



UNIVERSITÉ
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM



UNIVERSITÉ
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie
Département de Biologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCE BIOLOGIQUE

Spécialité : Pharmacotoxicologie.

Par

MEGUENNI Bouchra Nassima

&

RAHOU Chaimaa Radjae

Thème :

Caractéristiques physicochimiques et activité antioxydante de quelques extraits de la propolis de l'Ouest Algérien - étude in vitro -

Soutenue le 02/06/2026

Devant le jury :

Président	Pr.Ait Saada Djamel	Professeur	Université de Mostaganem
Encadreur	Pr.DJEBLI Nouredine	Professeur	Université de Mostaganem
Examinatrice	Dr.Chenini-Bendiab Hadjer	MCB	Université de Mostaganem

Laboratoire Pharmacognosie et Api-Phytothérapie

Année universitaire :2025/2026

Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre profonde gratitude à **Allah**, le Tout-Puissant, pour nous avoir guidés, accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires afin de mener à terme ce travail dans les meilleures conditions.

Nous adressons nos remerciements les plus respectueux et sincères à notre encadrant, **le Professeur Djebli Noureddine**, du département de biologie à l'Université de Mostaganem. Nous lui sommes profondément reconnaissantes pour la confiance qu'il nous a accordée, pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, ainsi que pour la richesse de ses orientations scientifiques. Sa rigueur, sa disponibilité constante et la pertinence de ses conseils ont été déterminants dans l'aboutissement de ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de notre profonde considération et de notre haute estime.

Nous exprimons également notre profond respect aux membres du jury **Pr. Ait Saada Djamel** et **Dr Chenini-Bendiab Hadjer** qui nous font l'honneur d'examiner ce mémoire. Nous les remercions vivement pour l'intérêt qu'ils portent à notre travail ainsi que pour leurs remarques éclairées et constructives qui contribueront sans nul doute à son amélioration.

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à **Mme Mostefa Nadjat**, docteur, pour son accompagnement exemplaire, sa générosité scientifique et humaine, ainsi que pour son soutien constant tout au long de cette étude. Sa disponibilité, ses conseils avisés et son engagement ont constitué un appui précieux et ont largement contribué à la qualité de ce travail.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent également à **Mme Mdjahed Wahiba**, ingénieure au laboratoire de Pharmacognosie & Api-phytothérapie, pour son accueil, son professionnalisme et l'encadrement technique qu'elle nous a assurés. Les conditions de travail qu'elle nous a offertes ont été essentielles à la bonne réalisation de notre étude expérimentale.

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants du département de biologie, pour leur dévouement, la qualité de leur enseignement et pour nous avoir transmis un savoir précieux tout au long de notre formation universitaire.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail. Leur soutien, leurs encouragements et leur aide, sous quelque forme que ce soit, ont été d'une importance inestimable.



Dédicace

C'est avec une profonde gratitude et une immense émotion que je dédie ce modeste travail, fruit de plusieurs années d'efforts, de persévérance et de sacrifices.

Je dédie ce travail en premier lieu à **mes très chers parents**, symboles de sacrifice, de patience et d'amour infini. Merci pour votre soutien inconditionnel, vos encouragements constants et pour avoir toujours cru en moi, même dans les moments les plus difficiles. Aucune réussite n'aurait été possible sans vous. Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de bonheur.

À **mon grand frère Imad**, mon pilier et mon modèle, pour sa présence constante, ses conseils précieux, son soutien indéfectible et pour avoir toujours été là pour moi dans toutes les étapes de ma vie.

À **mes frères Mohammed, Nesraddine et Mustapha**, pour leur soutien, leur affection et leur confiance en moi.

À **mes chères petites sœurs Houda et Wafaa**, pour leur tendresse, leur amour et la joie qu'elles apportent à ma vie.

À **ma chère amie Feriel**, pour son soutien, sa gentillesse et sa présence précieuse, qui ont été d'un grand réconfort tout au long de ce parcours.

À **mon binôme, ma copine et ma très chère amie Nassima**, avec qui j'ai partagé bien plus qu'un simple travail : des moments de stress, de fatigue, de rires et de réussite.

Merci pour ton soutien, ta patience, ta présence constante et pour tous les souvenirs inoubliables que nous avons créés ensemble.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire, par leurs conseils, leur aide, leur soutien ou même par un simple mot d'encouragement, je vous exprime ma sincère reconnaissance et ma profonde gratitude.

Chaimaa Radjae

Dédicace



C'est avec une immense gratitude que je dédie ce travail

À ma très chère maman, mon univers et ma lumière, celle dont les prières m'ont accompagnée à chaque instant, celle dont l'amour inconditionnel m'a portée jusqu'ici. Aucun mot ne sera jamais assez grand pour exprimer ce que tu es pour moi, ce travail est avant tout le fruit de tes sacrifices silencieux.

À mon très cher papa, mon exemple de courage et de persévérance, qui m'a appris que les rêves se méritent et que la patience est la clé de tout succès, ta confiance en moi a été ma plus grande motivation et ta fierté sera toujours ma plus belle récompense.

À ma sœur Hanane, ma confidente et ma complice, pour ses encouragements sa douceur et sa présence dans ma vie.

À mes frères Mohamed et Walid, pour leur soutien sincère et leur amour fraternel qui m'ont toujours donné de la force.

À mon amie Feriel, toujours là sans conditions, dans les bons comme dans les mauvais moments, tu es le genre d'amie que tout le monde espère avoir.

À mon fiancé et à ma belle-famille, pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de ce parcours.

À mon binôme Chaimaa, avec qui j'ai partagé les longues journées au laboratoire, les fous rires, les moments de stress, les doutes et les victoires. Les souvenirs que nous avons construits ensemble resteront gravés dans ma mémoire pour toujours. Merci d'avoir été bien plus qu'un binôme.

Et à moi-même, pour chaque nuit blanche, chaque moment de doute surmonté et chaque effort consenti. Tu as tenu bon, et tu en es là aujourd'hui.

Une pensée reconnaissante également à tous ceux qui m'ont aidée et soutenue, de près ou de loin, tout au long de ce parcours.



Bouchra Nassima

Résumé

La propolis est un produit élaboré par les abeilles (*Apis mellifera*) à partir de résines végétales, reconnue pour sa richesse en composés bioactifs à propriétés antioxydantes. Elle constitue l'un des produits de la ruche les plus étudiés en apithérapie en raison de son potentiel thérapeutique considérable. L'objectif de notre étude est de caractériser cinq variétés de propolis de l'ouest Algérien (Tlemcen, Tiaret, Oran, Relizane et Mostaganem) par des analyses physicochimiques, un screening phytochimique, des dosages quantitatives des métabolites secondaires, une analyse FTIR-ATR ainsi que d'évaluer leur activité antioxydante par trois tests (DPPH, ABTS et CAT), réalisés sur des extraits hydro éthanoliques et aqueux. Les résultats ont révélé une variabilité inter-régionale notable, avec une présence confirmée de polyphénols, flavonoïdes, tanins, terpénoides et autres métabolites secondaires dans l'ensemble ces extraits. Les groupements fonctionnels caractéristiques ont été détectés par FTIR-ATR et les extraits hydro éthanoliques ont montré une activité antioxydante supérieure à celles des extraits aqueux, en lien direct avec leur richesse en composés phénoliques. Ces résultats confirment le potentiel antioxydant de la propolis de l'ouest Algérien soutiennent son utilisation dans les approches naturelles et lutte contre le stress oxydatif et la protection cellulaire.

Mots clés : Propolis, stress oxydatif, caractéristiques physicochimiques, analyse FTIR-ATR, activité antioxydante.

Abstract

Propolis is a product made by bees (*Apis mellifera*) from plant resins, known for its richness in bioactive compounds with antioxidant properties. It is one of the most studied beehive products in apitherapy because of its considerable therapeutic potential. The objective of our study is to characterize five varieties of propolis from western Algeria (Tlemcen, Tiaret, Oran, Relizane and Mostaganem) by physicochemical analyses, phytochemical screening, quantitative assays of secondary metabolites, FTIR-ATR analysis as well as to evaluate their antioxidant activity by three tests (DPPH, ABTS and CAT), performed on hydroethanolic and aqueous extracts. The results revealed a notable inter-regional variability, with a confirmed presence of polyphenols, flavonoids, tannins, terpenoids and other secondary metabolites in all these extracts. The characteristic functional groups were detected by FTIR-ATR and the hydroethanolic extracts showed a higher antioxidant activity than those of the aqueous extracts, in direct connection with their richness in phenolic compounds. These results confirm the antioxidant potential of propolis from western Algeria, support its use in natural approaches and fight against oxidative stress and cell protection.

Keywords: Propolis, oxidative stress, physicochemical characteristics, FTIR-ATR analysis, antioxidant activity.

ملخص

البروبوليس (العكر) هو منتج يصنعه النحل (*Apis mellifera*) من راتنجات النباتات، المعروف بغناه بالمركبات النشطة حيويًا ذات خصائص مضادة للأكسدة. يعد من أكثر منتجات خلايا النحل دراسة في علاج النحليات بسبب إمكاناته العلاجية الكبيرة. هدف دراستنا هو توصيف خمسة أنواع من البروبوليس من غرب الجزائر (تلمسان، تيارت، وهران، ريليزان ومستغانيم) من خلال تحليلات فيزيائية كيميائية، وفحوصات كيميائية نباتية، وفحوصات كمية للمستقلبات الثانوية، وتحليل FTIR-ATR، بالإضافة إلى تقييم نشاطها المضاد للأكسدة من خلال ثلاث اختبارات (DPPH، ABTS، CAT)، تجرى على مستخلصات هيدروإيثانولية ومائية. كشفت النتائج عن تفاوت ملحوظ بين المناطق، مع وجود مؤكد لبولي فينولات، والفلافونويدات، والتانينات، والتربينويدات، وغيرها من المستقلبات الثانوية في جميع هذه المستخلصات. تم اكتشاف المجموعات الوظيفية المميزة بواسطة FTIR-ATR، وأظهرت المستخلصات الهيدروإيثانولية نشاطًا مضادًا للأكسدة أعلى من تلك الموجودة في المستخلصات المائية، وذلك ارتباطًا مباشرًا بغناها في المركبات الفينولية. تؤكد هذه النتائج الإمكانات المضادة للأكسدة للبروبوليس القادمة من غرب الجزائر، وتدعم استخدامه في الطرق الطبيعية وتكافح ضد الإجهاد التأكسدي وحماية الخلايا.

الكلمات المفتاحية: البروبوليس، الإجهاد التأكسدي، الخصائص الفيزيائية-الكيميائية، تحليل FTIR-ATR، النشاط المضاد للأكسدة

Table Des Matières

Remerciement.

Dédicaces.

Résumé.

Abstract.

ملخص.

Liste des matières.

Listes des abréviations.

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste des abréviations.

Introduction générale01

1ère Partie : Revue bibliographique

Chapitre I : La propolis

Introduction.....	03
I.1. La propolis.....	04
I.1.2. La distribution géographique mondiale de la propolis.....	05
I.1.3. La récolte de la propolis	06
I.1.3.1. Méthode des pièges à propolis (grilles / traps).....	06
I.1.3.2. Méthode par écrans / toiles ou matériaux textiles	06
I.1.3.3. Récolte manuelle par grattage	07
I.2. Les propriétés physico-chimiques de la propolis	07
I.2.1. Caractéristiques organoleptiques	07
I.2.2. Paramètres physicochimiques.....	08
I.3. Composition chimique et phytochimique de la propolis.....	09
I.3.1. Composition chimique de la propolis.....	09
I.3.2. Composition phytochimique de la propolis.....	10
I.4. Utilisation et propriétés pharmacologiques de la propolis	10

Chapitre II : Le stress oxydatif et antioxydants

II. Généralités	14
II.1. Stress oxydatif.....	14
II.1.1. Définition	14
II.1.2. Origine du stress oxydatif	15
II.1.3. Radicaux libres.....	16
II.1.4. Classification et caractéristiques des espèces réactives (ERO/ERA).....	17
II.1.4.1. Espèces réactives de l'oxygène (ERO).....	17
II.1.4.2. Espèces réactives de l'azote (ERA).....	18
II.1.5. Facteurs du stress oxydatif.....	19
II.1.5.1. Facteurs endogènes	19
II.1.5.2. Facteurs exogènes	19
II.1.6. Mécanisme du stress oxydatif.....	20
II.1.6.1. Peroxydation lipidique	21
II.1.6.2. Oxydation des protéines.....	21
II.1.6.3. Dommages de l'ADN	21
II.1.7. Implication du stress oxydatif dans différentes maladies	22
II.1.7.1. Maladies cardiovasculaires	22
II.1.7.2. Diabète	23
II.1.7.3. Cancer	24
II.1.7.4. Maladies neurodégénératives	25
II.1.7.5. Vieillesse.....	25
II.2. Antioxydants	26
II.2.1. Définition	26
II.2.2. Types des antioxydants	27
II.2.2.1. Antioxydants enzymatiques	27
II.2.2.1.1. Superoxyde dismutase (SOD).....	27
II.2.2.1.2. Catalase (CAT)	28
II.2.2.1.3. Glutathion peroxydase (GPx)	28
II.2.2.2. Antioxydants non enzymatiques	28
II.2.2.2.1. Glutathion (GSH).....	28
II.2.2.2.2. Vitamine C (acide ascorbique).....	28
II.2.2.2.3. Vitamine E (tocophérol).....	28
II.2.2.2.4. Polyphénols	29

II.2.3. Les sources des antioxydants	29
II.2.3.1. Antioxydants synthétiques	29
II.2.3.1.1. N-acétylcystéine (NAC).....	29
II.2.3.1.2. Coenzyme Q10 (CoQ10)	29
II.2.3.2. Antioxydants naturels.....	29
II.2.3.2.1. Plantes médicinales	30
II.2.3.2.2. Vitamines	30
II.2.3.2.3. Produits de la ruche.....	30
II.2.4. Mécanisme des antioxydants.....	31
II.2.4.1. Neutralisation directe des ERO par piégeage des radicaux	32
II.2.4.2. Don d'espèces H (Transfert d'atome d'hydrogène - HAT).....	32
II.2.4.3. Inhibition des enzymes oxydatives	32
II.2.4.4. Chélation des métaux de transition	32
II.2.4.5. Réparation des composants cellulaires endommagés.....	32

2ème Partie : Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1. Caractéristiques physicochimiques de la propolis	34
1.1. Extraction.....	34
1.1.1. Extrait hydro-éthanolique	35
1.1.2. Extrait aqueux.....	36
1.2. Rendement	37
1.3. Paramètres physicochimiques	37
1.4. Les techniques d'analyse et d'identification structurale	38
1.4.1. Spectroscopie IRTF de transmission/absorption.....	38
1.5. Screening phytochimique	39
1.6. Analyses quantitatives	41
1.6.1. Détermination de la teneur en phénols totaux	41
1.6.2. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFT)	41
1.6.3. Détermination de la teneur en tannins condensés (TTC).....	42
1.6.4. Détermination de la teneur en tannins hydrolysables (TTH).....	42
1.6.5. Détermination des sucres totaux	43
1.6.6. Détermination des sucres réducteurs	43
2. Évaluation de l'activité antioxydante	44

2.1. Test de piégeage du radical libre DPPH	44
2.2. Méthode de piégeage du radical libre ABTS	45
2.3. Capacité antioxydante totale (CAT)	46
3. Analyses statistiques	46

Résultats et discussion générale

I. Caractéristiques physicochimiques.....	47
I.1. Rendement.....	47
I.2. L'humidité (Teneur en eau)	47
I.3. pH.....	48
I.4. Conductivité	49
I.5. L'acidité libre.....	50
I.6. L'absorbance	51
I.7. Spectroscopie IRTF de transmission/absorption	52
I.7.1. Propolis brute	52
I.7.2. L'extrait de propolis.....	55
I.7.2.1. L'extrait hydro éthanolique.....	55
I.7.2.2. L'extrait aqueux	58
I.8. Analyses qualitatives	61
I.8.1. Extrait hydro-éthanolique.....	61
I.8.2. Extrait aqueux	62
I.9. Analyses quantitatives	63
I.9.1. Détermination de la teneur en phénols totaux (TPT)	63
I.9.1.1. Extrait hydro-éthanolique	63
I.9.1.2. Extrait aqueux.....	64
I.9.2. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFT)	65
I.9.2.1. Extrait hydro-éthanolique	65
I.9.2.2. Extrait aqueux.....	66
I.9.3. Détermination de la teneur en tannins condensés (TTC)	67
I.9.3.1. Extrait hydro-éthanolique	67
I.9.3.2. Extrait aqueux.....	68
I.9.4. Détermination de la teneur en tannins hydrolysables (TTH)	69
I.9.4.1. Extrait hydro-éthanolique	69
I.9.4.2. Extrait aqueux.....	70
I.9.5. Détermination de la teneur en sucres totaux	71

