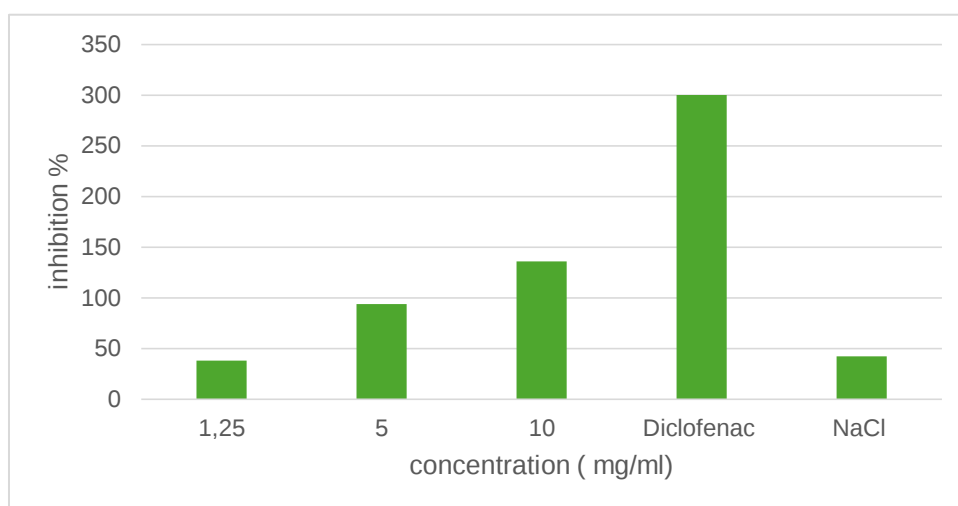


Figure (41): Effet anti-inflammatoires des extraits aqueux de *Quercus ilex*

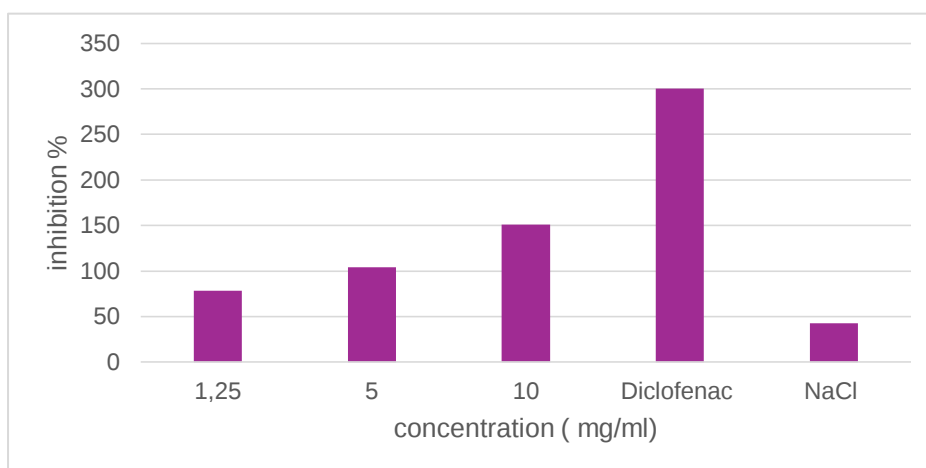


Figure (42) : Effet anti-inflammatoires des extraits aqueux de *Quercus canariensis*

V.5.5.Extraits à l'éther de pétrole

Les extraits à l'éther de pétrole de *Quercus ilex* et *Quercus canariensis* présentent des pourcentages d'inhibition très proches sur l'ensemble des concentrations utilisé. Cette ressemblance indique activité similaire des deux espèces dans l'éther de pétrole. Toutefois, il convient de souligner que les niveaux d'inhibition observés restent très faibles pour les deux espèces, et restent largement inférieurs à ceux du diclofénac. Ces résultats suggèrent ainsi une capacité limitée des composés extraits à l'éther de pétrole à stabiliser les protéines soumises à un stress thermique, quelle que soit l'espèce *Q. Canariensis* ou *Q. ilex*.

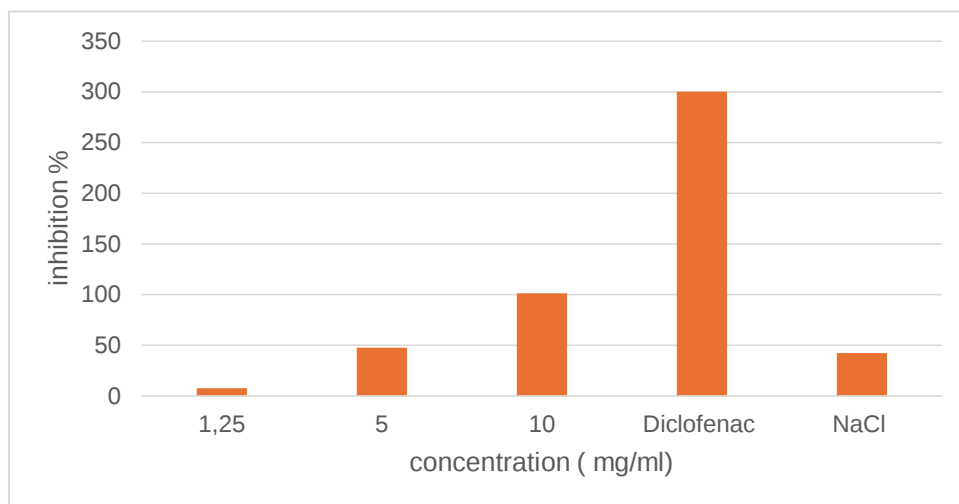


Figure (43) : Effet anti-inflammatoires des extraits à l'éther de pétrole de *Quercus ilex*

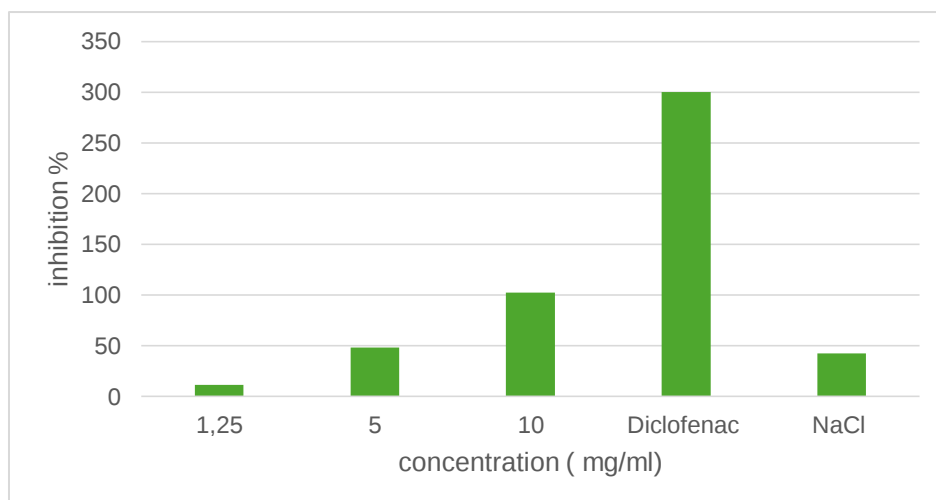


Figure (44): Effet anti-inflammatoires des extraits à l'éther de pétrole de *Quercus canariensis*

- **Discussion**

Les extraits acétoniques et méthanolique de *Quercus canariensis* présentent une inhibition plus forte que ceux de *Quercus ilex*, particulièrement à 10 mg/ml, avec des valeurs comparables à celles du diclofénac, ce qui suggère une capacité significative à stabiliser les protéines sous stress thermique. À l'inverse, les extraits éthanoliques montrent une supériorité de *Q. ilex*, ses valeurs se rapprochant davantage du standard. Les extraits aqueux de *Q. canariensis* surpassent nettement ceux de *Q. ilex*, tandis que les extraits à l'éther de pétrole des deux espèces montrent des inhibitions très faibles, loin en dessous du diclofénac.

Ces résultats confirment que les solvants polaires concentrent des composés anti-inflammatoires (phénols, flavonoïdes) capables de protéger l'albumine de la dénaturation thermique. Les travaux précédents montrent que cette méthode *in vitro* est bien établie, **Madhuranga et Samarakoon (2023)** soulignent que les extraits de plantes qui protègent l'albumine "peuvent se traduire par une action anti-inflammatoire significative". De même, **Govindappa et al. (2011)** ont observé que des extraits méthanoliques stabilisent efficacement l'albumine dans cette même configuration, et **Samaraweera et al. (2023)** ont démontré que l'extrait d'*Jeffreyia zeylanica* inhibe la dénaturation de l'albumine de manière comparable au diclofénac.

Ainsi, la supériorité des extraits polaires de *Q. canariensis* (acétonique, méthanolique, aqueux) est cohérente avec un profil moléculaire riche en anti-inflammatoires solubles dans ces solvants, tandis que *Q. ilex* semble mieux adapté à l'éthanol. De plus, l'activité très faible des extraits à l'éther de pétrole confirme que la polarité est un facteur déterminant pour extraire ces composés protecteurs contre la dénaturation protéique.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence les propriétés phytochimiques et les activités biologiques des extraits de feuilles de *Quercus ilex* et *Quercus canariensis*, obtenus à partir de différents solvants (méthanol, éthanol, acétone, éther de pétrole et eau distillée).

Le criblage phytochimique a révélé la richesse des deux espèces en composés bioactifs tels que les tanins (galliques et catéchétiques), les flavonoïdes, les saponines et les quinones libres.

Aussi, l'activité antibactérienne menés sur 6 souches pathogènes, ont montré que les extraits méthanoliques et acétoniques étaient les plus actifs. Pour *Quercus ilex*, l'extrait méthanolique s'est distingué par une zone d'inhibition de (17 mm) contre *Acinetobacter baumannii*, ainsi que par des diamètres de (16 mm) contre *Pseudomonas aeruginosa* avec les extraits méthanolique et éthanolique. Concernant *Quercus canariensis*, l'extrait méthanolique a montré une inhibition de (17 mm) contre *Staphylococcus aureus*, tandis que les extraits acétonique et méthanolique ont atteint (16 mm) contre *Pseudomonas aeruginosa*.

L'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du DPPH a montré que les extraits acétoniques et méthanoliques des deux espèces possédaient une capacité intéressante à piéger les radicaux libres, avec des valeurs d'IC₅₀ inférieures à 100 µg/ml. Pour *Q. ilex*, l'extrait acétonique (IC₅₀ = 90,96 µg/ml) présente une forte activité antioxydante, suivi de l'extrait méthanolique (IC₅₀ = 92,93 µg/ml). De même, *Q. canariensis* s'est illustré par un IC₅₀ de 87,84 µg/ml pour l'extrait acétonique, indiquant une activité légèrement supérieure à celle de *Q. ilex*, et de 95,86 µg/ml pour l'extrait méthanolique, traduisant une bonne activité antioxydante.