I.9.5.1. Extrait hydro-éthanolique	71
I.9.5.2. Extrait aqueux.....	72
I.9.6. Détermination de la teneur en sucres réducteurs	73
I.9.6.1. Extrait hydro-éthanolique	73
I.9.6.2. Extrait aqueux.....	74
II. Activités antioxydantes	75
II.1. Test de piégeage du radical libre DPPH	75
II.2. Méthode de piégeage du radical libre ABTS	77
II.3. Capacité antioxydante totale (CAT)	79
<hr/>	
Discussion générale	81
Conclusion et Perspectives	90
Références bibliographiques.....	92
Annexes	104

Liste des abréviations

4-HNE : 4-hydroxynonenal

ABTS :2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid)

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

AL : Acidité Libre

AOAC: association of official analytical chemists

CAT : Capacité Antioxydante Totale

CAT : catalase

CoQ10 : coenzyme Q10

DO : Densité Optique

DPPH : 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl

EAG : Équivalent Acide Gallique

EAT : Équivalent acide tanique

EC : Équivalent catéchine

EM : Équivalent maltose

EQ : Équivalent quercétine

ERA : Espèces Réactives de l'Azote

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

FTIR : Fourier Transform Infrared

GPx : glutathion peroxydase

GSH : glutathion

H₂O₂ : Peroxyde d'Hydrogène

IC₅₀ : Concentration inhibitrice à 50%

LDL : lipoprotéine de basse densité

MDA : malondialdéhyde

NAC : N-acétylcystéine

NADPH : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

NO : oxyde nitrique

NO• : Monoxyde d'Azote

Nrf2: Nuclear factor erythroid 2-related factor 2

O₂•⁻ : Radical Superoxyde

ONOO⁻ : Peroxynitrite

PM : Propolis de Mostaganem

PO : Propolis d'Oran

PR : Propolis de Relizane

PS : Poids Sec

PT : Propolis de Tlemcen

PTR : Propolis de Tiaret

SOD : superoxyde dismutase

Vit C : acide ascorbique

Vit E : tocophérol

Liste Des Tableaux

Tableau 1 : Composition chimique de la propolis	9
Tableau 2 : Composition phytochimique de la propolis	10
Tableau 3 : Origine géographique des échantillons de propolis étudiés	33
Tableau 4 : Screening phytochimiques de la propolis	40
Tableau 5 : Rendement de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	47
Tableau 6 : Résultat du l'humidité la propolis selon le type d'extrait (hydro éthanolique et aqueux)	47
Tableau 7 : Résultat du pH de la propolis selon l'extrait hydro-éthanolique.....	48
Tableau 8 : Résultat du pH de la propolis selon l'extrait aqueux	48
Tableau 9 : Résultat de la conductivité de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	49
Tableau 10 : Résultat de la conductivité de la propolis l'extrait aqueux	49
Tableau 11 : Résultat du l'acidité libre de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	50
Tableau 12 : Résultat du l'acidité libre de la propolis selon l'extrait aqueux	50
Tableau 13: Résultat du l'absorbance de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	51
Tableau 14 : Résultat du l'absorbance de la propolis l'extrait aqueux	51
Tableau 15 : Caractérisation des groupes fonctionnels dans la propolis.....	54
Tableau 16 : Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits hydro éthanoliques de la propolis	57
Tableau 17 : Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits aqueux de la propolis.....	60
Tableau 18 : Screening phytochimique de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.	61
Tableau 19 : Screening phytochimique de la propolis selon l'extrait aqueux.....	62
Tableau 20 : Analyse de test DPPH de de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	75
Tableau 21 : Analyse de test DPPH de la propolis selon l'extrait aqueux.....	75
Tableau 22 : Analyse de test ABTS de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.....	77
Tableau 23 : Analyse de test ABTS de la propolis selon l'extrait aqueux.....	77
Tableau 24 : Analyse de test CAT de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique	79
Tableau 25 : Analyse de test CAT de la propolis selon le type d'extrait aqueux	79

Liste Des Figures

Figure 1 : Les produits de la ruche	3
Figure 2 : propolis brute	4
Figure 3 : Distribution mondiale de la propolis.....	5
Figure 4 : Méthode de récolte par grilles.....	6
Figure 5 : Méthode de récolte par écrans.....	6
Figure 6 : Méthode de récolte par grattage	7
Figure 7 : Stress oxydatif : Déséquilibre de la balance oxydative	15
Figure 8 : Effets délétères des radicaux libres sur les cellules.....	16
Figure 9 : Représentation de la production intracellulaire des ERO dans les systèmes humains.....	17
Figure 10 : Mécanismes de formation des espèces réactives de l'azote (ERA) et cascade de production du peroxyxynitrite	18
Figure 11 : Origine de stress oxydant : sources internes et externes	19
Figure 12 : Les cibles moléculaires des espèces radicalaires.....	20
Figure 13 : Rôle du stress oxydatif dans les pathologies humaines et mécanismes de défenses antioxydants.....	22
Figure 14 : Les ERO dans le système cardiovasculaire : fonctions normales et effets pathologiques.....	23
Figure 15 : Impact du stress oxydatif sur le dysfonctionnement des cellules β pancréatiques et l'insulinorésistance	24
Figure 16 : Effet des ERO sur les cellules normales et les cellules cancéreuses.	24
Figure 17 : Physiopathologie de la maladie d'Alzheimer associée à la démence vasculaire	25
Figure 18 : Impact du vieillissement sur les fonctions mitochondriales	25
Figure 19 : Moyens de diminuer le stress oxydatif.....	26

Figure 20 : Voies de formation des ERO et sites d'intervention des systèmes enzymatiques et non-enzymatiques.	27
Figure 21 : Voies de neutralisation des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et prévention des dommages oxydatifs sur les biomolécules	31
Figure 22 : Localisation géographique de la propolis étudiée	33
Figure 23 : Diagramme des processus d'obtention des extraits bruts.....	34
Figure 24 : Étapes expérimentales de l'obtention des extraits hydro-éthanoliques de propolis	35
Figure 25 : Étapes expérimentales de l'obtention des extraits aqueux de propolis	36
Figure 26 : Graphe FTIR-ATR de la propolis.	53
Figure 27 : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique.....	56
Figure 28 : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux	59
Figure 29 : le taux en polyphénols totaux de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés	63
Figure 30 : le taux en polyphénols totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variété.....	64
Figure 31 : le taux en flavonoïdes totaux de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variété.....	65
Figure 32 : : le taux en flavonoïdes totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variété.....	66
Figure 33 : le taux en tanins condensés de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variété.....	67
Figure 34 : : le taux en tanins condensés de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variété	68
Figure 35 : : le taux en tanins hydrolysables de l'extrait Hydro-éthanoliques de la propolis de différentes variétés.....	69
Figure 36 : : le taux en tanins hydrolysables de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés	70

Figure 37 : : le taux en sucres totaux de l'extrait Hydro-éthanoliques de la propolis de différentes variétés	71
Figure 38 : : le taux en sucres totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés...	72
Figure 39 : : le taux en sucres réducteurs de l'extrait Hydro-éthanoliques de la propolis de différentes Variétés.....	73
Figure 40 : : le taux en sucres réducteurs de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variété	74
Figure 41 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de propolis.....	76
Figure 42 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits aqueux des différentes variétés de propolis.....	76
Figure 43 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical ABTS des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de propolis.....	78
Figure 44 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical ABTS des extraits aqueux des différentes variétés de propolis.....	78
Figure 45 : Capacite antioxydante totale (CAT) des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de Propolis.....	80
Figure 46 : Capacite antioxydante totale (CAT) des extraits aqueux des différentes variétés de Propolis.....	80

Introduction générale

Introduction générale

La propolis est une substance résineuse complexe élaborée par les abeilles (*Apis mellifera*) à partir de résines végétales, de cire, d'huiles essentielles et de sécrétions salivaires. Connue et utilisée depuis l'Antiquité dans de nombreuses civilisations pour ses vertus thérapeutiques, elle occupe aujourd'hui une place de choix parmi les produits naturels les plus étudiés en raison de sa richesse exceptionnelle en composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, les acides phénoliques et leurs esters (Zulkiflee et al., 2022). Sa composition chimique varie considérablement selon l'origine géographique, la flore locale et la saison de récolte, ce qui explique l'intérêt croissant porté aux propolis régionales et locales (Milek et al., 2024). En particulier, la propolis Algérienne, issue d'une flore méditerranéenne et steppique particulièrement diversifiée, représente une ressource naturelle insuffisamment caractérisée dont le potentiel bioactif mérite d'être exploré (Ayad et al., 2024).

Parmi les propriétés biologiques les plus documentées de la propolis figurent ses activités antimicrobienne, anti-inflammatoire, immunomodulatrice et antioxydante

(Hossain et al., 2022 ; Ayad et al., 2025). Cette dernière propriété revêt une importance particulière dans le contexte actuel de la recherche biomédicale. En effet, le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre la production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les systèmes de défense antioxydants de l'organisme, entraînant des altérations moléculaires touchant les lipides, les protéines et l'ADN. Ce processus est impliqué dans l'étiopathogenèse de nombreuses maladies chroniques telles que le cancer, le diabète, les maladies cardiovasculaires et les pathologies neurodégénératives (Bahari et al., 2025). Pour contrer cette menace, les antioxydants jouent un rôle clé en neutralisant les radicaux libres et en protégeant les structures cellulaires. Toutefois, certains antioxydants synthétiques ont été associés à des effets secondaires potentiels, ce qui a suscité un intérêt croissant pour les antioxydants d'origine naturelle (Kasote et al., 2022).

Notre recherche repose sur l'objectif de caractériser les propriétés physicochimiques et phytochimiques de cinq variétés de propolis brute collectées dans l'ouest Algérien (Mostaganem, Oran, Tlemcen, Relizane et Tiaret) et d'évaluer leur activité antioxydante. Notre étude se répartit principalement en deux parties : la première consiste en une revue bibliographique dont le premier chapitre propose une collecte approfondie axée sur la description de la propolis en tant que produit naturel, sa composition chimique et ses propriétés pharmacologiques, suivie par le chapitre du stress oxydatif et des antioxydants. Quant à la

seconde partie, consacrée au volet expérimental, elle établit la détermination des paramètres physicochimiques tels que le pH, la teneur en eau, la conductivité électrique et l'acidité libre, les analyses qualitatives afin de mettre en évidence la présence ou l'absence des métabolites secondaires, les dosages quantitatifs des polyphénols totaux, des flavonoïdes, des tannins condensés et hydrolysables, des sucres totaux et réducteurs, l'analyse spectroscopique FTIR-ATR pour l'identification des groupements fonctionnels, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante par trois méthodes complémentaires : le test de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), le test de piégeage du radical libre ABTS (acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) et la Capacité Antioxydante Totale (CAT) selon la méthode au phosphomolybdène. Les résultats obtenus sont interprétés, concrétisés par une discussion et une conclusion générale.

Revue bibliographique

Chapitre I

La propolis

Introduction

Les traitements issus de substances naturelles s'imposent aujourd'hui comme de précieux compléments aux thérapies classiques, grâce aux avancées technologiques dans l'extraction et la synthèse de ces molécules, la recherche scientifique s'accélère pour valider et optimiser leurs potentiel thérapeutique (**Stefan et al., 2024**), cette dynamique s'inscrit dans un changement de paradigme où l'on cherche à exploiter la poly pharmacologie naturelle, contrairement aux médicaments de synthèse souvent limités à une seule cible, les extraits naturels agissent sur plusieurs voies métaboliques simultanément, réduisant ainsi les risques de résistances thérapeutiques (**Shen et al., 2024**). Les recherches actuelles démontrent que les métabolites secondaires notamment les polyphénols, ne se contentent pas de piéger les radicaux libres, mais agissent comme des modulateurs de l'expression génique capable de renforcer les défenses cellulaires endogènes (**Bešlo et al., 2023**), ainsi, l'exploration de nouvelles matrices bioactives représente un enjeu majeur pour la santé publique, visant à développer des agents prophylactiques plus surs et dotés d'une meilleure biodisponibilité. (**Taylor et al., 2022**).

L'apithérapie s'intéresse à une biothérapie utilisant les produits de la ruche pour la gestion et la prévention de diverses pathologies comme le miel, la propolis, le pollen, la gelée royale et le venin d'abeille. (**El-Didamony et al., 2024**) les abeilles représentent un vaste groupe d'insectes sociaux appartenant à la famille des apidae, parmi elles, les abeilles domestiques sont les plus emblématiques, notamment *apis mellifera* (prédominante en Europe, Amérique, Afrique et Asie) et *apis cerana* (originaire d'Asie et Sud-Est) qui constituent les deux piliers de l'apiculture mondiale, au sein de la ruche, ces insectes élaborent et stockent diverses substances dotées de propriétés bénéfiques pour la santé humaine. (**Giampieri et al., 2022**) (figure 1)

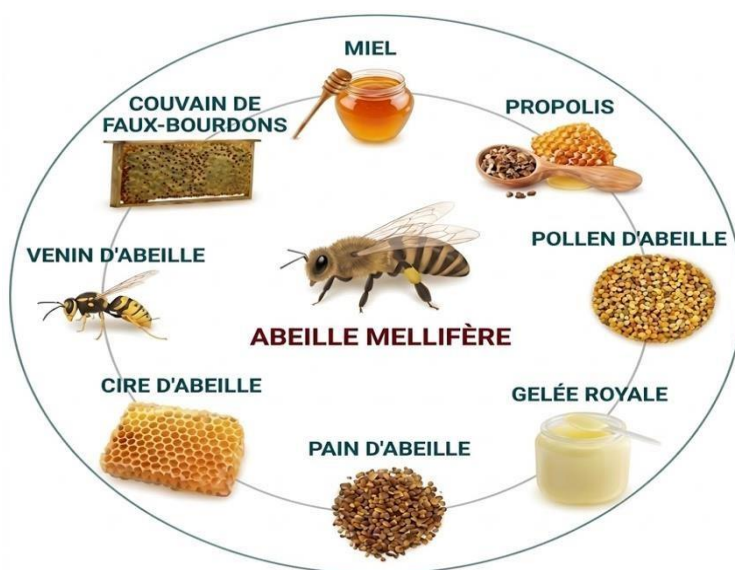


Figure 1 : Les produits de la ruche (**Deshmukh et al., 2020**)

I.1. La propolis

La propolis est une substance résineuse complexe collectée par les abeilles ouvrières à partir des bourgeons d'arbres (peupliers, bouleaux, conifères) et de diverses plantes, une fois récoltée, l'abeille mélange à sa propre salive (contenant des enzymes spécifiques) et à de la cire pour créer un mortier naturel dans la ruche. (Rivera, N et al., 2021), la composition chimique de la propolis n'est pas constante ; elle est étroitement liée à la biodiversité florale environnante et aux conditions climatiques, ce qui détermine la concentration des métabolites secondaires essentiels comme les terpènes et les esters d'acide aromatiques. (Zullkiflee et al., 2022).

Au sein de la colonie, elle sert de bouclier biologique ; elle désinfecte la ruche et momifie les intrus pour éviter les infections, au-delà de cette barrière physique, la propolis exerce une activité inhibitrice contre le *quorum sensing* bactérien, limitant ainsi la communication entre agents pathogènes et leur capacité à former des biofilms dans l'environnement clos de la ruche. (Hareidy et al., 2025) enfin, elle sert d'isolant thermique qui colmate les fissures pour maintenir la température, cette étanchéité renforce l'efficacité du système de ventilation de la colonie, un facteur clé pour la survie du couvain face aux variations climatiques externes. (Zullkiflee et al., 2022) (figure 2)



Figure 2 : propolis brute (Françoise Sauvager, 2017)

I.1.2. La distribution géographique mondiale de la propolis

la propolis est une substance naturelle produite par les abeilles et largement distribuée à l'échelle mondiale, en particulier dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées, elle est présente partout où les abeilles disposent de sources végétales riches en résines, nécessaires à sa fabrication, elle peut être trouvée dans de nombreuses régions du monde, notamment en Europe, en Amérique du Nord, en Afrique, en Asie et en Océanie, toutefois, sa composition chimique et ses caractéristiques biologiques varient considérablement selon la zone géographique, en raison des différences de flore locale, de climat et d'origine botanique des résines collectées par les abeilles, ainsi, bien que la propolis soit largement répandue à l'échelle mondiale, elle ne présente pas une composition uniforme, chaque région produisant un type de propolis spécifique lié à son environnement végétal. (Zullkiflee et al., 2022) (figure 3)

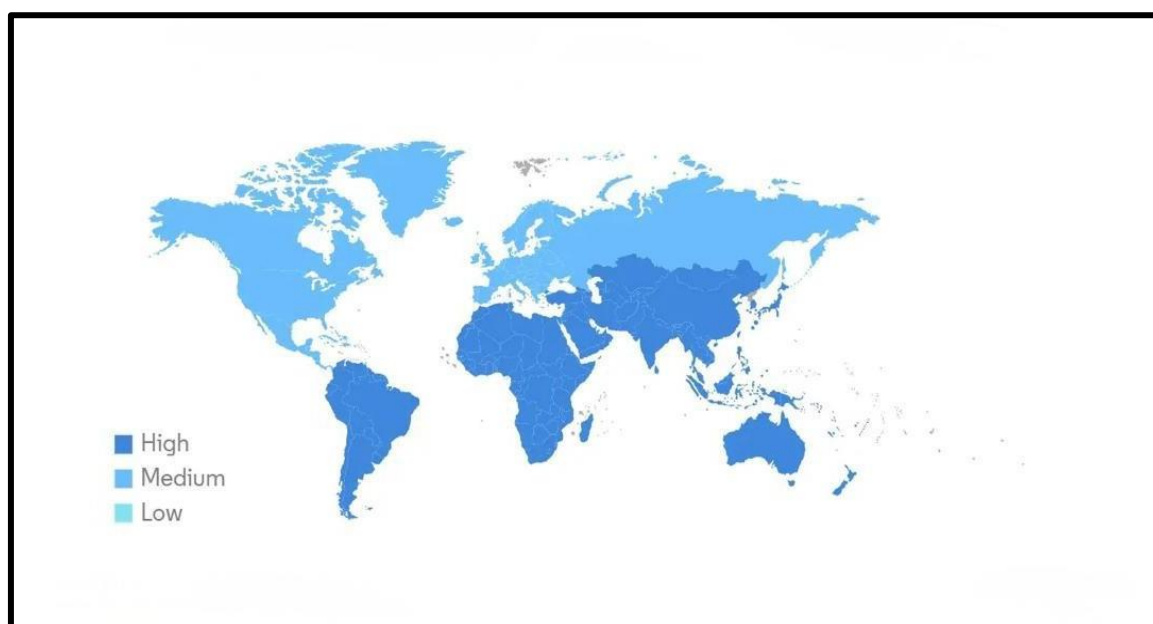


Figure 3 : Distribution mondiale de la propolis

(<https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/propolis-market>)

I.1.3. La récolte de la propolis

I.1.3.1. Méthode des pièges à propolis (grilles / traps)

Cette méthode est largement utilisée dans la pratique apicole, des grilles ou pièges perforés sont placés sur les cadres ou sous les couvre-cadres afin que les abeilles les combent avec de la propolis, quand ces pièges sont remplis, ils sont retirés et congelés pour rendre la propolis cassante, facilitant ainsi son extraction, c'est l'une des méthodes les plus efficaces pour récolter sans endommager les cadres (Anjum et al., 2019) (Figure 4)



Figure 4 : Méthode de récolte par grilles (Laurent Bessol., 2020)

I.1.3.2. Méthode par écrans / toiles ou matériaux textiles

Des matériaux comme toile, burlap, fibre ou tissu rugueux sont placés sur les barres supérieures ou entre cadres, les abeilles y déposent la propolis en essayant de combler les fissures.

(Anjum et al., 2019) (Figure 5)



Figure 5 : Méthode de récolte par écrans (Anjum, S. I., et al. 2019)

I.1.3.3. Récolte manuelle par grattage

Effectués à l'aide d'outils comme des couteaux, grattoirs ou spatules métalliques, cette méthode est la plus simple mais moins efficace que les autres. (Anjum et al., 2019) (Figure 6)



Figure 6 : Méthode de récolte par grattage (abeille de Malescot ; 2025)

I.2. Les propriétés physico-chimiques de la propolis

La propolis présente un ensemble de propriétés physiques caractéristiques qui varient selon son origine botanique et géographique. Ces paramètres constituent des critères essentiels pour l'évaluation de sa qualité et de son authenticité avant toute analyse biologique ou chimique. (Achenbach et al., 2024)

I.2.2. Caractéristiques organoleptiques

- **Couleur** : la couleur de la propolis varie considérablement selon son origine géographique et botanique, allant du jaune clair au brun très foncé presque noir, en passant par des nuances de brun jaune, brun vert et brun rouge. Cette variation est directement liée à la nature des résines végétales collectées et à la teneur en cire et en polyphénols. (Rendueles et al., 2023)
- **Odeur** : la propolis dégage une odeur aromatique variable selon son origine, généralement balsamique et résineuse, pouvant rappeler des notes de miel, de cire, de cannelle ou de vanille. Cette odeur est attribuée à la présence d'huiles essentielles et de composés volatils terpéniques. (Bava et al., 2024)
- **Saveur** : elle est généralement amère et âcre, en lien avec la forte concentration en composés phénoliques, en résines et en acides organiques. (Rendueles et al., 2023)

I.2.3. Paramètres physicochimiques

Sur le plan physicochimique, plusieurs paramètres permettent de caractériser et de standardiser la propolis : (Achenbach et al., 2024 ; Rendueles et al., 2023).

- Consistance et point de fusion

La consistance de la propolis est fortement dépendante de la température :

- **À basse température (< 15°C)** : elle est dure et friable, facile à broyer, ce qui facilite son extraction par les apiculteurs.

- **À température ambiante (25-45°C)** : elle devient molle, pliable et collante, permettant aux abeilles de la modeler et de l'appliquer dans la ruche. (Anjum et al., 2022)

- **Au-delà de 45°C** : elle devient de plus en plus gluante et coulante. Son point de fusion se situe généralement entre 60°C et 70°C, pouvant atteindre 100°C selon sa composition.

(Ateş et al., 2026)

La densité de la propolis est de l'ordre de 1,2 en moyenne. Ces paramètres physiques varient selon la proportion de cires, de résines et de composés phénoliques présents dans l'échantillon. (Rendueles et al., 2023)

- **pH** : la propolis présente un caractère légèrement acide, avec un pH généralement compris entre 4,5 et 6,5 pour les extraits hydro éthanoliques et plus proche de la neutralité pour les extraits aqueux. Ce caractère acide est lié à la présence d'acides organiques et phénoliques libres. (Rendueles et al., 2023)

- **Teneur en eau (humidité)** : la propolis est naturellement pauvre en eau (inférieure à 5%), ce qui lui confère une stabilité microbiologique satisfaisante et une longue durée de conservation. Cette faible teneur en eau est due à sa composition riche en résines et en cires hydrophobes. (Rosman et al., 2025)

- **Conductivité électrique** : elle reflète la teneur en composés ionisables (minéraux, métabolites secondaires). Les extraits hydro éthanoliques présentent généralement des valeurs de conductivité plus élevées que les extraits aqueux, traduisant une extraction plus complète des composés chargés et une plus grande richesse en substances bioactives.

(Achenbach et al., 2024)

- **Acidité libre** : liée à la présence d'acides organiques libres (acides phénoliques, acides aliphatiques), l'acidité libre est généralement plus élevée dans les extraits aqueux que dans les

extraits hydro éthanoliques, en raison de la meilleure solubilité des acides organiques dans l'eau. (Zulhendri et al., 2021)

- **Absorbance (densité optique)** : la DO mesurée par spectrophotométrie renseigne indirectement sur la concentration en composés phénoliques et flavonoïdiques absorbant dans l'UV-visible. Les extraits hydro éthanoliques présentent des valeurs d'absorbance nettement supérieures aux extraits aqueux, confirmant leur richesse en composés bioactifs.

(Šuran et al., 2021)

I.3. Composition chimique et phytochimique de la propolis

I.3.2. Composition chimique de la propolis

La composition chimique de la propolis peut varier en fonction de son origine botanique, différentes zones géographiques et climatiques et les modifications issus de sécrétions hypopharyngiennes des abeilles (Anjum et al., 2019) , elle se présente comme une matrice biologique complexe où s'entremêlent des substances végétales et des sécrétions apicoles, sa structure est principalement dictée par des résines et des baumes végétaux, à ce cœur résineux s'ajoutent des cires et des lipides qui lui confèrent sa texture malléable et son imperméabilité (Šuran et al., 2021) (Tableau 1)

Tableau 1 : Composition chimique de la propolis (Ripari et al., 2021)

Composition chimique	Proportion	Rôle / description
Lipide (cires et acide gras)	30% - 40%	Donne la consistance et l'imperméabilité à la ruche
Résines et baumes	50% - 55%	Support des principes actifs végétaux
Glucides (sucres)	1% - 5%	Trace de glucose et fructose
Protéines et acides aminés	2% - 5%	Issus de grains de pollen intégrés
Eau et matières volatiles	<2%	Faible teneur pour assurer la stabilité du produit

I.3.3. Composition phytochimique de la propolis

La propolis est chimiquement très complexe et contient principalement des flavonoïdes, des acides phénoliques et leurs esters, ainsi que par des composants structuraux tels que les résines végétales, la cire d'abeille, les huiles volatils et les composés ont été identifiés, ces classes étant responsables de la majorité des activités antioxydantes et anti-inflammatoire, antimicrobiennes observées chez les extraits de propolis. (Zullkiflee et al.,2024) (Tableau 2)

Tableau 2 : Composition phytochimique de la propolis (Zullkiflee et al.,2024)

Type de composés	Exemples de composés identifiés
Flavonoïdes	Chrysin, apigénine, lutéoline
Acides phénoliques	Acide caféique, acide p-coumarique, acide férulique
Esters phénoliques	Caffeic acid phenethyl ester (CAPE)
Autres polyphénoliques	Flavones, flavonols, flavanones
Résine végétale	Mélange de composés phénoliques liés
Cire d'abeille	Acides gras, esters
Huiles volatils (essentiels)	Terpène et composés aromatiques

I.4. Utilisation et propriétés pharmacologiques de la propolis

La propolis est utilisée depuis l'Antiquité dans la médecine traditionnelle en raison de ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Elle est aujourd'hui employée dans plusieurs domaines (Ayad et al., 2025) :

- **Médecine traditionnelle** : traitement des plaies, brûlures, infections et maux de gorge

(Ayad et al., 2025)

- **Pharmacie** : incorporation dans des gels, crèmes, sprays buccaux, sirops et bains de bouche (Ayad et al., 2025)

- **Dentisterie** : traitement des caries, gingivites et infections bucco-dentaires (**Zulkiflee et al., 2022**)
- **Médecine moderne** : traitement des maladies respiratoires, cardiovasculaires et gastro-intestinales (**Hossain et al., 2022**)
- **Oncologie** : études sur son potentiel anticancéreux (**Altabbal et al., 2023**)
- **Cosmétique** : intégration dans des produits de soin de la peau grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et cicatrisante (**Zulkiflee et al., 2022**)
- Et pour les propriétés pharmacologiques l'expression dépend de leur origine botanique et de leur répartition géographique, elle se caractérise par la présence de composés bioactifs communs reconnus pour leurs effets antimicrobiens, antioxydants...etc. (**Bava et al., 2024**)

❖ **Activité antifongique**

La propolis s'impose comme une alternative thérapeutique majeure grâce à ses propriétés fongicides, elle présente une action inhibitrice puissante sur plusieurs souches de *Candida*, elle réduit significativement l'infection des tubules dentinaires, une étude montre qu'un traitement de 5 jours inhibe 99% de la croissance fongique. (**Zulhendri et al., 2018**)

❖ **Activité antibactérienne**

La propolis agit comme un puissant agent antibactérien grâce à trois leviers majeurs :

- **Attaque physique** : elle détruit la membrane des bactéries et bloque leurs productions d'énergie, ce qui les paralyse et les tue (efficace surtout sur les bactéries gram-positives)
- **Inhibition ciblée** : grâce au CAPE, elle bloque une enzyme vitale à la survie d'*Helicobacter pylori* (responsable des ulcères)
- **Super-synergie** : elle booste l'effet des antibiotiques classiques (comme le céfixime) et permet même de combattre des bactéries multi-résistantes aux médicaments. (**Zulhendri et al., 2018**)

❖ **Activité antivirale**

La propolis agit comme un bouclier naturel contre de nombreux virus (grippe, herpès, VIH, COVID-19)

- Blocage de l'entrée : elle empêche le virus de s'attacher et de pénétrer dans les cellules saines (notamment en bloquant les récepteurs ACE2 pour le COVID-19)
- Arrêt de la réplication : des molécules comme l'acide moronique ou le CAPE freinent la multiplication du virus à l'intérieur de l'organisme.
- Effet " booster " : elle renforce l'efficacité des médicaments classiques (comme l'acyclovir) et réduit l'inflammation sévère causée par l'infection. (Zulhendri et al., 2018)

❖ **Activité anti-inflammatoire**

La propolis inhibe plusieurs médiateurs inflammatoires tels que les cytokines pro-inflammatoires et prostaglandines, et les composés phénoliques de la propolis réduisent l'activation des voies inflammatoires, contribuant ainsi à la diminution des réponses inflammatoires aigus et chroniques. (Abd-El-Samie et al., 2025)

❖ **Activité anticancéreuse**

La propolis présente un potentiel anticancéreux important, notamment par l'inhibition de la prolifération cellulaire, l'induction de l'apoptose et l'arrêt de cycle cellulaire dans différents types de cellules cancéreuses, (Forma et al., 2021)

❖ **Activité antidiabétique**

La propolis exerce une activité antidiabétique notable, elle permet une réduction significative de la glycémie, associée à une amélioration de la tolérance au glucose et de la sensibilité à l'insuline, elle permet aussi une amélioration du profil lipidique, caractérisé par une réduction du cholestérol total et des triglycérides. (Chen et al., 2024)

❖ **Activité neuroprotectrice**

La propolis d'abeille a démontré des effets neuroprotecteurs sur les maladies neurodégénératives, notamment grâce à ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires qui contrecarrent les effets délétères du stress oxydatif et de la neuroinflammation chronique impliqués dans la pathogenèse de la maladie d'Alzheimer et de Parkinson. (Djebli et al., 2024)

❖ **Activité antioxydante et anti-radicalaire**

L'activité antioxydante constitue l'une des propriétés biologiques les plus importantes et les plus documentées de la propolis. Elle est étroitement corrélée à sa richesse en composés phénoliques, notamment les flavonoïdes et les acides phénoliques, qui sont capables de neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ERO) responsables du stress oxydatif cellulaire. Les extraits hydro éthanoliques de propolis présentent systématiquement une activité antioxydante supérieure aux extraits aqueux, en raison de leur richesse plus importante en composés bioactifs. **(Touzani et al., 2025)**

Chapitre II

Stress oxydatif et antioxydants

II. Généralités

Au sein des systèmes biologiques, l'organisme assure en permanence une régulation fine entre les phénomènes d'oxydations et les mécanismes de défenses antioxydants, garantissant ainsi le maintien de l'équilibre cellulaire **(Sies et al.,2017)**. Cet équilibre repose en grand partie sur la présence des radicaux libres, qui sont des espèces chimiques instables possédant des électrons non appariés, leur conférant une forte réactivité vis-à-vis des constituants cellulaires. Ces espèces sont générées de façon continue lors des processus métaboliques normaux, en particulier au niveau mitochondrial, mais aussi au cours de certaines réactions enzymatiques et inflammatoires **(Juan et al.,2021)**. Dans des conditions physiologiques, ces molécules réactives participent à plusieurs processus essentiels tels que la transmission des signaux intracellulaires, la régulation de l'expression des gènes et la défense de l'organisme contre les agents pathogènes. Toutefois, lorsque leur production devient excessive ou que les systèmes de neutralisation sont dépassés, ces espèces réactives s'accumulent, perturbant ainsi l'équilibre redox et favorisant l'apparition de désordres cellulaires **(Kotha et al.,2022)**. Les radicaux libres peuvent alors altérer les lipides, les protéines et l'ADN, provoquant des modifications structurales et fonctionnelles susceptibles de contribuer au développement de divers pathologies **(Juan et al.,2021 ; Martindah et al.,2025)**. Pour limiter ces effets néfastes, l'organisme dispose des systèmes antioxydants enzymatiques et non enzymatiques, renforcés par des apports riches en composés phénoliques, capable de neutraliser les espèces réactives et de limiter les dommages oxydatifs **(Kotha et al.,2022)**. Ainsi, l'équilibre entre la production des radicaux libres et les systèmes de défenses antioxydants constitue un élément déterminant pour la préservation de la fonction cellulaire et la prévention des dommages oxydatifs

(Sies et al.,2017 ; ; Martindah et al.,2025).