Enfin, les tests d'activité anti-inflammatoire ont révélé que les extraits éthanoliques de *Q. ilex* ainsi que les extraits méthanolique et acétonique de *Q. canariensis* étaient les plus prometteurs, traduisant un potentiel intéressant dans la modulation des processus inflammatoires.

Ainsi, cette étude confirme la valeur des *Quercus ilex* et *Quercus canariensis* comme sources de composés phytochimiques bioactifs dotés d'activités antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires notables, ouvrant la voie à leur valorisation future dans des applications pharmaceutiques et nutraceutiques.

Nous suggérons quelques perspectives et thématiques pour les études futures qui découlent de notre recherche, afin d'en approfondir les connaissances, d'en pallier les limites et de favoriser leur exploitation rationnelle :

- Etude comparative sur d'autres espèces du genre *Quercus* ainsi que sur d'autres parties des plantes (écorce, glands) pour élargir le champ des valorisations potentielles.
- Explorer l'application des extraits dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire, en tant qu'additifs naturels ou agents de conservation.
- Effectuer des études in vivo sur des modèles animaux pour confirmer l'efficacité et la biodisponibilité des extraits...etc.

Références bibliographiques

- **Abdeldjalil Aissa ; Yassine Beghami & Myriam Heuertz. 2019** – Le chêne faginé (*Quercus Faginea*, *Fagaceae*) en Algérie : potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et Des semis. pp 437-449.
- **Achhal et al. 1980** – A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques Essences forestières au Maroc. *Ecologiaméditerranée*, 5, p. 211-249.
- **Ahmadi, F., Ghasemi, E., Karimi, A., Khazaie, H., & Abdi, M. 2019.** Phytochemical and biological evaluation of *Quercus brantii* Lindl. Barks using conventional and ultrasound-assisted extraction methods. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18(3), 1550-1563.
- **Al Aboody, M. S., & Mickymaray, S. 2020.** Anti-fungal efficacy and mechanisms of flavonoids. *_Antibiotics*, 9_(2), 45.
- **Antoine Kremer et al., 2002.** Identification of refugia and post-glacial colonization routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest ecology and management*. Edition Elsevier. 49-74.
- **Arbenz, A., & Avérous, L. 2015.** Chemical modification of tannins to elaborate aromatic biobased macromolecular architectures. *Green Chemistry*, 17, 2626-2646.
- **Babayi H., Kolo I., 2004.** The antimicrobial activities of methanolic extracts of *Eucalyptus camaldulensis* and *Terminalia catappa* against some pathogen microorganisms. *Biochemist*, 16(2) : 102-105.
- **Barbero M., Loisel R., 1980** : Le chêne vert en région méditerranéenne. *Rev.*
- **Bayer E et al ,2005.** Guide de la flore méditerranéenne. Caractéristiques, habitat.
- **Beaulieu, A. L. H., Lamant, T. 2006.** Guide illustré des chênes : Ed. du 8émé , Paris.
- **Belabbas Z., 2010** : Caractéristiques biologiques et écologiques des pontes du *Bombyx dispar*ate, *Lymantria dispar* L. (Lépidoptèra : Lymantriidae) dans les Yeuseraies des Parcs Nationaus de Chréa et de Djurdjura, E.N.S.A 114p.
- **Beldi, B., Draredja, B., Filali, B., & Soltani, N. 2021.** Composition and distribution of Patelli-dae (Mollusca Gastropoda) in the Algerian East coast : the case of Jijel. *Biodiversity Journal*, 12(2), 495-500.
- **Belkheiri, N. ,2010.** Dérivés phénoliques à activités antiathérogènes. Thèse de Doctorat : Université de TOULOUSE.
- **Bénard. C, Thèse de Doctorat : Université de NANCY, 2009,** thèse de doctorat Université des Sciences exactes, des sciences de la nature et de vie Mohamed Khider – Biskra.

- **Benia F. (2010).** Étude de la faune entomologique associée au chêne vert.
- **Benoit, P. S., Fong, H. H., Svoboda, G. H., & Farnsworth, N. R. 1976.** Biological and phytochemical evaluation of plants. XIV. Anti inflammatory evaluation of 163 species of plants. *Lloydia*, 39(3), 160-171.
- **Berrichi M., 2011 :** Détermination des aptitudes technologiques du bois de *Quercus rotundifolia* Lamk et possibilités de valorisation, Université Abou
- **Bonotte B., Olsson N.O et LOrcerie B., 2003.** Le syndrome inflammatoire. *La revue Du praticien*, France, pp : 487-490.
- **Boucif, O. E. W., Rached-Kanouni, M., & Chouiter, N. 2024.** Phytochemical characterization and valorization of *Quercus ilex* (west of Algeria). *Global NEST Journal*, 26(10), Article 06636.
- **Boudy P. 1950.** *Economie forestière Nord-africaine*, Tome 2, Fasc. I, Ed. Larose, Paris. 575p.
- **Boudy P. 1952.** *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Edition la Maison. Rustique, Paris. 505p.
- **Boudy P. 1955.** *Economie forestière Nord Africaine*. Ed. Larose. Paris. T4. *Description Forestière de l'Algérie et de la Tunisie*. 450p.
- **Bouherroum, M., 2007.** Etude phytochimique des plantes médicinales algériennes : *rhantherium adpressum* et *ononis angustissima*. Thèse de doctorat : université MENTOURI de CONSTANTINE ALGERIE.
- **Bruneton J., 1999.** *Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales*. Edition Technique et documentation, p233.
- **Bruneton J, 2009.-***Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales. Techniques et Documentation*. 4^e ED. Lavoisier. Paris.1243p.
- **Camus 1939.** *Les chênes : Monographie du genre Quercus*. Trois volumes. Ed. le chevalier et Fils ,1314p.
- **Ceballos, L., & Ruiz de la Torre, J. 1971.** *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección de Publicaciones. 512 p.
- **Chandra S., Chatterjee P., Dey P., Bhattacharya S. & Bhattacharya, S. 2012** Evaluation of in vitro anti-inflammatory activity of coffee against the denaturation of protein. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(Suppl 1), S178–S180.

- **Chira K, Suh JH, Saucier C, Teissèdre PL.** Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie* **2008** 6 :75- 82.
- **Dahmani, Megrouche M., 2002 :** Typologie et dynamique des chênaies vertes.
- **Davis P., 2006.** Aromathérapie de A à Z : le guide le plus complet jamais publié sur Le sujet. Ed : Vigot. Paris, pp : 197, 409p.
- **Debib A., Tir-touil A., Mothana RA., Meddah B ET Sonnet P., 2014.** Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of two fruit varieties of Algerian *Ficus carica* L. *Journal of Food Biochem.* Volume (n°38), P : 207–215.
- **Degrou, A. E. ,2013.** Etude de l'impact des procédés de transformation sur la diffusion des caroténoïdes : cas du lycopène de la tomate, Université d'Avignon.
- **Del Rio, D., Stalmach, A., Calani, L. & Crozier, A., 2010.** Bioavailability of coffee chlorogenic acids and green tea flavan-3-ols. *Nutrients* 2, 820-833.
- **Dujardin P., 2010.** Fédération Française de Bonsaï Passage de Niveau 3 de l'Ecole Française du Bonsaï 18 et 19 Octobre .25p
- **El Wahida, et al. (2025).** *Fatty acid composition and antioxidant capacity of defatted, non-defatted and oils extracts of Quercus ilex fruit from Algeria.* (Septembre 2024). [Article].
- **Emberger L. A1939.** Aperçu général sur la végétation du Maroc : commentaire de la carte Phytogéographique du Maroc à 1/1500000. Veroff. Geobot. Insti. Rubel Zurich, 14, p 40-157. Forest. Algérie. Pp 3-27. En Algérie. Forêt Méditerranéenne, XX III (2) p 117-132.
- **Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M. and Abdelly C. 2008.** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Compt. Rend.Biol.* Vol. 331. Pp. 372-379.
- **Farooq, A., Hussain, I., & Alfarhan, A. H. (2021).** *A comprehensive review of phytochemistry and biological activities of Quercus species.* **Forests**, **11**(9), 904.
- **Fkiri, S., Ben Hamed, A., Dhifi, W., et al. (2023).** *Chemical composition and bioactivities of Quercus canariensis flour acorns extracts growing in Tunisia.* *Chemistry & Biodiversity*, p 20(5).
- **Fraga, C. G., 2009.** Plant phenolics and human health : Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology. John Wiley & Sons Edition, pp 5-13.
- **Fritch H. and GRIESBACH H, 1975.** Biosynthesis of cyaniding in cell cultures of *Haplopappus gracilis*. *Phytochem*, 14 : 2437-42.

- **Gazengel J.M et Orecchoni A.M., 1999.** Le préparateur en pharmacie, guide Théorique et pratique. Ed : Tech & Doc. Paris, pp : 155, 693p.
- **Genevois H. ,1975.** Le rituel Agraire. Edition : Dioc, Algeria, 63 p.
- **Gharbi, H., & Meziani, M. 2019.** Evolution de la végétation du parc national de Chréa (Algérie). Université des Frères Mentouri Constantine 1. Glands et la croissance ultérieure des plants de     ne vert (*Quercus ilex*).
- **Gonzalez-Iglesias, D., Rubio, L., Martinez-Vazquez, F., Castillo, A., Celeiro, M., Garcia-Jares, C., & Lores, M. (2025).** *Phytochemical and antioxidant comparison of Quercus ilex and Quercus robur acorn extracts obtained by matrix solid-phase dispersion.* RSC Advances, 15, 12538–12546. <https://doi.org/10.1039/D4RA08675A>
- **Govindappa, M., Gee, S. K., & Swamy, M. S. (2020).** *Antimicrobial, antioxidant and in vitro anti-inflammatory activity and brine shrimp lethality assay of endophytic fungi from Thymus species.* Journal of Ethnopharmacology, p 261.
- **G  ll  ce, M., Adig  zel, A., O  g  t    , H.,   eng  l, M., Karaman,   ., &   ahin, F. (2004).** *Antimicrobial effects of Quercus ilex L. extract.* *Phytotherapy Research*, 18(3), p 208–211.
- **Haichour R. 2009.** Stress thermique et limite écologique du     ne vert en Algérie.
- **Hamidouche, C.,** Etude des relations entre les variables dendrométriques du     ne z    n (*Quercus canariensis Willd.*) dans la for    t d’Ath Ghobri (wilaya de Tizi-Ouzou). **2010**, INA.p5-8
- **Helali F. & Moussaoui A., 2016 :** Contribution    l’inventaire des coléoptères Inf  od  s au     ne vert (*Quercus ilex L.*) au niveau de la     naie de Bordj Zemoura (Wilaya de Bordj Bou Arreridj), Université Mohamed El Bachir EL Ibrahim B.B.A. 55p
- **Hody, C.d. 2016** Le     ne, un concentré de bienfaits en alimentation et santé. 19 octobre.
- **Hoffmann, D., 2003.** Medical Herbalism : The Science and Practice of Herbal Medicine. Edition Inner Traditions / Bear& Co., p 90.
- **Hopkins, W. G. ,2003.** Physiologie végétale. De Boeck Supérieur, p 280.
- **Ibrahimi B.B.A. 55p.** *Ilex L.) dans la for    t de Tafat (Sétif, Nord-est d’Algérie) et bio-écologie des espèces Inf  od  s au     ne vert (Quercus ilex L.) au niveau de la     naie de Bordj*

- **Junior, A. et Zani, C., 2000.** “Biological screening of Brazilian medicinal plants, Braz.J. Sci, V.95, 367-373
- **Kebili Z, 2016.**-Contribution à l'étude de quelques activités biologiques des extraits d'*Ephedra alata* de La région d'Ouargla. Mémoire de magister. Université de Ouargla. P72.
- **Kerio, L. C., Wachira, F. N., Wanyoko, J. K. & Rotich, M.K., 2012.** Characterization of anthocyanins in Kenyan teas : Extraction and identification. Food Chemistry 131, 31–38.99
- **Khalid. 1999** -Contribution à l'étude botanique et anatomique de trois espèces du genre *Quercus* : Chêne liège. Chêne vert et le chêne zéen, cas des monts de Tlemcen .Mém. Ing. Univ de Tlemcen. Inst. For.
- **Klaas C.A., Wagner G., Laufer S., Sosa S., Loggia R.D., Bomme U., Pahl H.L. et Merfort I. ,2002.** studies on the anti-inflammatory activity of phytopharmaceuticals prepared from Arnica flower. Planta Med, 68 : 385-391.
- **Kong, J.M., Chia, L.S., Goh, N.-K., Chia, T.-F. et Brouillard, R. 2003 .** Analysis and biological activities of anthocyanin in eggplant. Res. Commun Mol. Pathol. Pharmacol. 102(2), 175-87.
- **Koudou, P.J.,.** Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de Quelques plantes aromatiques et médicinales africaines, **2009**.p34
- **Koumiche F., 2016 :** Effet de quelques traitements physiques sur la Germination des glands et la croissance ultérieure des plantes du Chêne vert (*Quercus ilex*), Université de Tlemcen 33p.
- **Lacy, A. & O’Kennedy, R., 2004.** Studies on Coumarins and Coumarin-Related Compounds to Determine their Therapeutic Role in the Treatment of Cancer. Current Pharmaceutical Design 10, 3797-3811.
- **Laribi M. 2000** -Contribution à l'étude phytosociologique des formations caducifoliées à *Quercus canariensis* Willd et *Q. afares* Pomel du massif d'Ath ghabri-Akfadou (Grande Kabylie). Thèse de Magister, Univ. M. Mammeri de Tizi Ouzou, 155 p.
- **Le Houerou H.N. (1974).** L'impact de l'Homme et de ses animaux sur la forêt Méditerranéenne, 1^{re} partie, Forêt méditerranéenne, t.II, n°1, p155-174.
- **Lucchesi, M.-E.,** Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles. **2005**, Université de la Réunion.p72.

- **Maire R. 1961.** Flore de l'Afrique du Nord. Ed. PAUL LECHEVALIER, Paris, Vol. 7.p329.
- **Manos P.S. et Stanford A.M., 2001.** The historical biogeography of Fagaceae : tracking the tertiary history of temperate and subtropical forests of the northern hemisphere. Int. J. Plant Sci., vol. 162, n° 6 suppl., 2001, pp. S77-S93.
- **Mansour A., 2009.** Investigation phytochimique de l'extrait n-butanol de l'espèce *Centaurea africana*. Mémoire de magister, Univ. Costantine, 8p.
- **Mansour M. (1984).** Détermination des Oïdium du Chêne zéen (*Quercus mirbickii* Dur.) de la Forêt de Béni Ghobri de Tizi-Ouzou. D. E. S. en biologie végétale. Univ. Tizi-Ouzou. Master en protection des forêts. Université de Tlemcen. 57 p.
- **Meddour. 2010** – Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie ; exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne. Thèse Doct. Univ. Tizi-Ouzou, 397 p.
- **MESSAOUDÈNE & TESSIER L. 1991** – Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd et *Quercus afares* Pomel en Kabylie (Algérie). Ecologia Mediterranea. Pp119-133.
- **Messaoudene M. 1996.** Chêne zéen et Chêne afarès. La forêt Algérienne, Fev- Mars n°1. Ed. INRF, Bainem (Alger), p18-25.
- **Messaoudene ; M Laribi ; A Derridj. 2007** -Étude de la diversité floristique de la forêt de L'Akfadou (Algérie). Bois et forêts des tropiques, N° 291, pp 75-81.
- **Messaoudene. 1989** – Etude dendro-écologique et dendro-climatologique du chêne Zéen et du chêne afarès dans les massifs de Béni Ghobri et de l'Akfadou. Thèse Doct. En Sciences., Univ. Aix-Marseille III, 105p.
- **Messaoudene; L TESSIER. 1996** – Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* Willd et *Quercus canariensis* Pomel en Algérie. Annales des Sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 1997, 54 (4), pp.347-358.
- **Moreno-Jiménez, D., Martínez, M., Ramírez-Campos, E., Maldonado-Ruiz, R., García-Sevilla, L., & González-Hernández, J. (2020).** Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activities of *Quercus* species. *Molecules*, 25(17), 4000.
- **Négué, M. 2003.** Etude phytochimique de quelques plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète en Côte d'Ivoire. (Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan).

- **Nève, J. 2002.** Nutrition et stress oxydant : Modulation de l'apport alimentaire en anti-oxydants. Optimisation of dietary intake of anti-oxidants. Nutrition clinique et métabolisme 16, 292–300.
- **Nixon, K. C. 1993.** Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae)
- **Okigbo R, Mbajinka C. and Njoku C. 2005.** Antimicrobial potentials of (UDA) *Xylopi aethopica* and *Occinum gratissimum* L. some pathogenous of man. Int. J. Mol. Med. Adv. Sci, 1(4) : 392-7.
- **Ourlis, S., (2001).** Ajustement de modèles entre les variables dendrométriques du chêne zéen (*Quercus canariensis Willd*) : cas du canton de Tizi-Oufellah (forêt des Béni-Ghobri). Mém. ING. Univ Tizi-Ouzou. 42p.
- **Ozniewski, A. (2010).** Développement de méthodes de caractérisation des interactions entre les surfaces et les bactéries. (Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré – Nancy 1).
- **Quezel & Bonin G. 1980** – Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen, Constitution, écologie, situation actuelle, perspectives. Rev. For. Françaises XXXII, N°3, pp. 253-268.
- **Quezel P ., Santa S., (1962).** Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. C.N.R.S, Paris. Vol. 2, 1170p.
- **Quezel P. 1956.** Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. Service des forêts de l'Algérie. Alger. 57p.
- **Quezel P., MEDAIL. 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts et maquis Méditerranéen. Edition Elsevier. Paris. 571p.
- **Quézel P., Santa S. (1962).** Nouvelles flores de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Ed. C.N. R. S., 2 tomes, Paris. 1170p.
- **Rabhik. 2011** – Ajustement de modèles hauteur 3 circonférence 3 âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis Willd.*) dans la forêt d'Akfadou (Tizi Ouzou) ; effet de la densité et de la Station. Mém. Ing. Univ. Aboubekr Belkaïd 3 Tlemcen. 67p.
- **Ribereau-Gayon. ,1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Paris, 254 p.
- **Roux, D. & Catier, O. ,2007.** Botanique, Pharmacognosie et Phytothérapie. Wolters Kluwer France Edition, p 74. (Stalikas, 2007).
- **Saidani H., 2011** : Recherche Bioécologique sur le bombyx disparate,
- **Samaraweera, K. S., Galappaththi, K. D., Kumar, V., Kumar, S., Jayatilaka, K. A. J. M., & Chandrasekara, A. (2023).** *Anti-inflammatory activity of Pentadesma*

butyracea extract via albumin denaturation assay. **Asia Pacific Journal of Research**, 7(10), 45–52. (Relatant la méthode de la dénaturation de l'albumine comparée au diclofénac)

- **Sanchez, S., & Demain, A. L. (2015).** History of Antibiotics. Dans Antibiotics : Current Innovations and Future Trends (pp. 1-22). Caister Academic Press.
- **Sánchez-Gutiérrez, M., Gómez-García, R., Carrasco, E., Bascón-Villegas, I., Rodríguez, A., & Pintado, M. (2022).** *Quercus ilex leaf as a functional ingredient: Polyphenolic profile and antimicrobial activity. Journal of Functional Foods*, 91, 105025.
- **Seigue. 1985** – La forêt méditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris : 520p.
- **Seyoum A., Asres K. and El-Fiky F.K., 2006** – Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry*, 67 : 2058–2070.
- **Shipp, J. & Abdel-Aal, El-S. M., 2010.** Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food Science Journal* 4, 7-22.
- **Siham, A.,** Screening phytochimique et étude biologique d'une plante médicinale de la Flore algérienne (*Borago Officinalis*). 2021, university center of abdalhafid boussoufMILA.p14-25
- **Smail J. (1989).** Traité de pathologie végétale. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux. 621p.
- **Sobiesiak, M.,** Chapitre 1 :Chemical Structure of Phenols and its consequence for Sorption processes .Phenolic compounds – natural Source ,Importance and Application. 2017.
- **Sofowora A., 2010.** Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Ed : Karthala, pp : 22-195.
- **Spiller, G. & Spiller, M. ,2007.** Tout savoir sur les fibres. Editions le mieux-etre,p27.
- **Stalikas, C. D. (2007).** Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids Review. *J. Sep. Sei.* 30. 3268-3295.
- **Tafer M. (2000).** Contribution à l'étude de la variabilité stationnelle de la qualité du bois de *Quercus canariensis Willd* dans la forêt de Beni Ghobri (Tizi-Ouzou). 104p.