II.1. Stress oxydatif

II.1.1. Définition

Le stress oxydatif se définit comme une perturbation de l'équilibre entre la production des radicaux libres réactifs de l'oxygène et de l'azote (ERO/ERA) et la capacité des systèmes antioxydants à les neutraliser et à réparer les dommages qu'ils induisent **(Kotha et al., 2022)**. Ces espèces réactives sont générées aussi bien par des processus métaboliques endogènes que par des facteurs exogènes et jouent à faible concentration un rôle important dans la signalisation cellulaire et les mécanismes de défense **(Martemucci, G et al., 2023)**. Cette situation conduit

à des altérations oxydatives des macromolécules biologiques, notamment la peroxydation des lipides membranaires, l'oxydation des protéines et les dommages à l'ADN, affectant ainsi l'intégrité et le fonctionnement cellulaire (Krishnamoorthy, S et al., 2022). L'accumulation persistante de ces lésions moléculaires initie des dysfonctionnements métaboliques profonds, favorisant ainsi le vieillissement prématuré des tissus. À long terme, ce processus devient un facteur déterminant dans la pathogenèse de nombreuses maladies chroniques, notamment les troubles neurodégénératifs, les cancers et les pathologies cardiovasculaires

(Olufunmilayo E.O et al., 2023). (Figure 7)

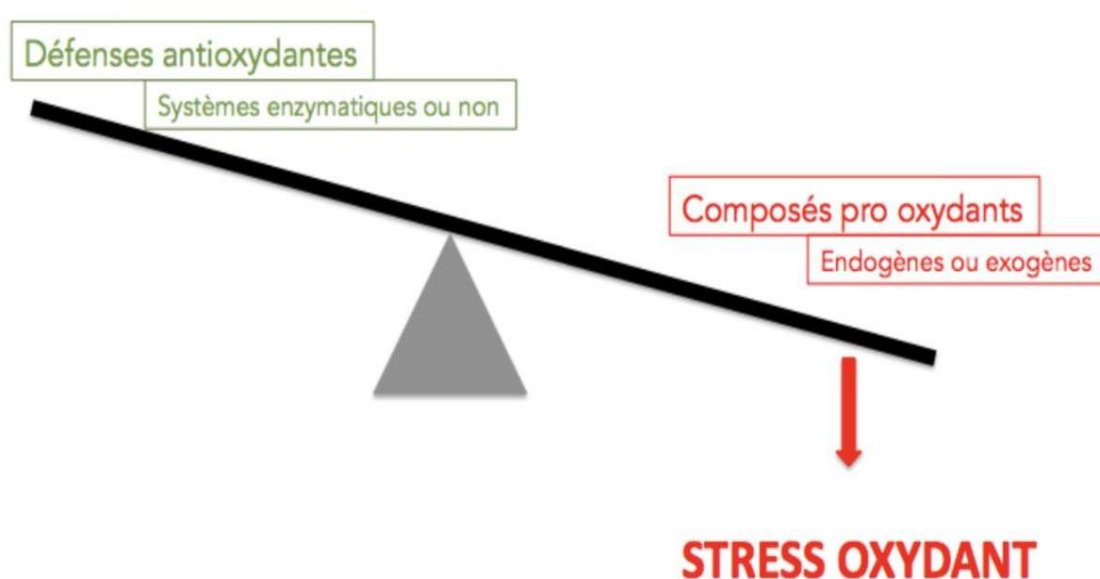


Figure 7 : Stress oxydatif : Déséquilibre de la balance oxydative (Durand Kim 2018)

II.1.2. Origine du stress oxydatif

Le stress oxydatif trouve son origine dans le fonctionnement métabolique normal de la cellule, mais devient pathologique lors d'une rupture de l'homéostasie redox. La cause fondamentale de cet état réside dans l'incapacité des systèmes de défense à contrebalancer une production excessive d'agents hautement instables appelés radicaux libres (Sies H et al., 2020). Ces espèces chimiques, principalement les ERO et les ERA, sont générées de manière continue par des sources endogènes, comme la fuite d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire mitochondriale, ou par des sources exogènes telles que la pollution et les rayonnements UV (Olufunmilayo E.O et al., 2023). Tant que leur concentration reste modérée, ils jouent un rôle dans la signalisation cellulaire. Cependant, dès que leur production dépasse les capacités de

neutralisation des antioxydants, la balance bascule vers le stress oxydatif. Ce déséquilibre permet aux radicaux libres d'attaquer librement les biomolécules (ADN, lipides, protéines), déclenchant des réactions en chaîne qui altèrent l'intégrité structurale et fonctionnelle de la cellule (Kotha et al., 2022 ; Martindah et al., 2025). Ce processus pathologique est exacerbé par l'épuisement des enzymes antioxydantes endogènes, créant un environnement propice à la propagation des dommages oxydatifs (Hamma et al., 2024). L'accumulation de ces lésions moléculaires finit par saturer les mécanismes de réparation cellulaire, conduisant inévitablement à un état de sénescence ou à l'apoptose (Juan et al., 2021). À ce stade critique, l'intervention de molécules bioactives capables de piéger ces radicaux devient essentielle pour prévenir la défaillance des fonctions métaboliques (Sies H et al., 2022). Cette rupture de l'équilibre est souvent illustrée par le concept de balance redox où la prédominance des oxydants signe le début du stress cellulaire.

II.1.3. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des atomes, des molécules ou des ions possèdent au moins un électron non apparié sur leurs couches externes, ce qui leur confère une réactivité chimique élevée et une instabilité intrinsèque (Juan et al., 2021). Cette propriété leur permet de participer à des réactions en chaîne rapides, interagissent avec diverses biomolécules telles que les lipides membranaires, les protéines et l'ADN, pouvant provoquer des altérations structurales et fonctionnelles. Les radicaux libres sont produits de manière endogène au cours du métabolisme cellulaire (Kotha et al., 2022). Ils peuvent également être générés exogènement par des facteurs environnementaux comme les rayonnements UV, la pollution, le tabac ou des substances chimiques oxydantes (Martindah et al., 2025). Les radicaux libres les plus étudiés incluent les espèces réactives de l'oxygène (ERO) telles que le superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), le radical hydroxyle ($\cdot OH$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), ainsi que les espèces réactives de l'azote (ERA) comme le monoxyde d'azote ($NO\cdot$) et le peroxynitrite ($ONOO^-$). (Olufunmilayo E.O et al., 2023). (Figure 8).

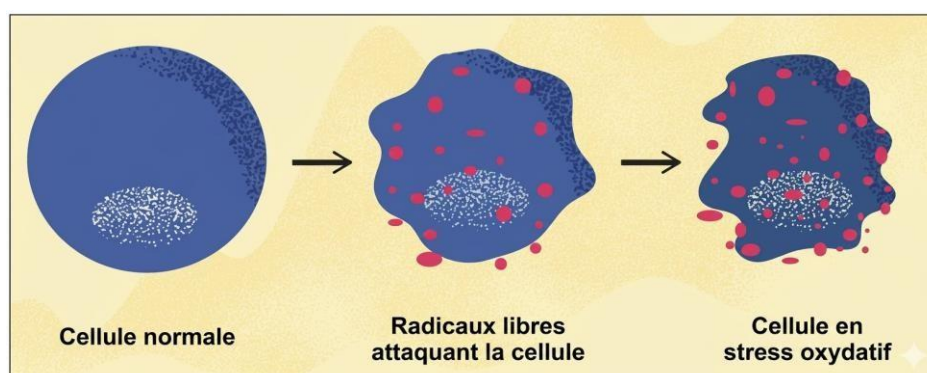


Figure 8 : Effets délétères des radicaux libres sur les cellules (Berakdar, N et al., 2021)

II.1.4. Classification et caractéristiques des espèces réactives (ERO/ERA)

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (ERA) sont des molécules hautement réactives, radicalaires ou non, issues du métabolisme cellulaire (Juan et al., 2021). Si elles assurent normalement des fonctions physiologiques vitales comme la signalisation et la défense immunitaire, leur accumulation excessive rompt l'équilibre redox. Ce dépassement des capacités antioxydantes induit alors un stress oxydatif, provoquant des dommages structuraux majeurs impliqués dans diverses pathologies (Martindah et al., 2025).

II.1.4.1. Espèce réactive de l'oxygène ERO

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) présentent une agressivité variable selon leur structure chimique. Le radical superoxyde (O_2^-), précurseur primaire généré par la mitochondrie, initie des interactions rapides avec les cibles cellulaires (Juan et al., 2021). Parallèlement, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) agit comme un vecteur de stress capable de diffuser à travers les membranes pour engendrer le radical hydroxyle ($OH^\cdot$), l'espèce la plus délétère pour l'ADN et les lipides (Olufunmilayo E.O et al., 2023). La survie cellulaire dépend alors de l'efficacité des systèmes enzymatiques à intercepter ces agents cytotoxiques avant qu'ils ne compromettent l'intégrité fonctionnelle de la cellule. (Figure 9)

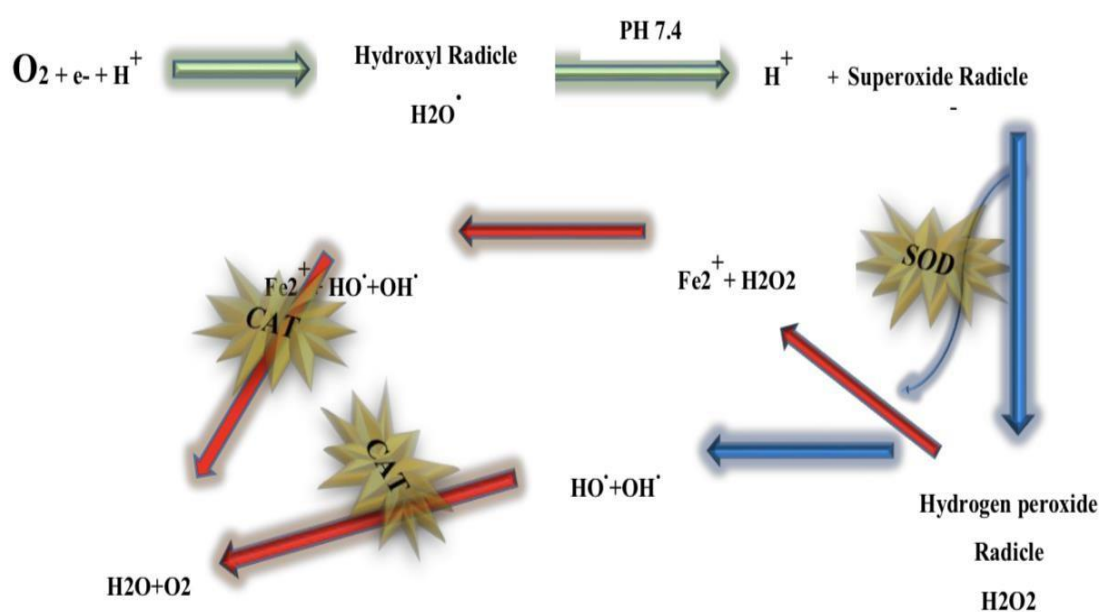


Figure 9 : Représentation de la production intracellulaire des ERO dans les systèmes humains. (Choudhary, M. I., 2020)

II.1.4.2. Espèce réactive de l'azote ERA

Les espèces réactives de l'azote forment une famille de molécules dérivées du monoxyde d'azote ($\text{NO}\cdot$), un radical gazeux essentiel à la signalisation vasculaire mais dont la réactivité peut devenir délétère dans un contexte de stress oxydatif. La toxicité des ERA ne dépend pas uniquement du ($\text{NO}\cdot$) lui-même, mais de sa propension à réagir avec d'autres radicaux, notamment le superoxyde ($\text{O}_2\cdot^-$). Cette interaction conduit à la formation du peroxynitrite (ONOO^-), une espèce extrêmement oxydante et nitrante. Le peroxynitrite possède une capacité de diffusion importante, lui permettant d'atteindre et de modifier irréversiblement diverses cibles biologiques, entraînant ainsi la nitration des protéines, des dommages à l'ADN et l'initiation de la peroxydation lipidique (Martindah et al., 2025). En se décomposant, ces intermédiaires génèrent d'autres radicaux agressifs comme le dioxyde d'azote ($\text{NO}_2\cdot$) et le radical hydroxyle ($\text{OH}\cdot$), créant une synergie destructive entre les systèmes oxygénés et azotés qui compromet gravement la viabilité cellulaire

(Olufunmilayo E.O et al., 2023 ; Juan et al., 2021). (Figure 10)

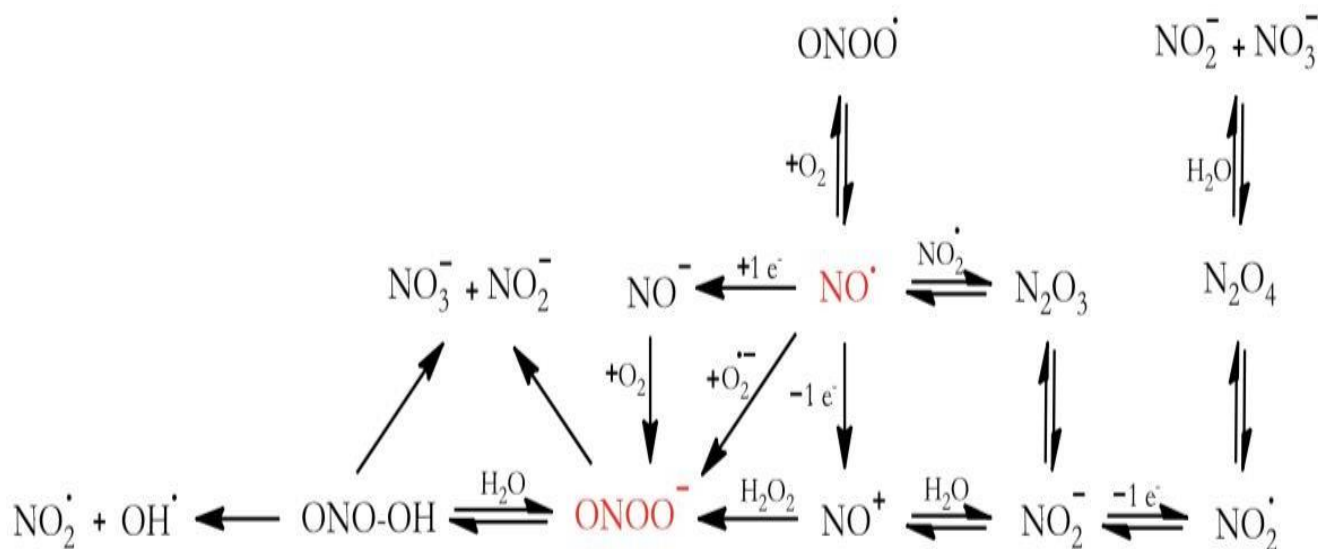


Figure 10 : Mécanismes de formation des espèces réactives de l'azote (ERA) et cascade de production du peroxynitrite (Albane Brunel 2012).