- **TASSIN.2012** – La complexités des étagements végétaux. Paysages végétaux du domaine Méditerranéen : bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du sud, Australie Méridionale : 283-323.
- **Tebbal, N., Hadj Rabia, S., Zahnit, W., Debib, A., Chaouia, C., Moualhi, N., & Fodili, A. (2025).** *Phytochemical analysis, GC–MS profile and determination of biological activities of Quercus canariensis L. leaf extracts. Global NEST Journal, 27(6), 1–14.*
- **Tomas-Barberan, F. A., Ferreres, F. & Gil, M. L., 2000.** Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing. Atta-ur-Rahman (Ed.) Studies in Natural Products Chemistry, Vol. 23, p747.97.
- **Touitou Y., 2000** :pharmacologie générale. Ed : Masson, Paris, 10^{ème} édition, pp 181-189. Typification of sectional names. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 50 (11) : 25-34.
- **Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Mazur, M., & Telser, J. 2006.** Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 39(1), 44–84.
- **Valsaraj R., Pushpangadan P., Smitt U., Adersen A., Christensen S., Sittie A., Nyman U., Nielsen C. and Olsen C., 1997.** New anti-HIV-1, antimalarial, and antifungal compounds from Terminalia bellerica J.Nat.Prod 60 (7) : 739–742.
- **Vauzour, D., Vafeiadou, K., Rodriguez-Mateos, A., Rendeiro, C., & Spencer, J.P.E. 2008.** The neuroprotective potential of flavonoids: a multiplicity of effects. Genes & Nutrition, 3(3–4), 115–126.
- **Venkatesan, K., Thirumurugan, K., & Subramanian, S. (2005).** *Antibacterial activity of Quercus ilex bark extracts. Journal of Ethnopharmacology, 101(1–3), 112–116.*
- **Welter, S., et al.,** The diversification of terpene emissions in Mediterranean oaks : lessons From a study of Quercus suber, Quercus canariensis and its hybrid *Quercus afares*. Tree Physiology, 2012. 32(9) : p. 1082-1091. Zemoura (Wilaya de Bordj Bou Arreridj), Université Mohamed El Bachir EL
- **ZERIZER et A MANSSERI. 2003** – Usinabilite et qualification des états.

- **ZINE EL ABIDIN. 1988** – Analyse de la diversité phytoécologique des forêts du chêne Zéen(*Quercus jaginea*Lamk.) au Maroc. Bull. Inst. Sci., Rabat, 1988, N°12, pp 69-77.
- **Zulueta. 1980** -Recherche en vue de l'amélioration des pâturages dans des forêts de *Quercus pyrenaica* et *Quercus faginea* en Espagne. Dossier pâturage en forêt. PP 58 3 72.

Annexes

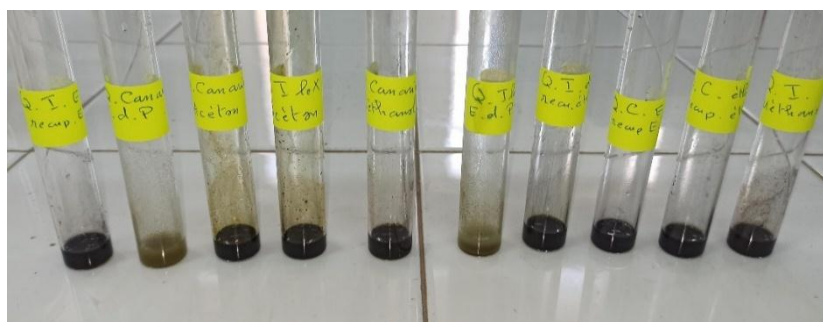
Annexe 1 : Matériel non biologique et produit de laboratoire

Appareillage	Verrerie	Solutions et Réactifs
Spectrophotomètre	Bécher	Muller Hinton
Balance analytique	Erlenmeyer	Eau physiologique
Bec benzène	Tubes à essai	Eau distillée
Bain-marie	Boîtes de Pétri stériles	Méthanol
Évaporateur rotatif	Disques antibiogramme stériles (Ø 5 mm)	Éthanol
Étuvé	Micropipette à volume réglable	Acétone
Support	Entonnoir en verre	Éther de pétrole
Hotte	Écouvillon stérile	DMSO (Diméthyl sulfoxyde)
Agitateur magnétique	Antibiotique	Acide sulfurique
Vortex		HCl
Centrifugeuse		Mg
		C ₂ H ₄ O ₂ (Anhydride acétique)
		NaOH
		Solution de FeCl ₃
		Acide ascorbique

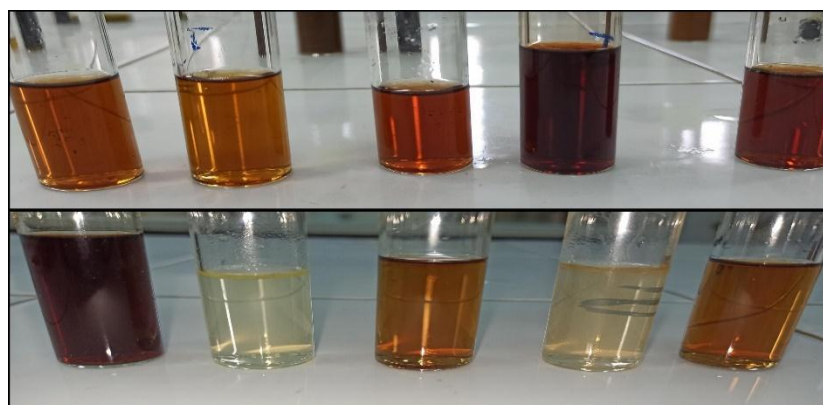
ANNEXE 02 : étapes de l'extraction par macération



ANNEXE 03 : Résultats de screening phytochimique



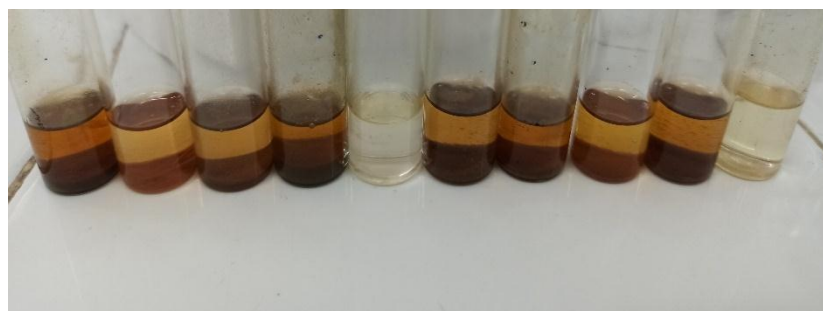
Détection des Tanins



Détection des Quinones libres

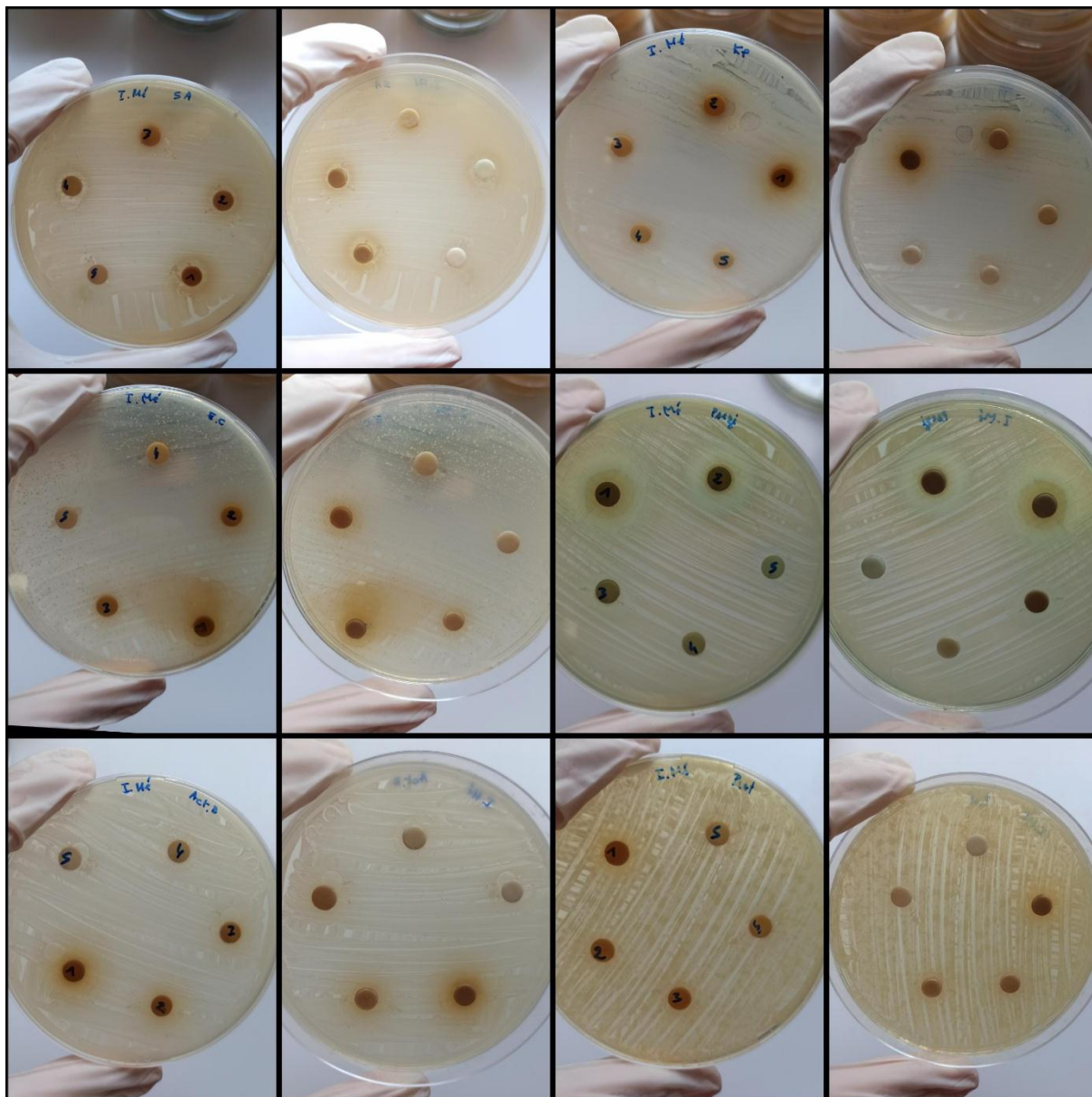


Détection des saponines

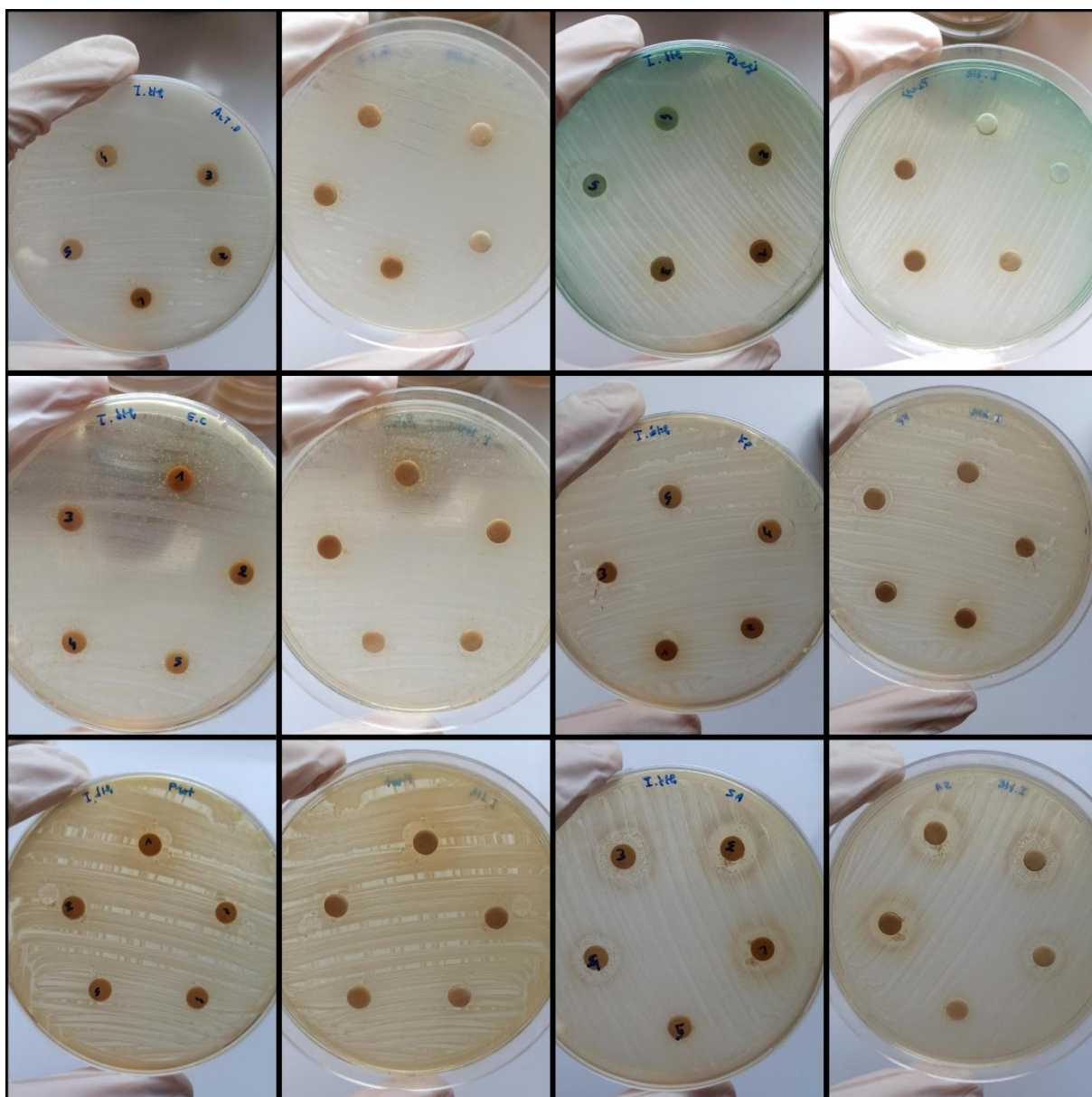


Détection des flavonoïdes

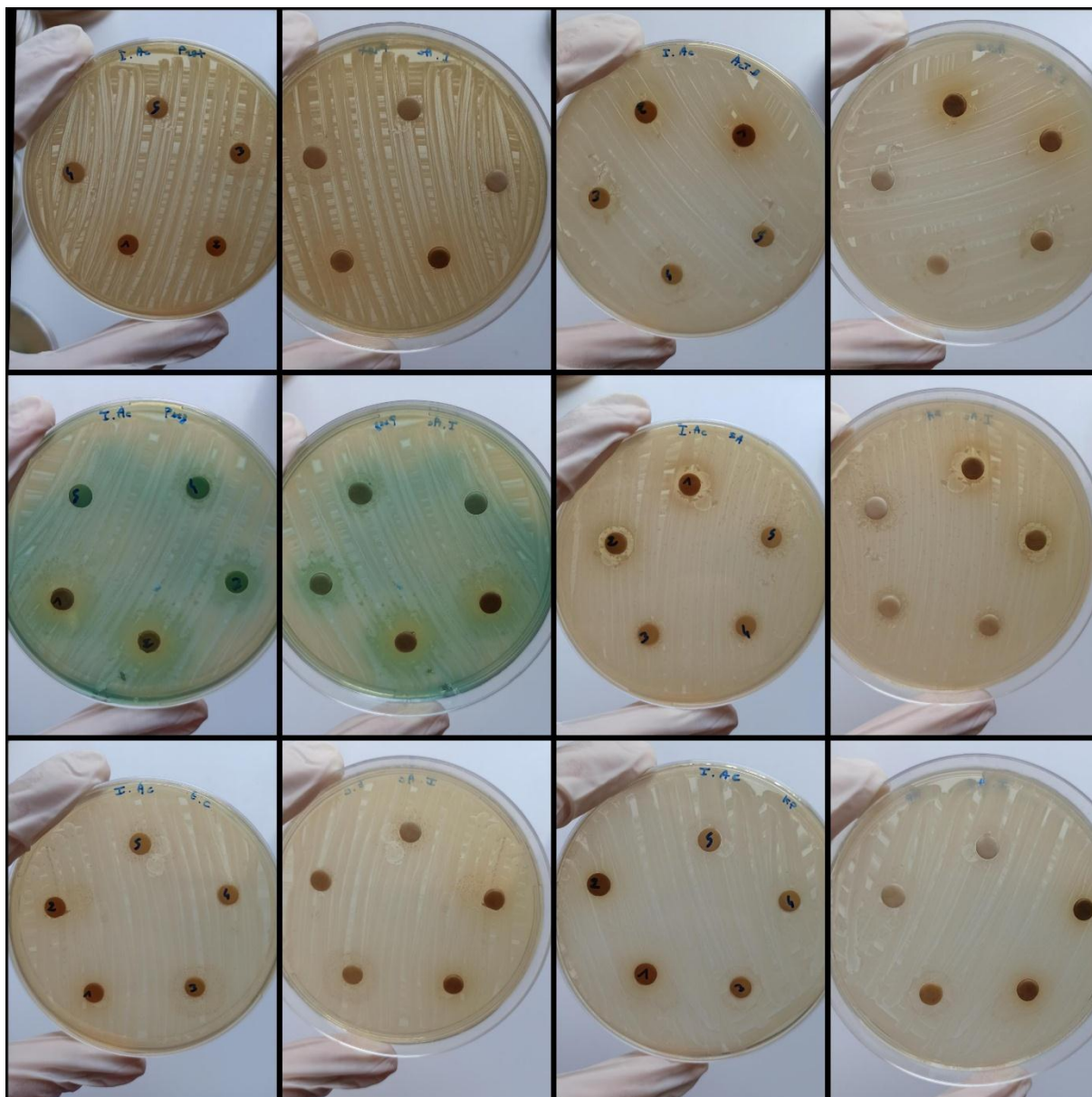
ANNEXE 04 : Résultats d'activité antibactérienne