II.1.5. Facteurs du stress oxydatif

La production des espèces pro-oxydantes au sein de l'organisme provient de divers facteurs, classiquement réparties en sources endogènes et exogènes. Alors que les facteurs endogènes sont intrinsèquement liés aux processus métaboliques cellulaires, les facteurs exogènes découlent de l'interaction avec des facteurs environnementaux délétères. Cette distinction est fondamentale pour appréhender les mécanismes impliqués dans la génération des espèces réactives ainsi que leur impact sur le maintien de l'homéostasie redox (Sies et al., 2020). (Figure 11)

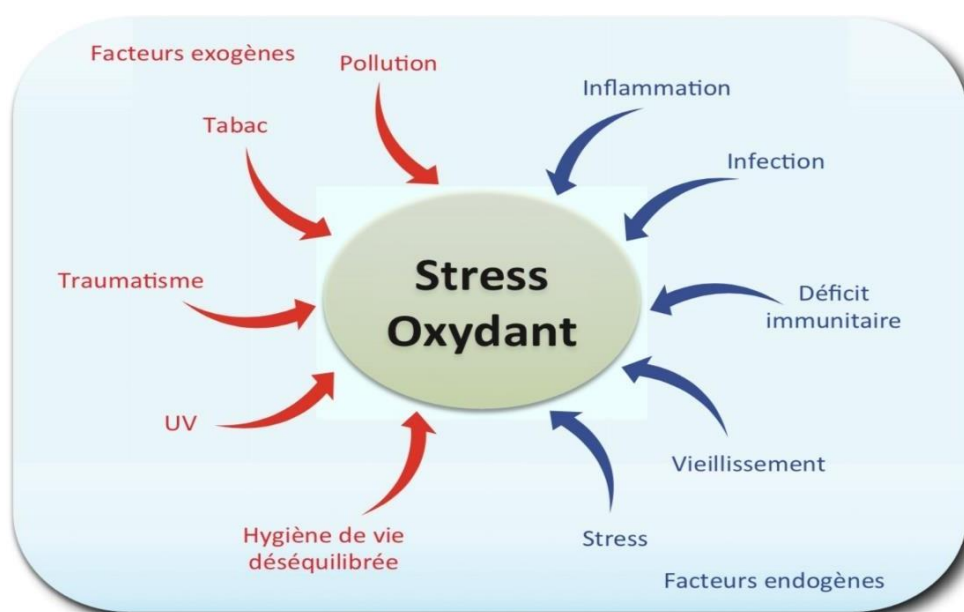


Figure 11 : Origine de stress oxydant : sources internes et externes (Joris Vidé 2017)

II.1.5.1. Facteurs endogènes

Les radicaux libres sont produits dans l'organisme à partir de plusieurs facteurs intracellulaires liées au stress, notamment le déficit immunitaire, l'infection, l'inflammation et vieillissement. Cette production est physiologique, mais peut devenir excessive en cas de déséquilibre cellulaire. (Di Meo et al., 2016).

II.1.5.2. Facteurs exogènes

Les radicaux libres peuvent également provenir de facteurs externes tels que la pollution, le tabac, les rayonnements UV, traumatisme ainsi qu'hygiène de vie déséquilibrée. Ces agents

favorisent la production des espèces réactives et peuvent perturber l'équilibre redox cellulaire. (Chaudhary, P et al.,2023).

II.1.6. Mécanisme du stress oxydatif

Le mécanisme du stress oxydatif implique une accumulation excessive d'espèces réactives de l'oxygène et de l'azote (ERO/ERA), conduisant à une cascade de réactions oxydatives au sein de la cellule. Ces espèces réactives interagissent avec les principales macromolécules biologiques. Ces altérations perturbent les voies de signalisation intracellulaire, compromettent l'intégrité cellulaire et peuvent activer des mécanismes de mort cellulaire tels que l'apoptose ou la nécrose. (Liguori, I et al.,2018 ; Shankar, N et al.,2023). (Figure 12)

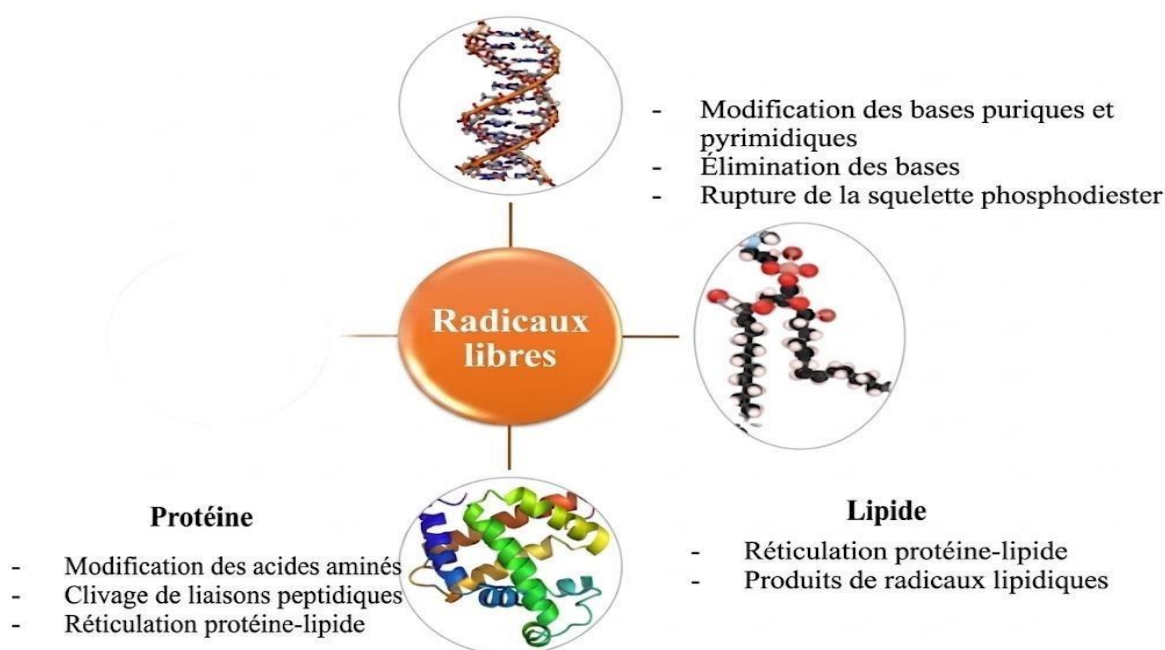


Figure 12 : Les cibles moléculaires des espèces radicalaires. (Choudhary, M. I.,2020)

II.1.6.1. Peroxydation lipidique :

La peroxydation lipidique correspond à l'oxydation des lipides membranaires riches en acides gras polyinsaturé par les ERO, notamment le radical hydroxyle. Ce processus se déroule en trois phases, Initiation : formation des radicaux lipidiques par attaque des ERO. Propagation : réaction en chaîne produisant des lipoperoxydes. Terminaison : formations des produits finaux toxiques comme le malondialdéhyde (MDA) et le 4-hydroxynonenal(4-HNE). La peroxydation lipidique altère la fluidité et l'intégrité des membranes cellulaire, perturbe la fonction mitochondriale et peut conduire à la mort cellulaire. (Ayala et al.,2014)

II.1.6.2. Oxydation des protéines :

Les ERO peuvent oxyder les acides aminés sensibles (cystéines, méthionines, tyrosines) provoquant : modification structurale des protéines, perte d'activité enzymatique, agrégation ou formation protéique. L'oxydation protéique peut également affecter les récepteurs membranaires, les enzymes métaboliques et les protéines mitochondriales, contribuant aux dysfonctionnements cellulaires ou vieillissement. (Sies et al.,2017)

II.1.6.3. Dommages de l'ADN :

Les ERO peuvent induire des altérations oxydatives de l'ADN nucléaire et mitochondrial, notamment : oxydation des bases (formation de 8-oxo-guanine), cassure simple et double brin mutations et instabilité génomique. Ces dommages peuvent perturber la réplication et la transcription, favorisant l'apoptose ou la transformation cellulaire et le développement de cancer. (Juan et al.,2021).

II.1.7. Implication du stress oxydatif dans différents maladies

Le stress oxydatif joue un rôle central dans la physiopathologie de nombreuses maladies chroniques. L'excès de ERO entraîne des altérations des lipides, protéines et acide nucléique, perturbant la signalisation cellulaire et favorisant l'inflammation chronique, l'apoptose et dysfonction tissulaire (Sies et al.,2017). (Figure 13)

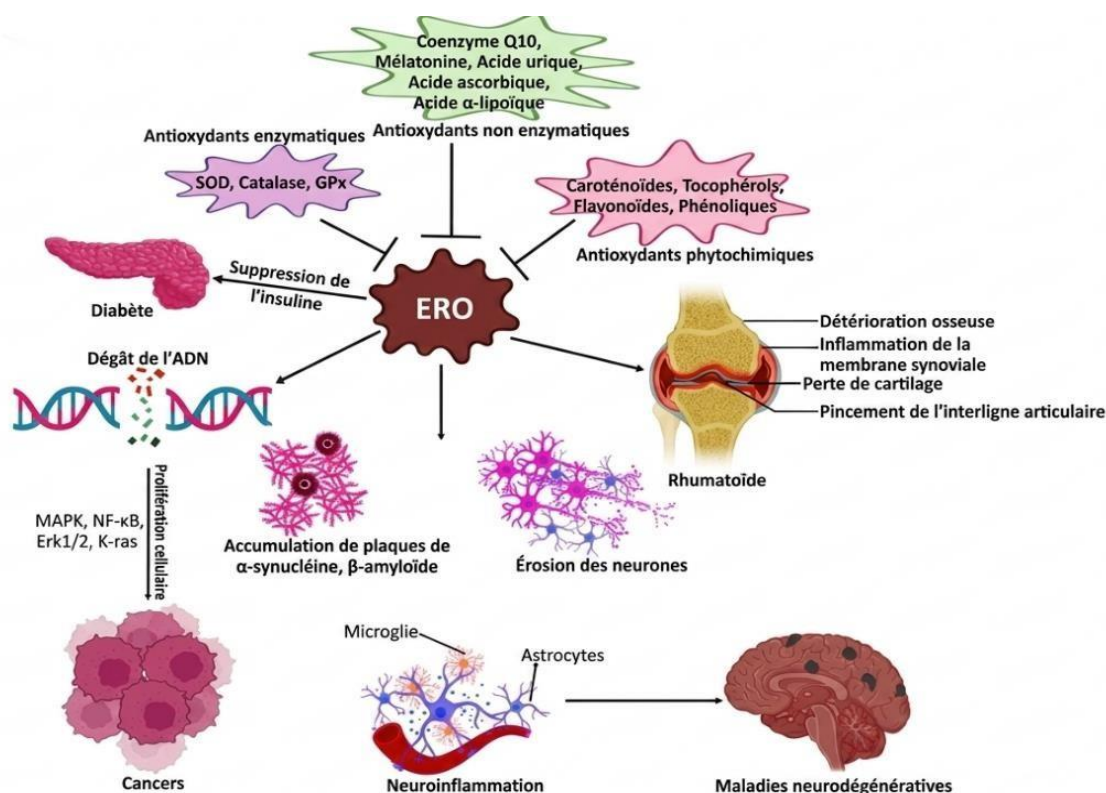


Figure 13 : Rôle du stress oxydatif dans les pathologies humaines et mécanismes de défenses antioxydantes (Ansari, W. A et al.,2025).

II.1.7.1. Maladies cardiovasculaires

Dans les maladies cardiovasculaires, le stress oxydatif contribue à la dysfonction endothéliale, un événement clé dans l'athérosclérose. Les ERO diminuent la biodisponibilité du monoxyde d'azote (NO) essentiel à la vasodilatation, favorisent l'oxydation de lipoprotéines LDL, stimulent l'inflammation vasculaire. Ces mécanismes entraînent l'épaississement de la paroi

artérielle, la formation de plaque athéroscléroses et augmentent le risque d'infarctus du myocarde et d'accident vasculaire cérébrale. (Förstermann, U et al.,2017). (Figure 14)

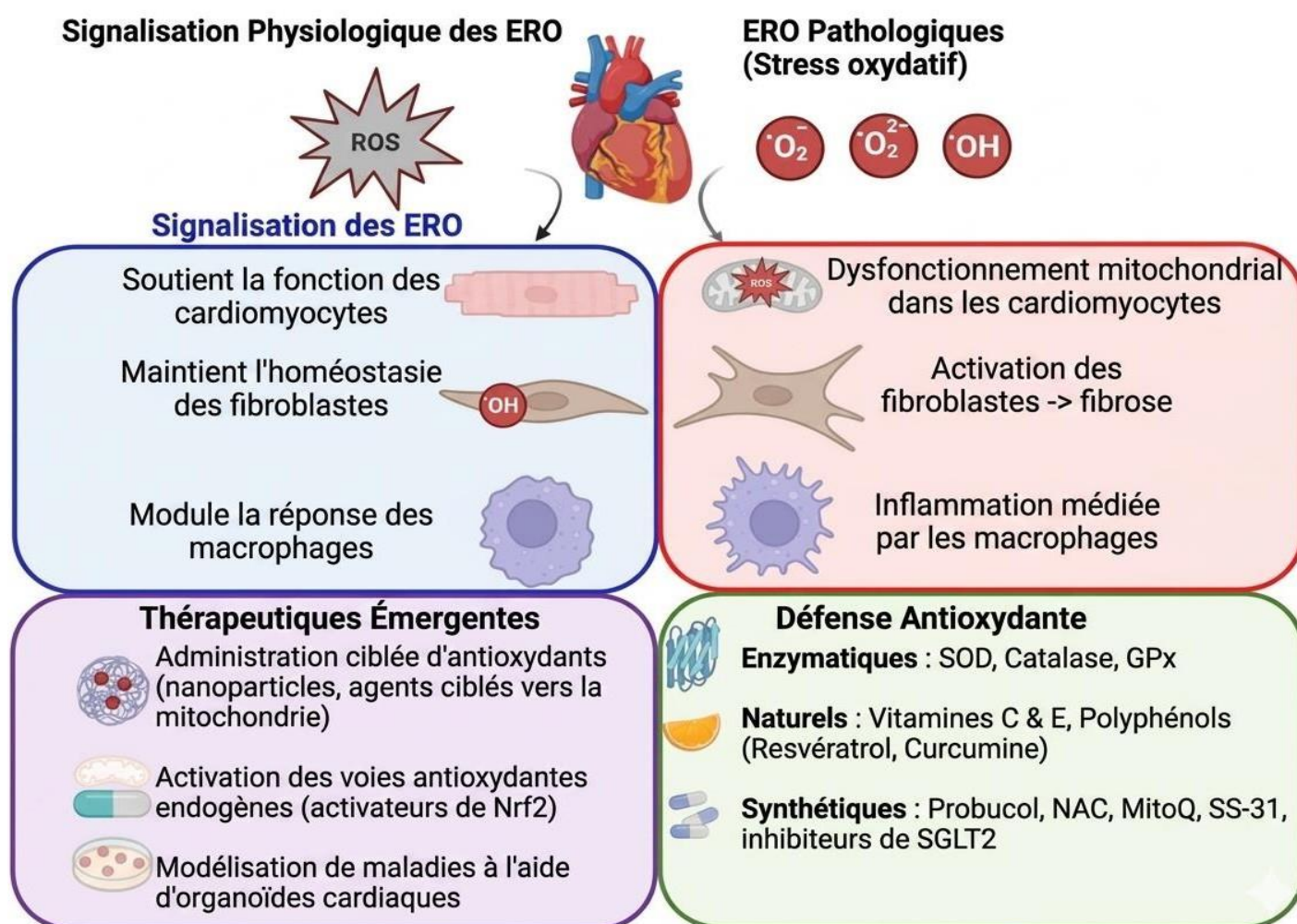


Figure 14 : Les ERO dans le système cardiovasculaire : fonctions normales et effets pathologiques. (Ross, G. R et al.,2025)

II.1.7.2. Diabète

Dans le diabète, l'hyperglycémie chronique induit une production excessive de ERO par activation de la voie des polyols, glycation non enzymatique et dysfonction mitochondriale. Le stress oxydatif contribue aux complications diabétiques telles que néphropathie, neuropathie,

rétinopathie. L'augmentation des ERO altère également la fonction des cellules β pancréatiques, réduisant la sécrétion d'insuline. (Volpe et al.,2018). (Figure 15)

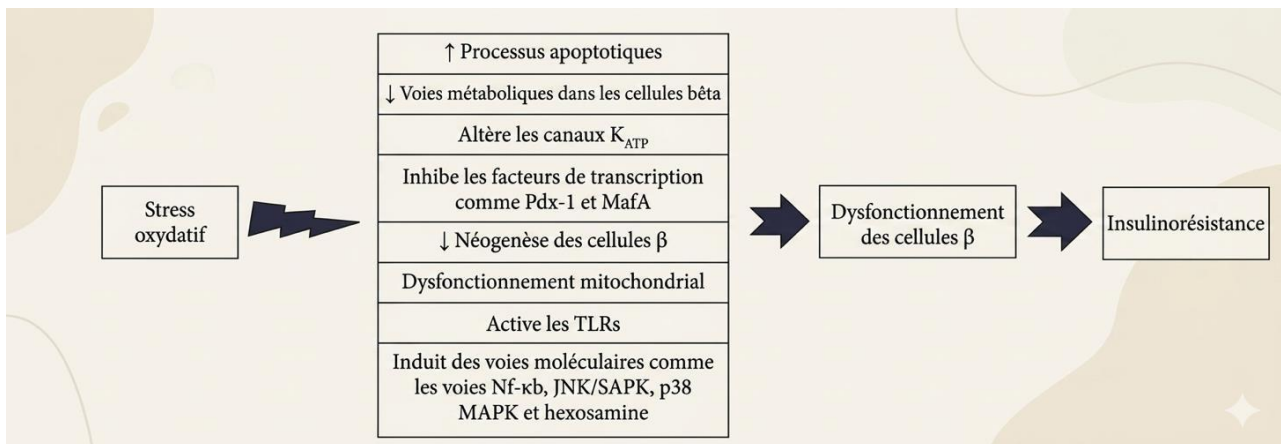


Figure 15 : Impact du stress oxydatif sur le dysfonctionnement des cellules β pancréatiques et l'insulinorésistance. (Yaribeygi, H et al.,2020).