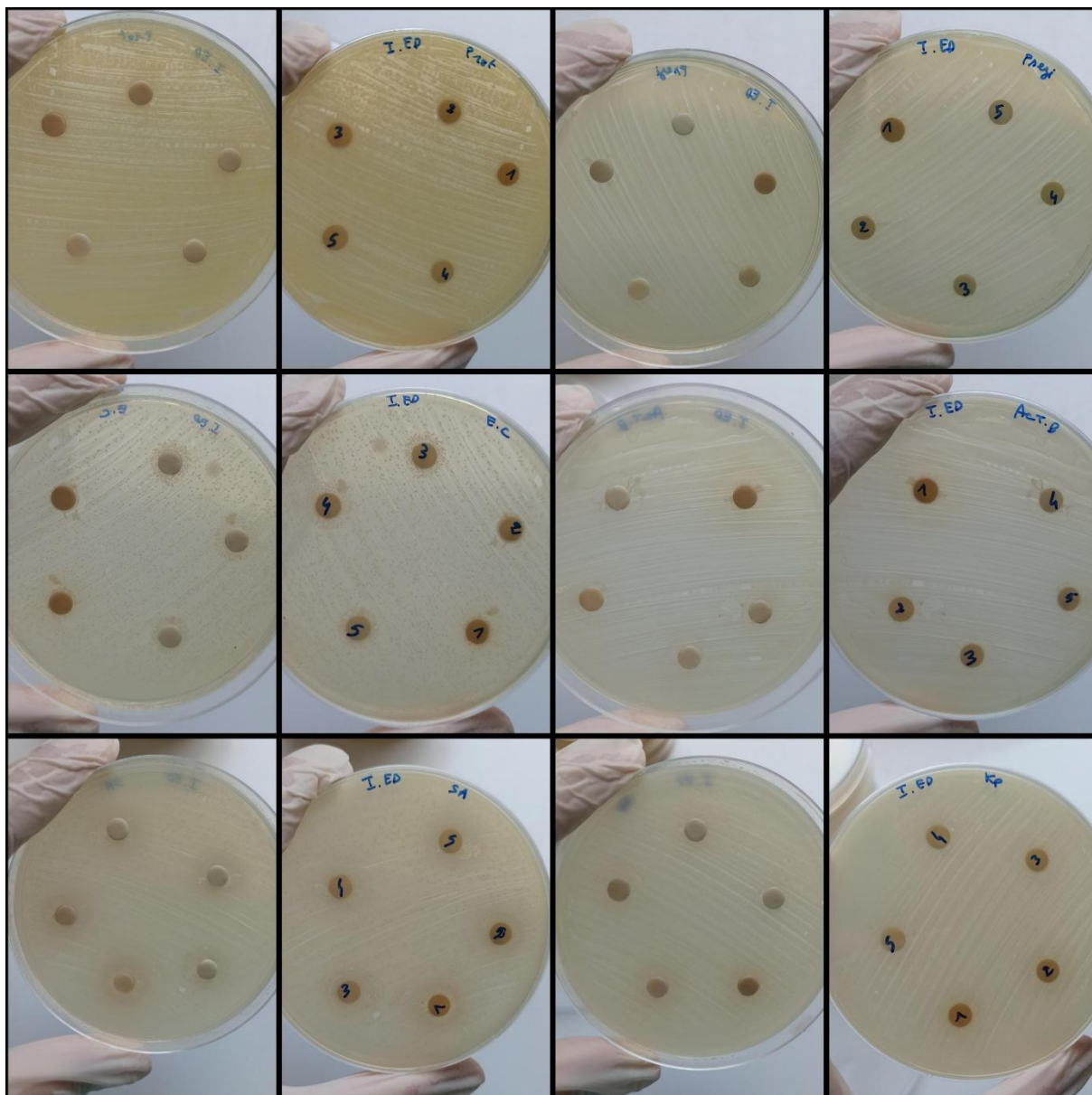
Q. ilex (Méthanol) avec les 6 bactéries



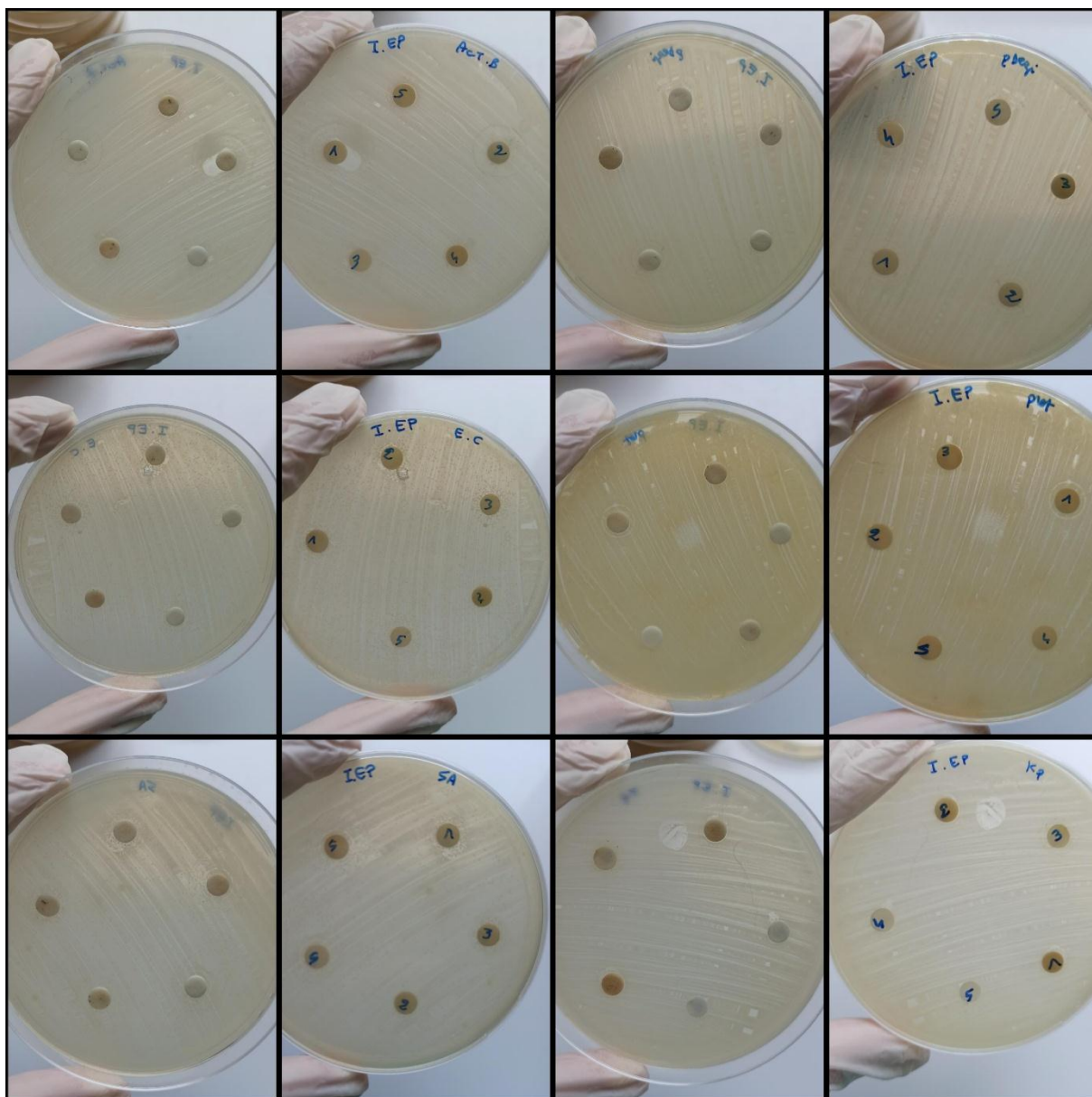
Q. ilex (Éthanol) avec les 6 bactéries



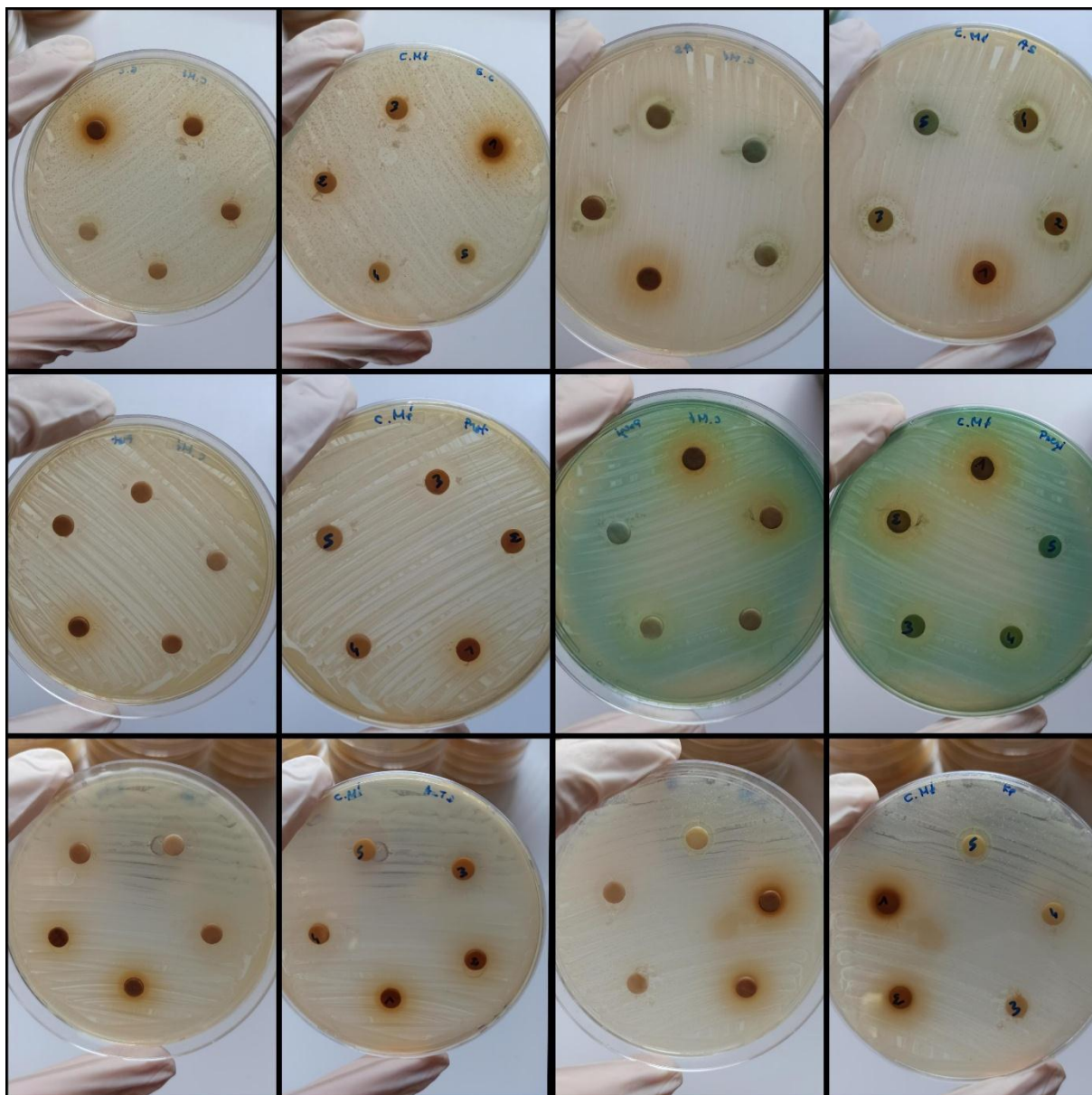
Q. ilex (Acétone) avec les 6 bactéries



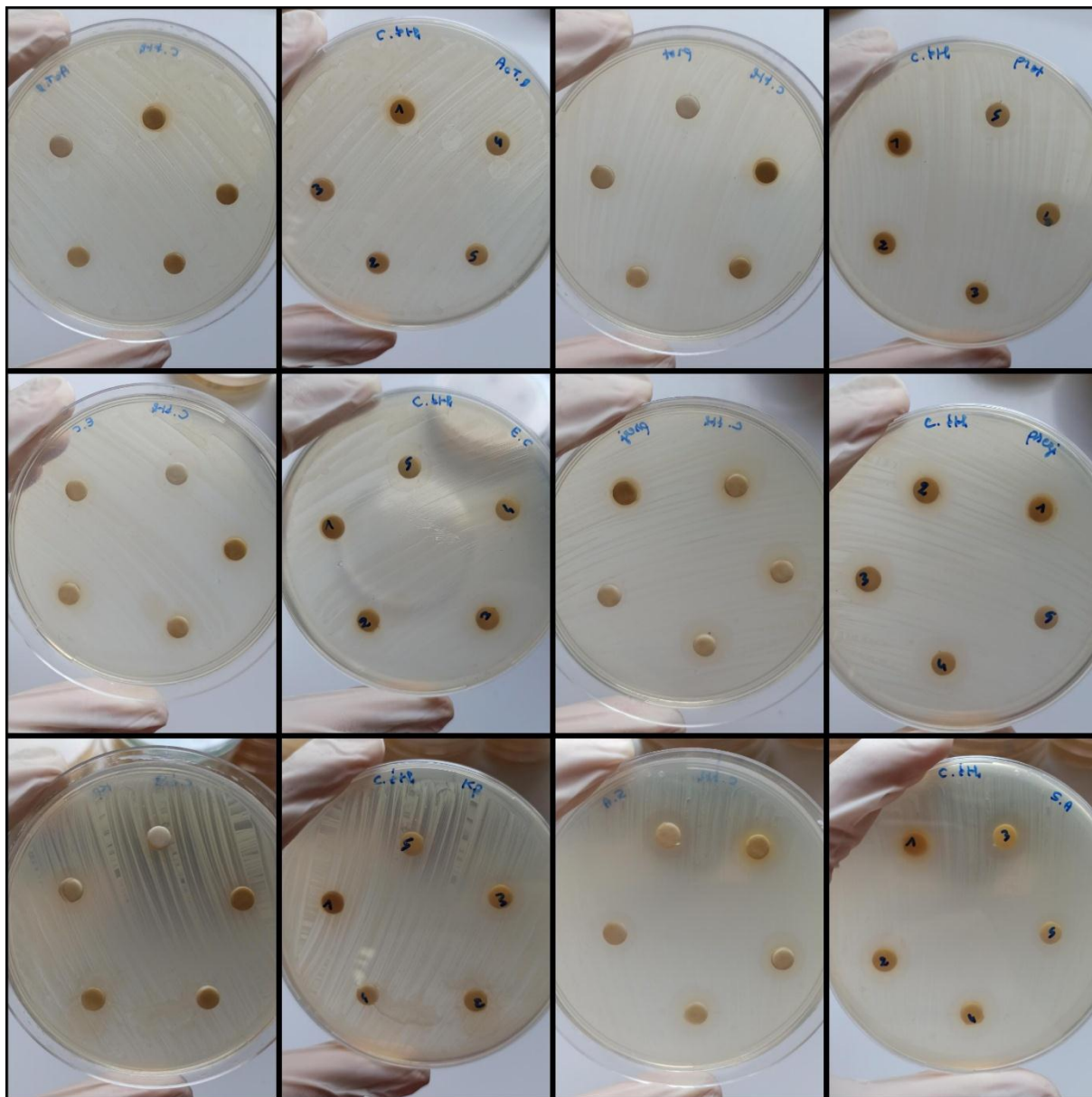
Q. ilex (Eau distillée) avec les 6 bactéries



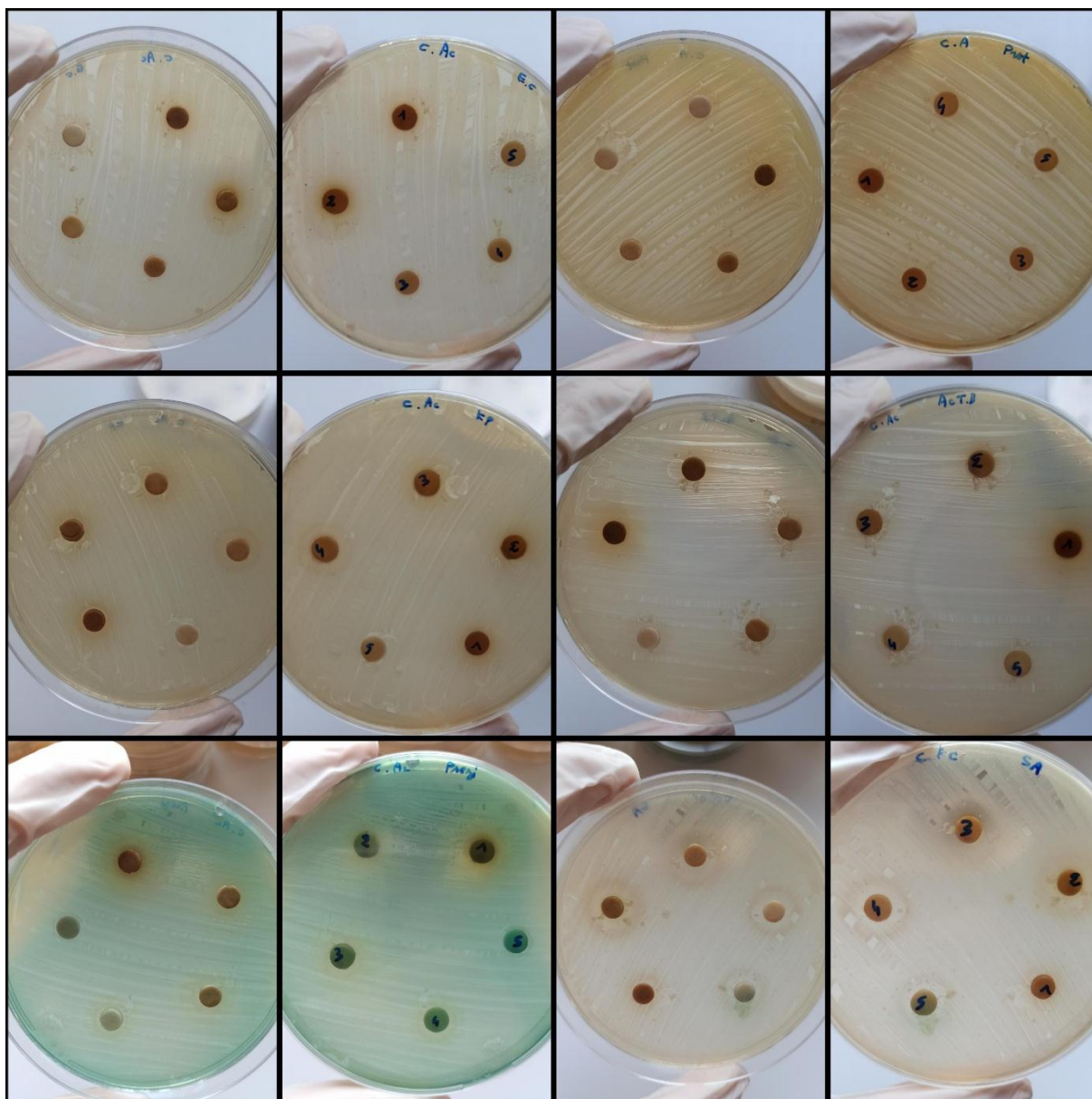
Q. ilex (Éther pétrole) avec les 6 bactéries



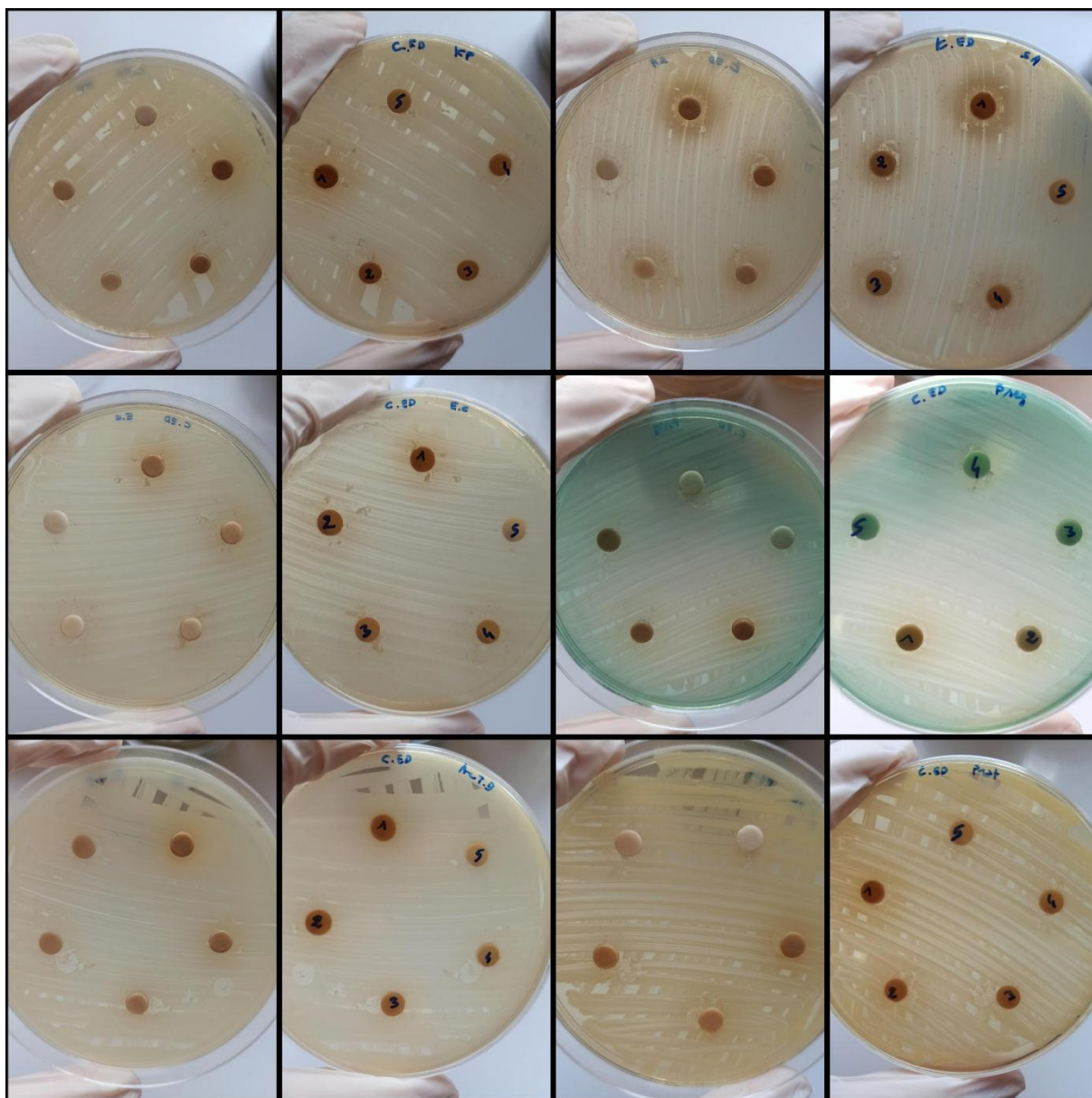
Q. Canariensis (Méthanol) avec les 6 bactéries