II.1.7.3. Cancer

Le stress oxydatif joue un double rôle dans le cancer, à faible niveau, les ERO participent à la signalisation favorisant la prolifération cellulaire. À niveau élevé, ils induisent mutation de l'ADN, instabilité génomique, activation d'oncogène et inhibition des gènes suppresseur des tumeurs. Les dommages oxydatifs répétés peuvent conduire à la transformation maligne des cellules. Cependant, certaines thérapies anticancéreuses exploitent l'augmentation des ERO pour induire l'apoptose des cellules tumorales. (Reczek et chandel,2017). (Figure 16)

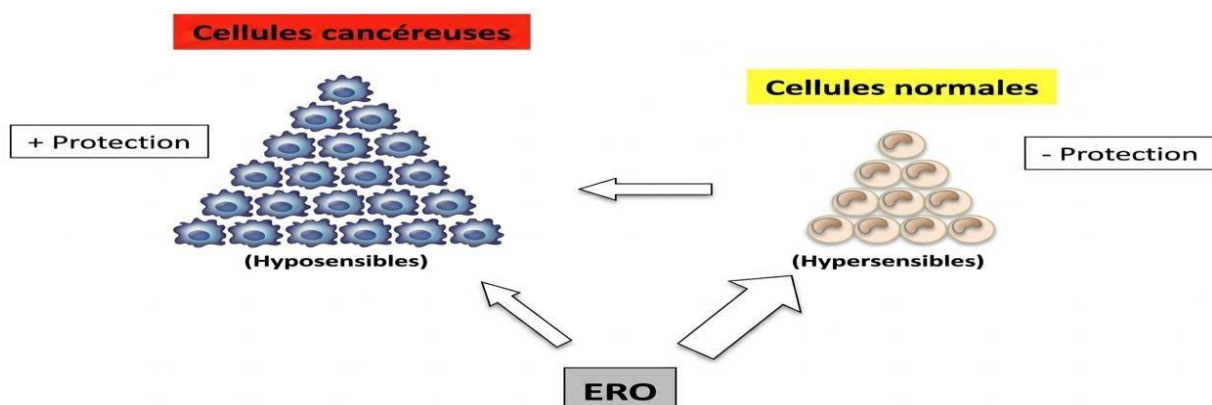


Figure 16 : Effet des ERO sur les cellules normales et les cellules cancéreuses. (Reuter, S et al.,2010).

II.1.7.4. Maladies neurodégénératives

Le cerveau est particulièrement vulnérable au stress oxydatif en raison de sa forte consommation d'oxygène, sa richesse en lipides polyinsaturé et ses défenses antioxydants relativement limité. Dans les maladies comme Alzheimer, Parkinson les ERO contribuent à agrégation protéique, dysfonction mitochondriale, inflammation neuronale et mort neuronale progressive. (Cobley et al.,2018). (Figure 17)

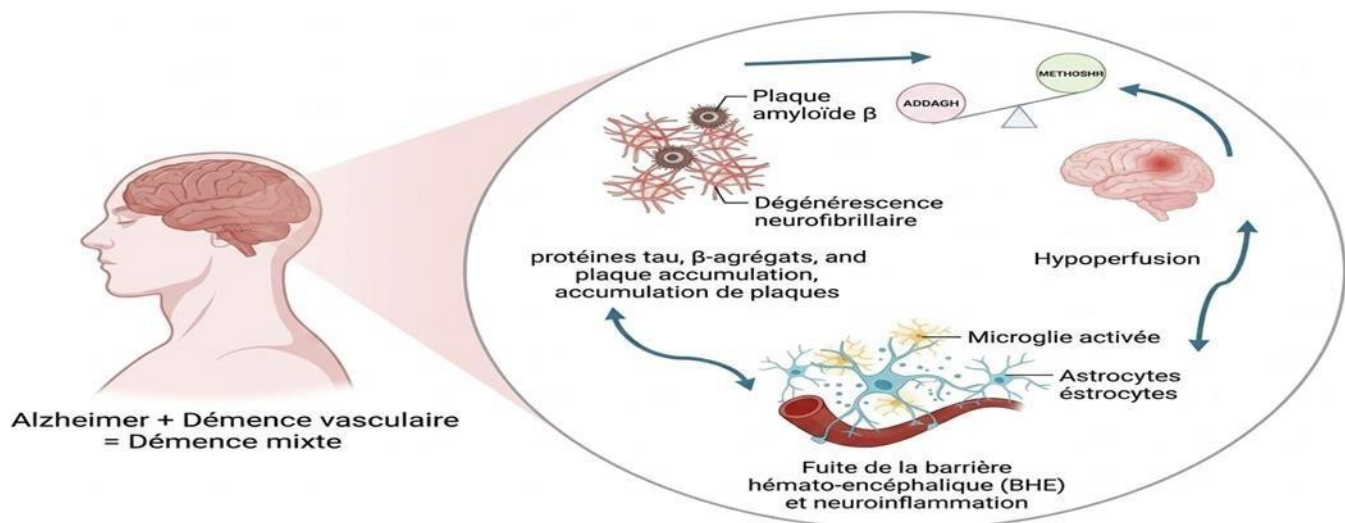


Figure 17 : Physiopathologie de la maladie d'Alzheimer associée à la démence vasculaire. (Beretti, F. et al., 2025).

II.1.7.5. Vieillissements

Le vieillissement est associé à une accumulation progressive de dommages oxydatifs selon la théorie mitochondriale du vieillissement : l'accumulation de mutation de l'ADN, l'augmentation des ERO et la diminution des systèmes antioxydants conduisent à une perte progressive de la fonction cellulaire et tissulaire. (Sies et al., 2017). (Figure 18)

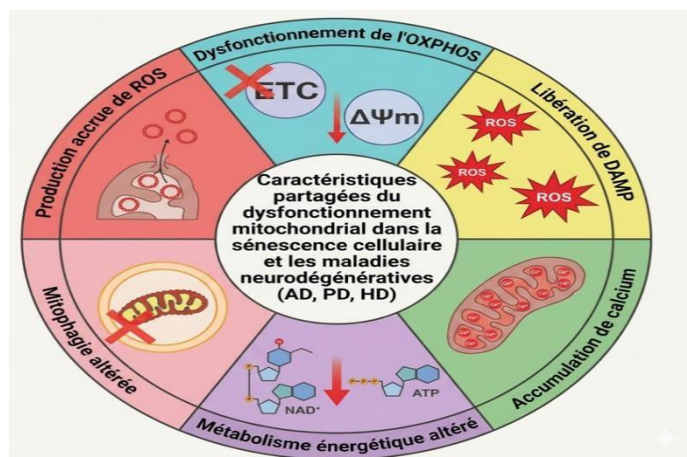


Figure 18 : Impact du vieillissement sur les fonctions mitochondriales (Hruby, A. J. et al., 2025).

II.2. Antioxydants

II.2.1. Définition

Les antioxydants sont des molécules biologiques capables de neutraliser les espèces réactives en leur cédant un électron, stoppant ainsi les réactions d'oxydation en chaîne. Ils se divisent en systèmes enzymatiques endogènes (SOD, CAT) et composés exogènes apportés par l'alimentation, tels que les polyphénols et les vitamines (Juan et al., 2021). Leur rôle principal est de maintenir l'homéostasie redox en prévenant les dommages irréversibles sur l'ADN, les protéines et les lipides membranaires. Cette protection est cruciale pour inhiber le stress oxydatif et réduire le risque de pathologies chroniques liées au vieillissement cellulaire

(Sies et al., 2022). En piégeant les radicaux libres, ils agissent comme un bouclier protecteur garantissant la viabilité et l'intégrité fonctionnelle de la cellule. (Figure 19).

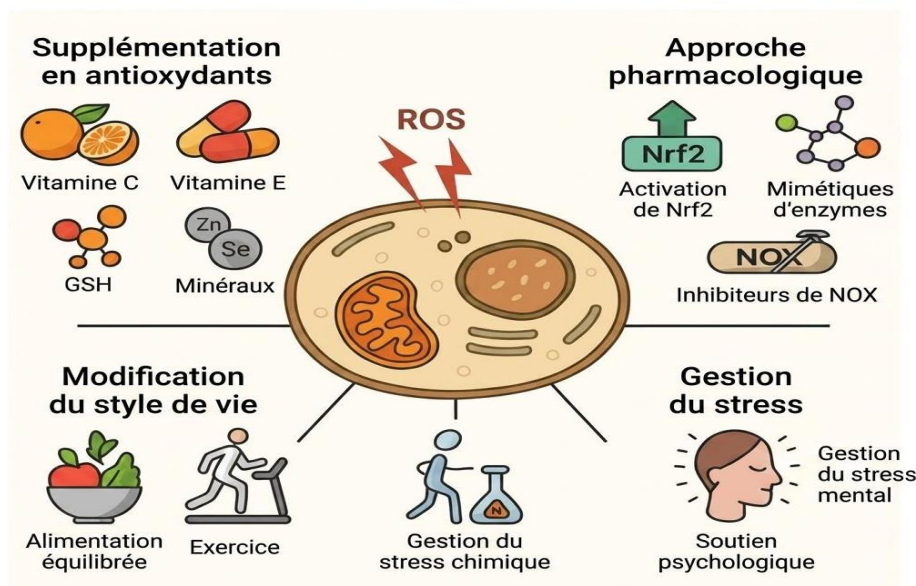


Figure 19 : Moyens de diminuer le stress oxydatif (Martindah et al.,2025)

II.2.2. Types des antioxydantes

Les antioxydants se divisent en deux grands groupes complémentaires : les systèmes enzymatiques, qui catalysent la décomposition des espèces réactives, et les molécules non-enzymatiques, qui les neutralisent par transfert d'électrons. (Figure 20)

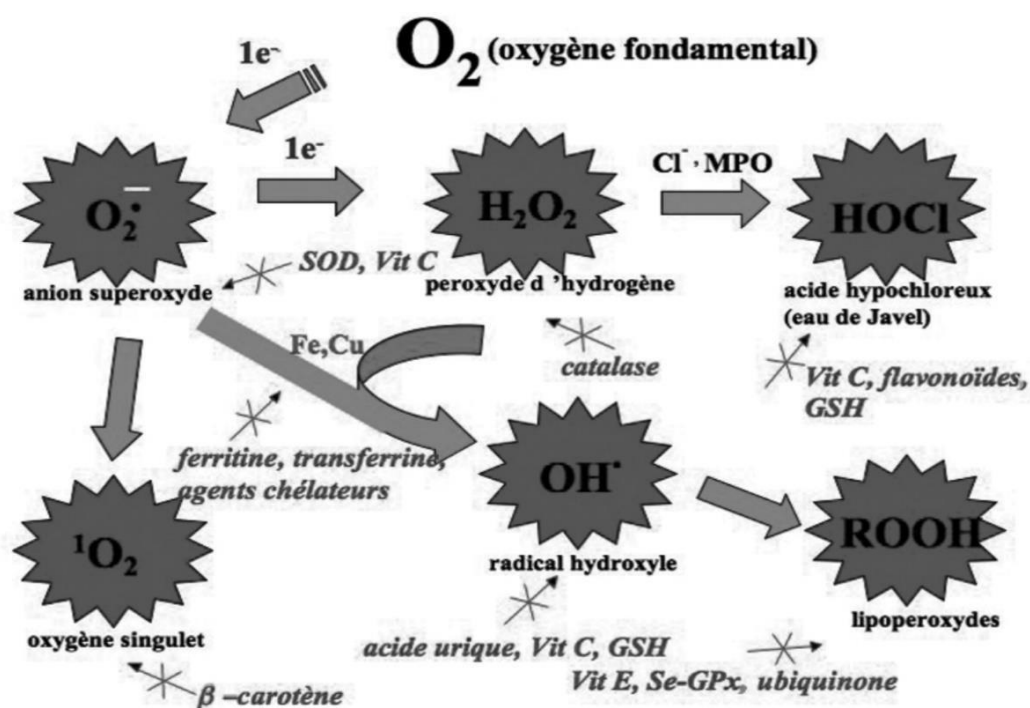


Figure 20 : Voies de formation des ERO et sites d'intervention des systèmes enzymatiques et non-enzymatiques. (J. haleng et al.,2007)

II.2.2.1. Antioxydants enzymatiques

Les antioxydants enzymatiques assurent la détoxification des espèces réactives en catalysent leur transformation en composés stable et non toxique.

II.2.2.1.1. Superoxyde dismutase (SOD)

La superoxyde dismutase (SOD) catalyse la dismutation du radical superoxyde ($O_2^{\cdot -}$) en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et on oxygène. Il existe trois principales isoformes : Cytoplasmique : SOD_1 (Cu/Zn-SOD), Mitochondriale : SOD_2 (Mn-SOD), Extracellulaire : SOD_3 . La SOD joue un rôle crucial dans la prévention des dommages mitochondriaux liées au stress oxydatif. (Gutmann, C et al.,2021)

II.2.2.1.2. Catalase (CAT)

La catalase est localisée principalement dans les peroxysomes. Elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène. Elle agit en complémentarité avec la SOD pour éviter l'accumulation de H_2O_2 , qui pourrait générer le radical hydroxyle (OH) via la réaction de fenton. (Sies et al.,2017)

II.2.2.1.3. Glutathion peroxydase (GPx)

La glutathion peroxydase (GPx) réduit le peroxyde d'hydrogène et les hydro peroxydes lipidiques en utilisant la glutathion réduit (GSH) comme cofacteur. Cette enzyme est essentielle dans la protection des membranes contre la peroxydation lipidique et joue un rôle majeur dans la régulation du stress oxydatif cellulaire. (Brigelius-Flohé, R et al.,2013)

II.2.2.2. Antioxydants non enzymatiques

Les antioxydants non enzymatiques agissent principalement comme piègeurs directs des radicaux libres.

II.2.2.2.1. Glutathion (GSH)

La glutathion (GSH) est tripeptides intracellulaires, il constitue l'un des antioxydants les plus importants dans la cellule. Fonctions principales : Neutralisation directe des radicaux libres, Cofacteur de la GPx, Régulation de l'état redox cellulaire. (Juan et al.,2021)

II.2.2.2.2. Vitamine C (acide ascorbique)

La vitamine C est un antioxydant hydrosoluble capable de neutraliser plusieurs ERO, notamment le radical superoxyde et le radical hydroxyle. Elle participe également à :

La régénération de la vitamine E oxydée, la protection contre l'oxydation de l'ADN, son action est particulièrement importante dans le plasma et le cytosol. (Sies et al.,2017)

II.2.2.2.3. Vitamine E (tocophérol)

La vitamine E est antioxydant liposoluble localise dans les membranes cellulaires. Elle protège les lipides membranaires contre la peroxydation lipidique en interrompant les réactions radicalaires en chaîne. Elle agit principalement contre les radicaux peroxydes lipidiques et stabilise les membranes biologiques. (Traber, M. G et al.,2007)

II.2.2.2.4. Polyphénols

Les polyphénols sont des composés d'origine végétales possèdent une forte activité antioxydante. Mécanismes d'actions : piégeages directs des radicaux libres, chélation des métaux pro-oxydants, activation des voies de signalisation antioxydants, ils jouent un rôle important dans la prévention des maladies liées au stress oxydatif, notamment cardiovasculaire et neurodégénératives. (Cory, H et al.,2018)

II.2.3. Les sources des antioxydants

Les antioxydants se divisent en deux catégories selon leur mode d'obtention : les composés naturels, issus de ressources biologiques et métaboliques, et les molécules synthétiques, produites par synthèse chimique industrielle.

II.2.3.1. Antioxydants synthétiques

Les antioxydants synthétiques sont largement utilisés pour leur forte efficacité et leur stabilité, mais leur emploi peut être restreint en raison de possibles effets indésirables à long terme.

II.2.3.1.1. N-acétylcystéine (NAC)

La N-acétylcystéine (NAC) est un précurseur de glutathion réduit (GSH), principal antioxydant intracellulaire. Elle agit par stimulation de la synthèse de GSH, neutralisation directe des radicaux libres et amélioration du statut redox mitochondrial. Le NAC est utilisé dans divers pathologies associées au stress oxydatif, notamment les maladies respiratoires et inflammatoires. (Sies et al.,2017).

II.2.3.1.2. Coenzyme Q10

La coenzyme Q10 est antioxydant liposoluble localisé dans la membrane mitochondriale. Elle participe à la chaîne respiratoire et la production d'ATP, réduit la peroxydation lipidique et protège les membranes cellulaires contre les dommages oxydatifs. Son rôle protecteur est étudié dans les maladies cardiovasculaires et métaboliques. (Martindah et al.,2025).

II.2.3.2. Antioxydants naturels

Les antioxydants naturels présentent un intérêt majeur en raison de leur faible toxicité et de leur activité biologique multifactorielle.

II.2.3.2.1. Plantes médicinales

Les plantes médicinales riches en polyphénols, Flavonoïdes possèdent une activité antioxydante en neutralisant les ERO, en chélatant les métaux pro-oxydantes et en stimulant les défenses enzymatiques via la voie Nrf2. Parmi les principales, on peut citer le thé vert, le curcuma, le romarin, le gingembre et l'ail. (Juan et al.,2021 ; Kotha et al.,2022).

II.2.3.2.2. Vitamines

Vitamine C : antioxydants hydrosolubles neutralisant les radicaux libres plasmatiques.

Vitamine E : protège mes membranes lipidiques contre la peroxydation.

(Kotha et al.,2022 ; Martindah et al.,2025).

II.2.3.2.3. Produits de la ruche

Les produits de la ruche tels que le miel, la gelée royale, le pollen et la propolis, sont riches en composés phénoliques dotés de puissantes propriétés antioxydantes, contribuant à la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène et à la protection cellulaire contre le stress oxydatif. (Pasupuleti, V et al.,2017 ; Zulhendri, F et al.,2021).

II.2.4. Mécanisme des antioxydants

Pour contrer la toxicité des espèces réactives, les systèmes antioxydants interviennent via différents mécanismes biochimiques visant à stabiliser les radicaux libres ou à stopper leur propagation. L'activité antioxydante repose sur une action multicible agissant à différents stades de la cascade d'oxydation. (Figure 21)

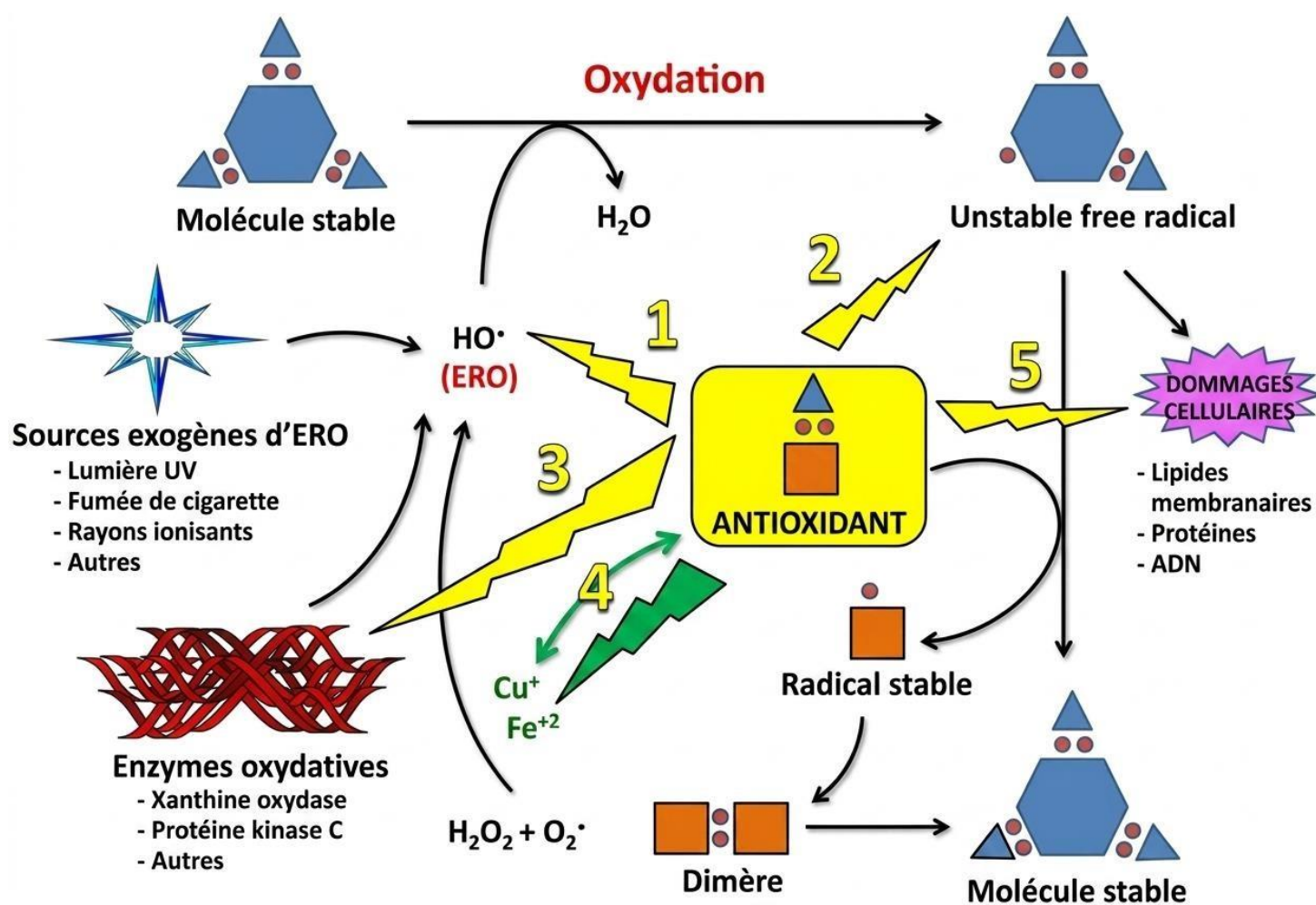


Figure 21 : Voies de neutralisation des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et prévention des dommages oxydatifs sur les biomolécules (Oliveira Silva, E., & Batista, R. 2017).

II.2.4.1. Neutralisation directe des ERO par piégeage des radicaux

Les antioxydants agissent comme des "éponges" à radicaux libres en réagissant directement avec les espèces réactives de l'oxygène (ERO) avant qu'elles ne puissent attaquer les composants cellulaires. Ce mécanisme transforme un radical instable en une espèce chimique stable. (Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. 2015).

II.2.4.2. Don d'espèces H (Transfert d'atome d'hydrogène - HAT)

C'est le mécanisme principal des composés phénoliques. L'antioxydant cède un atome d'hydrogène (H) au radical libre, ce qui sature l'électron célibataire de ce dernier et le stabilise immédiatement. (Gulcin, İ. 2020).

II.2.4.3. Inhibition des enzymes oxydatives

Certains antioxydants ne se contentent pas de piéger les radicaux, ils empêchent leur formation à la source en inhibant des enzymes comme la xanthine oxydase ou la lipoxigénase qui produisent naturellement des radicaux libres durant leur activité métabolique.

(Pisoschi, A. M., & Pop, A. 2015).

II.2.4.4. Chélation des métaux de transition

Le fer (Fe^{2+}) et le cuivre (Cu^{2+}) sont dangereux car ils catalysent la réaction de Fenton, générant le radical hydroxyle ($\text{HO}\cdot$) l'espèce la plus agressive. Les antioxydants séquestrent (chélatent) ces métaux, les rendant inactifs et incapables de produire de nouveaux radicaux.

(Lv, Q. Z., Long et al., 2021).

II.2.4.5. Réparation des composants cellulaires endommagés

Ce mécanisme intervient après l'attaque. Des systèmes antioxydants (souvent enzymatiques comme les polymérases ou les chaperonnes) réparent les protéines oxydées, éliminent les lipides endommagés et réparent les cassures de l'ADN pour restaurer la fonction cellulaire. (Sies, H. 2017).

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

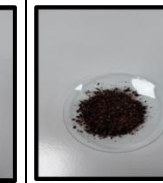
Introduction

La présente étude menée au sein du **Laboratoire de Pharmacognosie et Api-phytothérapie**, vise à évaluer et caractériser de la propolis provenant de cinq wilayas de l’ouest Algérien, à savoir Mostaganem, Oran, Tlemcen, Relizane et Tiaret. Les échantillons ont été récoltés durant la période estivale (2025), afin de refléter les conditions saisonnières susceptibles d’influencer la composition et les propriétés de la matière récoltée. Chaque échantillon, issu d’un site géographique distinct, se distingue par ses caractéristiques macroscopiques propres, ce qui permet de mettre en évidence d’éventuelles variations liées à l’origine géographique et aux conditions de collecte (**Tableau 3 ; Figure 22**).



Figure 22 : Localisation géographique de la propolis étudiée

Tableau 3 : Origine géographique des échantillons de propolis étudiés

La wilaya	Mostaganem	Oran	Tlemcen	Relizane	Tiaret
La région	Oulad Bachir	Douar Tafraoui Elkerma	Zarifat mansourah	Zamoura sidi lezrag	Frenda
L'échantillon					

1. caractéristiques physicochimiques de la propolis

1.1. Extraction

Afin d'extraire les composés bioactifs de la propolis et d'évaluer son potentiel thérapeutique, deux méthodes distinctes ont été appliquées, l'extrait hydro-éthanolique (70%) qui repose sur l'utilisation d'un mélange d'éthanol et d'eau distillée, et le second c'est l'extrait aqueux qui utilise seulement l'eau distillée comme solvant d'extraction. (Figure 23)

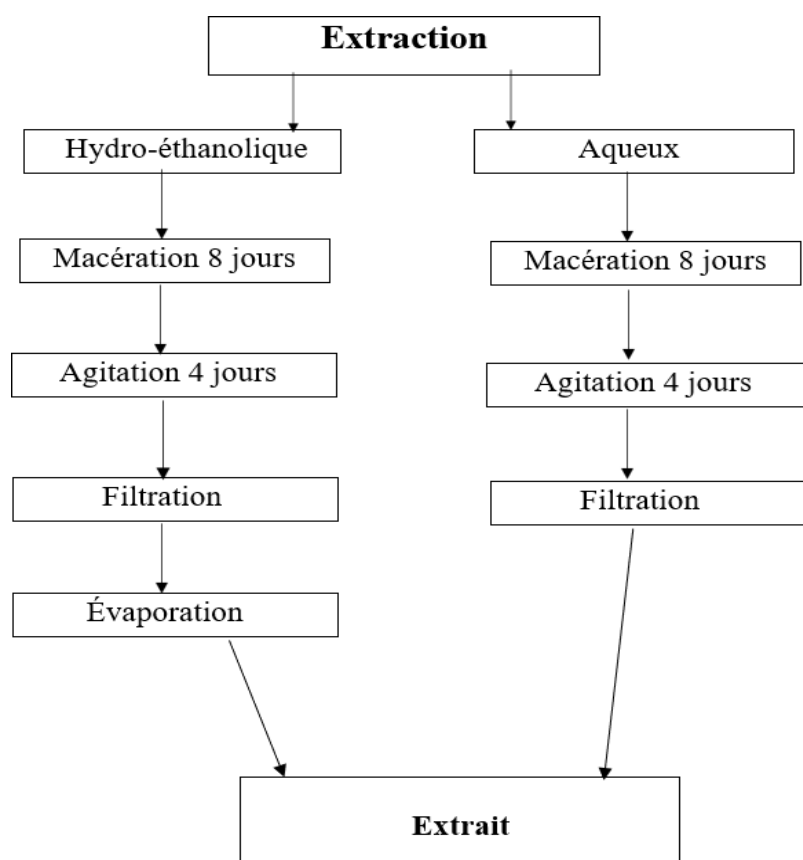


Figure 23 : Diagramme des processus d'obtention des extraits bruts

1.1.1. Extrait hydro-éthanolique

L'extraction a été effectuée par macération de 20 g de propolis brute de chaque variété dans un mélange hydro-éthanolique à 70 %. Le protocole a été conduit pendant 12 jours sous agitation orbitale continue, dans le but de favoriser le transfert de masse des métabolites secondaires vers le solvant. À l'issue de la phase de contact, le macérat a été filtré, puis le solvant a été éliminé par évaporation sous pression réduite afin d'obtenir l'extrait sec. (Svetikiene, D et al.,2024). (Figure 24).

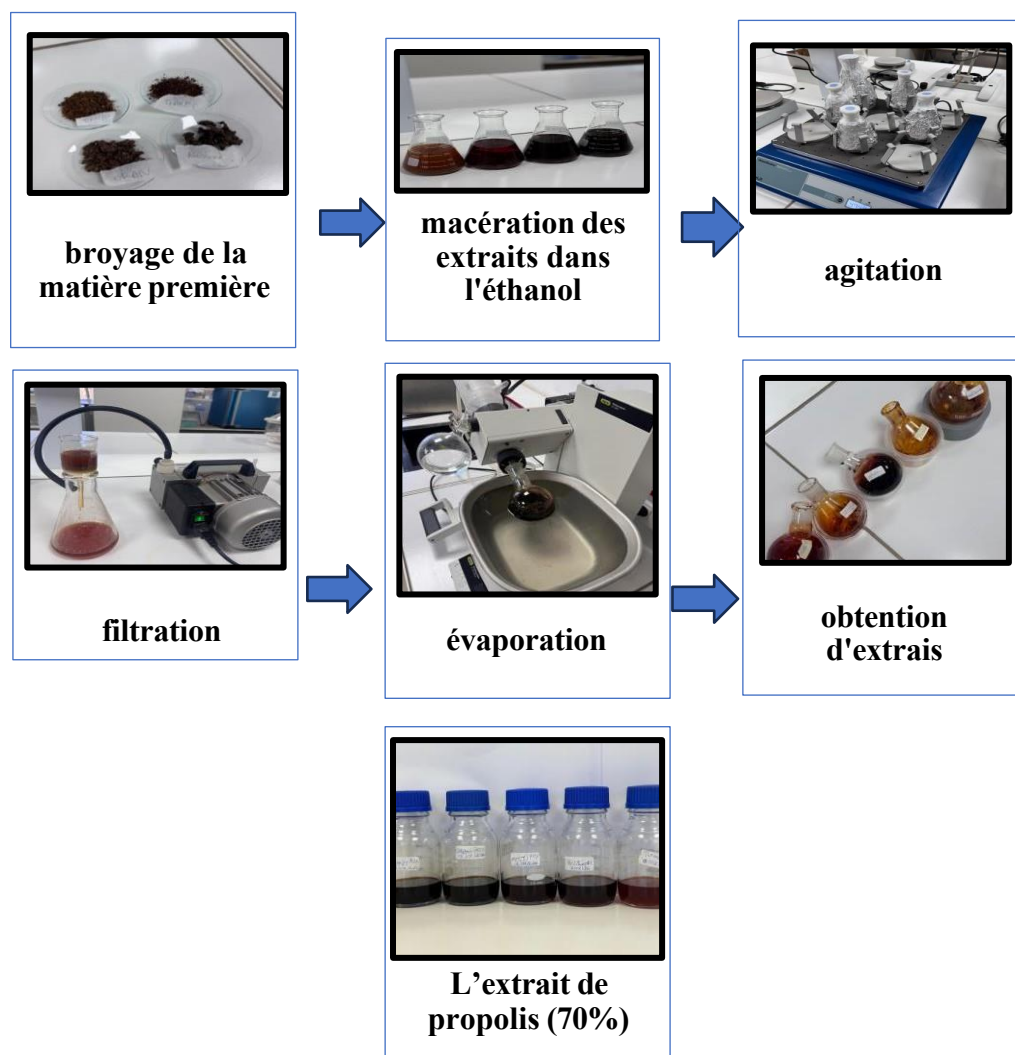


Figure 24 : Étapes expérimentales de l'obtention des extraits hydro-éthanoliques de propolis

1.1.2. Extrait aqueux

L'extraction a été réalisée conformément au protocole de (De Morais, P. B. et al., 2025). La préparation de l'extrait aqueux a été effectuée par macération, dont l'objectif est d'extraire les métabolites secondaires polaires présents dans la propolis. À cet effet, 10 g de propolis brute de chaque variété, préalablement broyée, ont été immergés dans 100 ml d'eau distillée. Le mélange a ensuite été maintenu pendant 12 jours sous agitation orbitale afin de favoriser le transfert des composés solubles vers le milieu aqueux. Enfin, le macérat obtenu a été filtré afin de récupérer l'extrait, qui a ensuite été conservé pour les analyses ultérieures. (Figure 25)