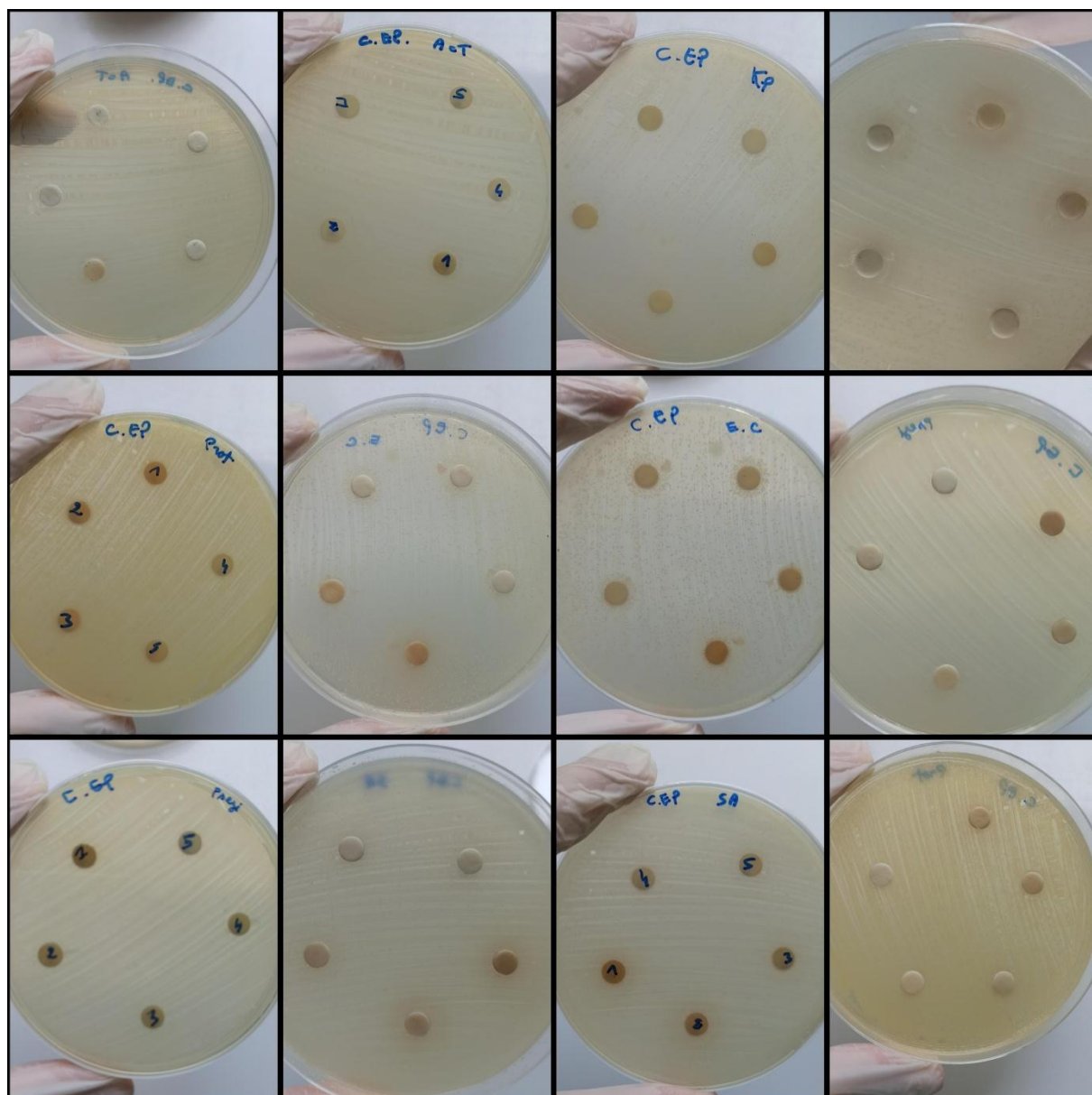
Q. Canariensis (Éthanol) avec les 6 bactéries



Q. Canariensis (Acétone) avec les 6 bactéries

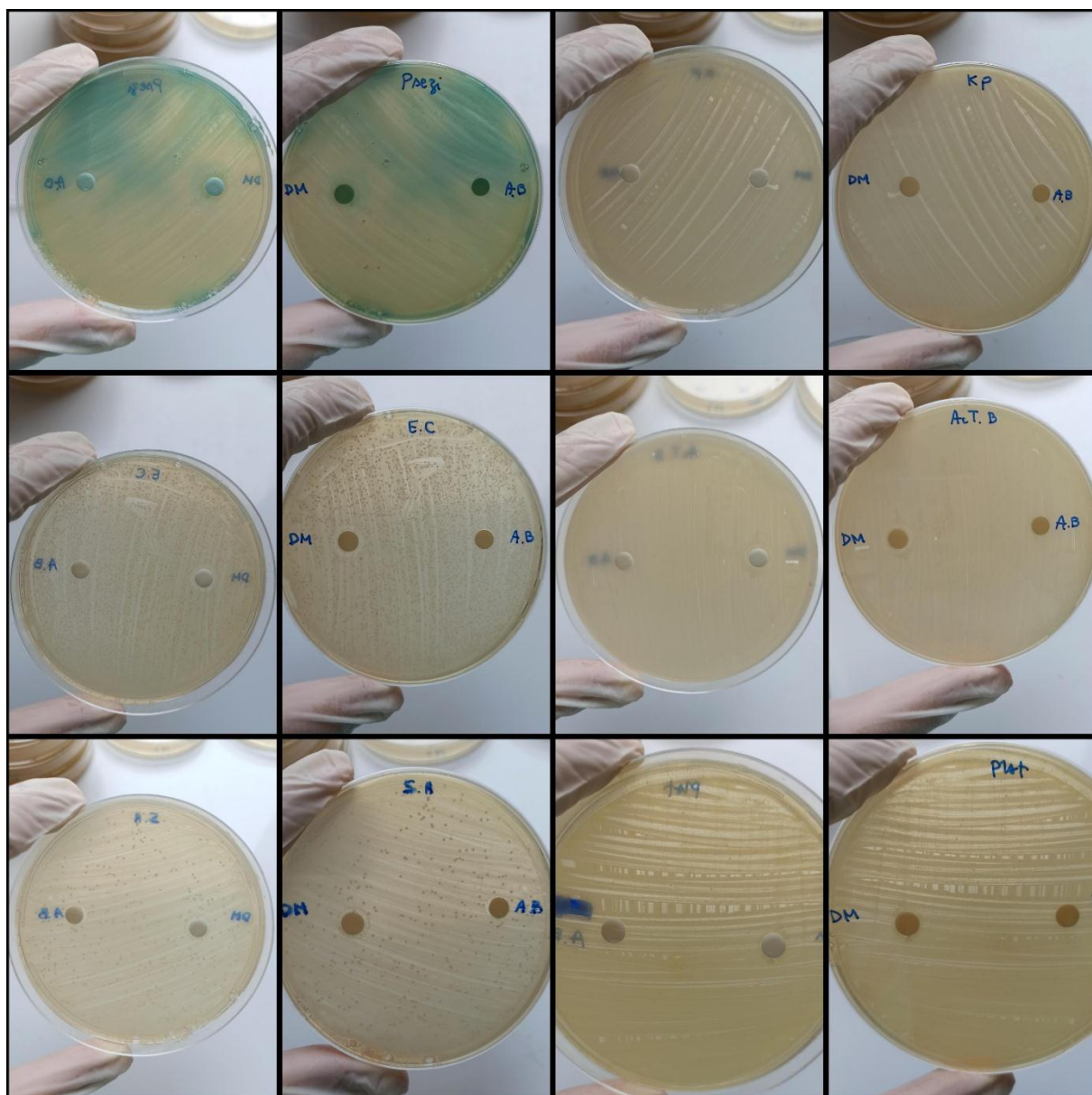


Q. Canariensis (Eau distillée) avec les 6 bactéries

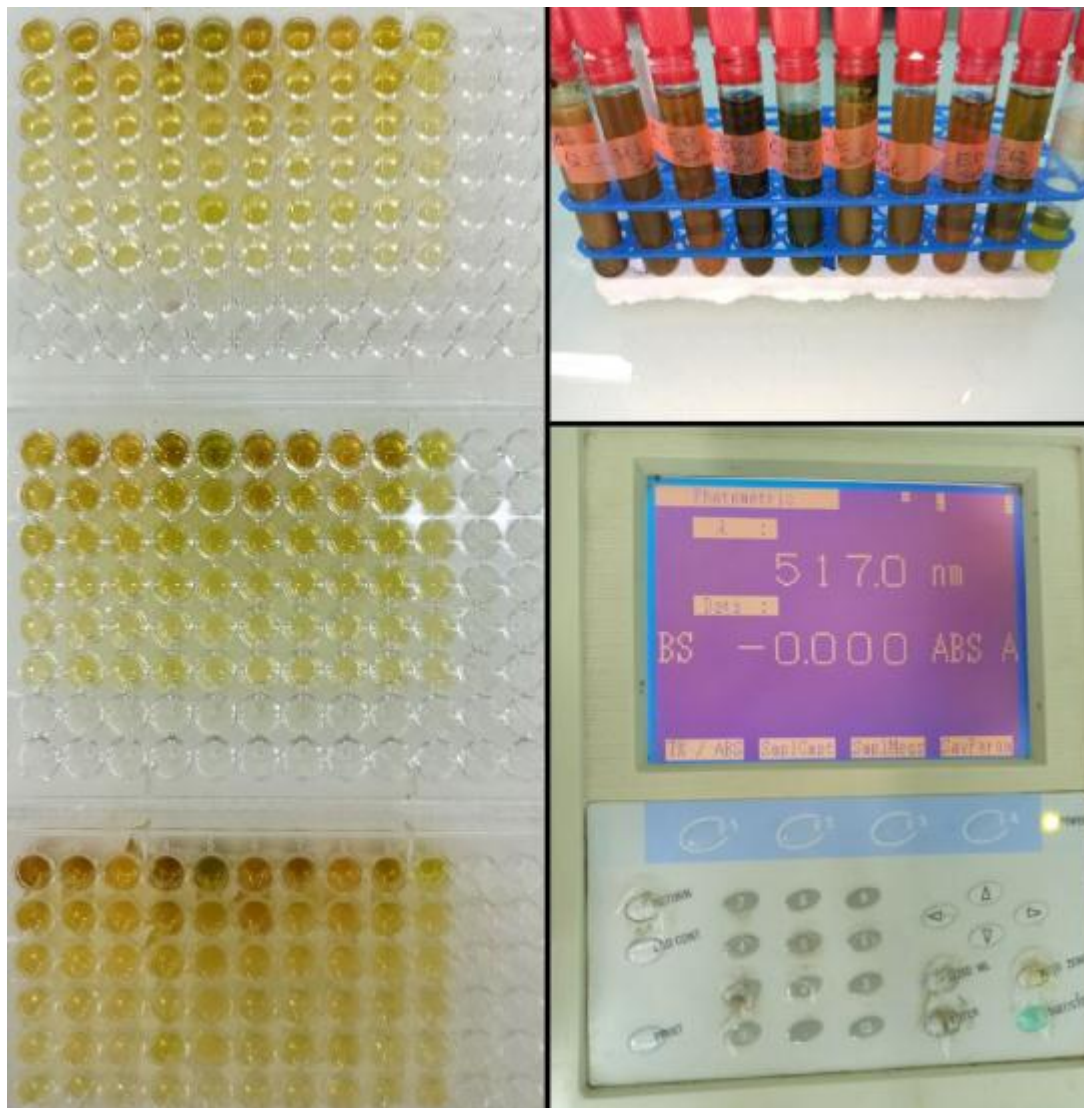


Q. Canariensis (Éther de pétrole) avec les 6 bactéries

Les contrôles positifs (ATB) et négatifs (DMSO) avec les 6 bactéries



Annexe 05 : Résultats d'activité antioxydante des extraits (3 répétitions)



Annexe 06 : les différentes concentration d'activités anti inflammatoire