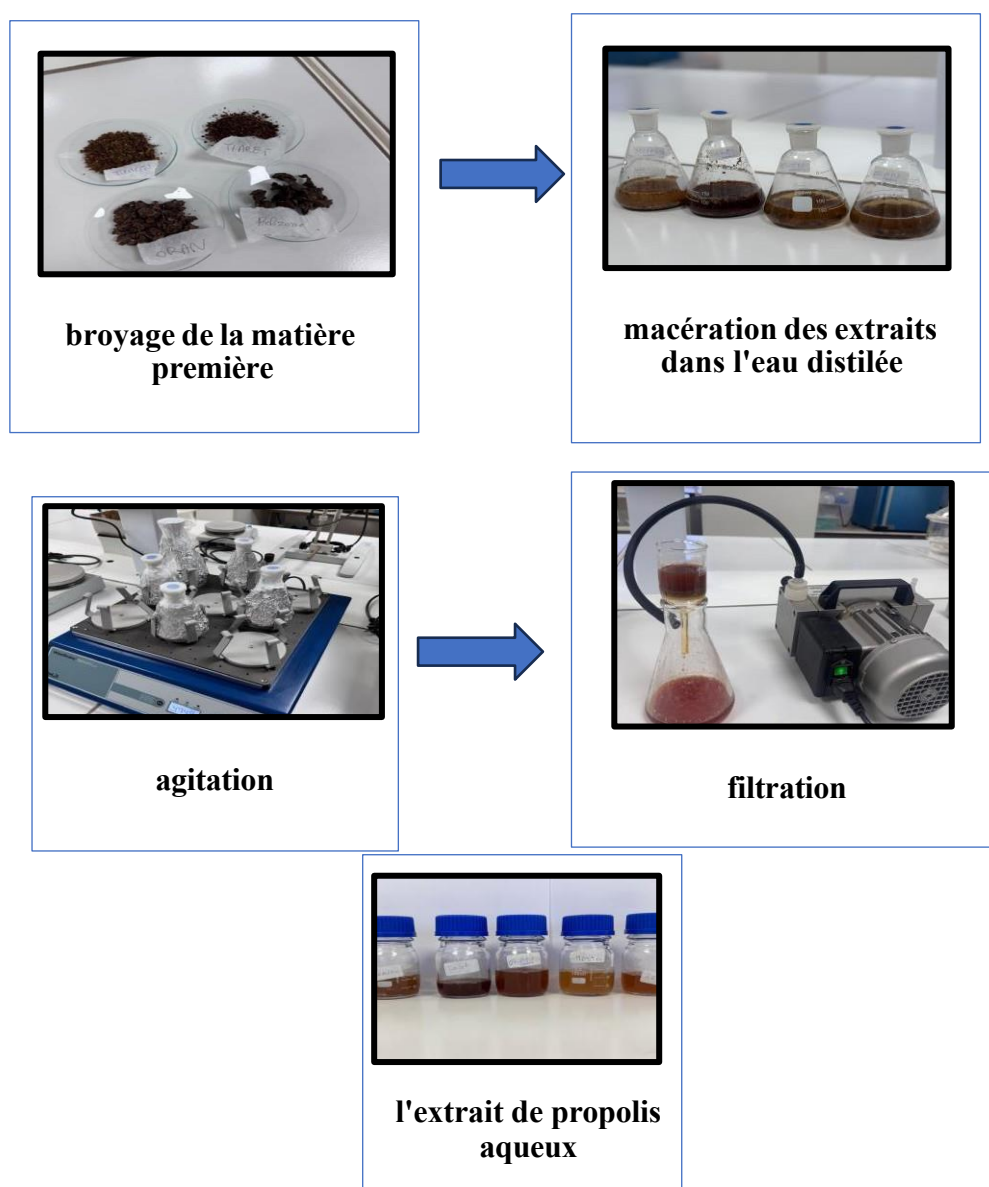


Figure 25 : Étapes expérimentales de l'obtention des extraits aqueux de propolis

1.2. Rendement

Le rendement de l'extraction de la propolis a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$RD\% = \frac{\text{Poids de l'extrait}}{\text{Poids de la poudre de la propolis}} * 100$$

1.3. Paramètres physicochimiques

Les paramètres physicochimiques suivants ont été réalisés d'après le protocole

(AOAC., 1990).

- **Mesure de pH**

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH mètre. Un volume déterminé de chaque extrait, issu des différentes variétés étudiées, a été prélevé, puis l'électrode a été immergée dans la solution sous agitation magnétique.

- **Teneur en eau (humidité)**

Cette opération consiste à déterminer la teneur en eau de chaque variété de propolis à l'aide d'un analyseur d'humidité. Une quantité appropriée de chaque échantillon a été déposée sur le prisme de l'appareil, puis la lecture a été effectuée conformément. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'humidité.

- **Conductivité**

La mesure de la conductivité électrique a été réalisée à l'aide d'un conductimètre. Un faible volume de chaque extrait a été prélevé et maintenu à une température contrôlée inférieure ou égale 20°C. L'électrode a été soigneusement immergée dans chaque échantillon et la valeur de la conductivité a été enregistrée.

- **L'absorbance**

La densité optique (DO) de chaque extrait, correspond aux différentes variétés étudiées a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde pour l'extrait hydroéthanolique 235 nm et pour l'extrait aqueux 237 nm .

- **L'acidité libre**

L'acidité libre a été déterminée par titrage acido-basique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH). Le titrage a été suivi jusqu'à l'atteinte du point d'équivalence, permettant ainsi d'évaluer la quantité d'acide libre présents dans les extraits.

- **Mode Opérateur**

Un volume de 10mL de chaque extrait, correspond aux différentes variétés étudiées, a été titrée par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) a 0, 05N. Le titrage a été suivi à l'aide d'un pH mètre jusqu'à l'obtention d'un pH de 8,50. L'acidité libre (AL) a ensuite été calculée selon la formule suivante :

$$AL = (1000 * [NaOH] * V_{NaOH} / M_{propolis})$$

1.4. Technique d'analyse et d'indentification structurale

L'identification structurale des molécules organiques repose généralement sur l'utilisation de plusieurs techniques spectroscopiques complémentaires. Parmi les méthodes les plus couramment employées figurent la spectrométrie de masse, la spectroscopie infrarouge (IR) ainsi que la résonance magnétique nucléaire (RMN) du proton et du carbone. Ces approches analytiques fournissent dans un délai relativement court, des informations précieuses et détaillées sur la structure moléculaire des composés étudiés.

1.4.1 Spectroscopie IRTF de transmission/absorption

- **Principe**

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) est une technique analytique permettant d'identifier les groupements fonctionnels des composés organiques en se basant sur l'absorption du rayonnements infrarouges. Chaque molécule présente un spectre caractéristique liée aux vibrations de liaisons chimiques. L'utilisation du mode ATR (Attenuated Total Réflectance) permet une analyse directe des échantillons sans préparation préalable, en mesurant l'interaction entre le rayonnement infrarouge et la surface de l'échantillon. Afin d'améliorer la qualité des spectres obtenus, des méthodes de prétraitement sont appliquées pour corriger le dérivé de la ligne de base, réduire le bruit et minimiser les effets de diffusion,

notamment la dérivée première (1D), le filtre de Savitzky-Golay (SG) et la variable normale standard (VNS). (Tan et al., 2018).

- **Mode opératoire**

Les variétés de propolis ont été analysées à l'aide d'un spectromètre FT-IR (Frontier, Perkin Elmer). Les spectres ont été enregistrée dans la gamme de 4000 à 400 cm^{-1} , avec une résolution de 8 cm^{-1} et 32 accumulations. L'analyse a été réalisée en mode ATR horizontal, à l'aide d'un cristal de diamant ($\eta=2,4$; $D_p=1,66 \mu\text{m}$). L'intervalle de donnée a été fixe a 1 cm^{-1} et la vitesse de balayage a 0,2 cm/s. Une petite quantité de chaque échantillon a été déposée sur le cristal ATR. Après chaque mesure, le cristal a été nettoyée au méthanol puis séché à l'aide d'un papier joseph. Les spectres obtenus ont ensuite prétraité en utilisant les méthodes VNS, 1D, SG ainsi que leurs combinaisons.

1.5. Screening phytochimique

Le screening phytochimique est une étape d'analyse qualitative préliminaire visant à identifier les grandes familles de métabolites secondaires présentes dans les extraits de propolis, cette caractérisation repose sur des tests de colorations et de précipitation spécifiques déclenchés par l'ajout de réactifs sélectifs. (Tableau 4)

Tableau 4 : Screening phytochimiques de la propolis

Composé recherché	Test/ réactif	Procédure résumée	Observation	Référence
Les polyphénols	Test au chlorure ferrique (FeCl_3)	1ml HCL, 2% + 1ml d'extrait, ajout de quelques gouttes de FeCl_3 3%	Coloration verdâtre	(Bhandary et al., 2012)
Les flavonoïdes	Test au Pb (OAc) ₄	1ml extrait + 1 ml de Pb (OAc) ₄	Coloration ou précipité jaune	(Gacem et al., 2019)
Coumarines	Test à l'hydroxyde de sodium (NaOH à 10%)	3ml de NaOH 10% + 2ml d'extrait	Apparition de couche jaune	(Bruneton et al., 1999)
Les tanins	Test au chlorure ferrique	1ml extrait + quelques gouttes de FeCl_3 suivi d'une agitation	Coloration bleue noirâtre ou verdâtre	(Song et al., 2010 ; Hussain, 2011)
Tanins catéchiques	Test à l'acide chlorhydrique	1ml d'extrait + 1ml HCl, le mélange est porté à ébullition pendant 15min	Formation d'un précipité rouge	(Diallo, 2005)
Tanins galliques	Réactif de stiasny	10ml de réactif de stiasny + 5ml d'extrait, chauffage au bain marie 90° pendant 15min	Coloration bleu-noirâtre	(Diallo, 2005)
Terpénoides	Test à l'acide sulfurique	1ml d'extrait + 1ml d'acide sulfurique	Formation d'une couche brune-rougeâtre	(Ayoola et al., 2008 ; Khan et al., 2011)
Anthocyanes	Test à l'acide sulfurique et NH_4OH	1 ml H_2SO_4 10 % + 1 ml d'extrait, agitation puis ajout de 1 ml NH_4OH 10 %	Coloration bleue	(Diallo, 2005)
Saponosides	Test de mousse	Agitation de l'extrait pendant 15 secondes	Formation d'une mousse supérieure à 1cm	(Dohouet al., 2003).

1.6. Analyses quantitatives

1.6.1. Détermination de la teneur en phénols totaux (TPT)

- **Principe**

La détermination de la teneur en phénols totaux a été réalisée selon la méthode du réactif de Folin-Ciocalteu, ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique, de couleur jaune qui se transforme en coloration bleue en milieu alcalin en présence de carbonate de sodium suite à la réduction du complexe phosphotungstique–phosphomolybdique par les groupements oxydables des composés phénoliques, cette réaction conduit à la formation d'un mélange d'oxyde de tungstène et de molybdène, l'intensité de la couleur bleue obtenue est proportionnelle à la concentration des composés phénoliques présents dans l'échantillon et présente une absorbance à 765nm.

(Riberau Gayon, 1968 ; Georgé et al., 2005 ; Bonnaillie et al., 2012).

- **Mode opératoire**

250µl de chaque extrait de chaque variété de propolis ou de la référence ont été ajoutés à 1250µl de réactif de folin-ciocalteu qui a été dilué dans de l'eau distillée (10ml folin + 90ml ED), puis 1000µl de carbonate de sodium qui a été diluée dans l'eau distillée (10g carbonate + 100ml ED), ont été ajoutés aux extraits, le mélange a été agité puis incubé deux heures à l'obscurité, l'acide gallique a été utilisé comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de (1mg/ml), les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par 100g de poids sec d'extrait : mg EAG/100g PS.

1.6.2. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFT)

- **Principe**

Le dosage quantitatif des flavonoïdes repose sur la formation d'un complexe coloré entre les molécules cibles et le trichlorure d'Aluminium, une liaison se crée entre le groupement aluminium et le groupement OH libre en position 5 des flavonoïdes, cette réaction génère une coloration jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des flavonoïdes présents dans l'échantillon, le complexe formé présente une absorption à une longueur d'onde de 430nm.

(Ribereau Gayon, 1968; Humadi et Istudor, 2008).

- **Mode opératoire**

750µl de chaque extrait de chaque variété de propolis ou de la référence ont été ajoutés à 750µl de chlorure d'aluminium à 2%, le mélange a été agité au vortex puis incubé pendant 30min à l'obscurité, la quercétine a été utilisée comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de (1mg/ml) et les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine par 100g de poids sec d'extrait : mg EQ/100g PS.

1.6.3. Détermination de la teneur en tanins condensés (TFT)

- **Principe**

La détermination des tanins condensés a été réalisée par la méthode à la vanilline en milieu acide (HCl), la vanilline réagit spécifiquement avec les unités de flavan 3-ols libres et les unités terminales des pro-anthocyanidines conduisant à la formation d'un complexe chromogène de couleur rouge, l'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux de flavanols présents dans le milieu et présente une absorption à 500nm.

(Ghedadba et al., 2014 ; Ali-Rachedi et al., 2018)

- **Mode opératoire**

200µl de chaque extrait de chaque variété ou de la référence ont été ajoutés à 1500µl de la vanilline 4%, le mélange a été agité au vortex puis 1500µl d'HCl ont été ajoutés au mélange, après l'agitation, ce dernier a été incubé pendant 20min à l'obscurité, la catéchine a été utilisée comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de (1mg/ml) et les résultats sont exprimés en mg équivalent Catéchine par 100g de poids sec d'extrait : mg EC/100g PS.

1.6.4. Détermination de la teneur en tanins hydrolysables (TTH)

- **Principe**

La quantification des tanins hydrolysables a été effectuée par la solution aqueuse d'iodate de potassium (KIO₃) à 2.5% en se référant au protocole décrit par (Willis ; Allen 1998) modifié par (Hmid et al., 2013).

- **Mode opératoire**

500µl de chaque extrait des cinq variétés ou de la référence ont été prélever puis 2500µl d'iodate de potassium ont été ajouter à chaque échantillon, le mélange a été agiter au vortex puis incubé pendant 4min à l'obscurité, l'absorbance a été mesurer à 550nm.

1.6.5. Détermination des sucres totaux

- **Principe**

Le dosage des glucides totaux repose sur la méthode colorimétrique au phénol-acide sulfurique, le principe est fondé sur la déshydratation acide des oses, sous l'action de l'acide sulfurique concentré et de la chaleur dégagée par la réaction exothermique, les hexoses subissent une déshydratation conduisant à la formation de hydroxy-méthyl furfural (HMF), tandis que les pentoses sont convertis en furfural, ces dérivés furfuriques se condensent en suite avec le phénol pour former des complexes stables de couleur jaune-orangée, la présence de cette couleur indique la présence des sucres dans l'extraits, l'absorbance a été effectuée à une longueur d'onde de 490nm pour les hoxes et 480nm pour les pentoses. (Ford, 1981 ; Kouame et al., 2015).

- **Mode opératoire**

500µl de chaque extrait ou de la référence a été utiliser puis 500µl de phénol et 2500µl de H₂SO₄ ont été ajouter aux extraits, le mélange a été agiter puis incubé à l'obscurité pendant 5min, le maltose a été utiliser comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de (1mg/ml), et les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par 100g de poids sec d'extrait : mg EM/100g PS.

1.6.6. Détermination des sucres réducteurs

- **Principe**

Le dosage des sucres réducteurs repose sur leurs propriétés réductrices, plus particulièrement celles attribuées au glucose. En conditions d'ébullition et en milieu alcalin, il se produit une réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS), initialement de couleur jaune, en acide 3-amino-5-nitrosalicylique. Cette réaction s'accompagne de l'apparition d'une coloration rouge, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en sucres réducteurs (Miller, 1959).

- **Mode opératoire**

1 ml de chaque extrait ainsi que de chaque solution standard est additionné à 1 ml du réactif de DNS, préparé à partir de l'acide 3,5-dinitrosalicylique, du tartrate de potassium et de sodium, ainsi que de l'hydroxyde de sodium. Le mélange réactionnel est ensuite homogénéisé par agitation légère, puis chauffé au bain-marie à 95°C pendant 5 minutes.

Après cette phase d'incubation, 10 ml d'eau distillée sont ajoutés. Les tubes sont immédiatement refroidis dans un bain de glace afin de stopper la réaction enzymatique/chimique. La lecture spectrophotométrique est réalisée à 540 nm, en utilisant un blanc comme référence.

Pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, le maltose est utilisé comme standard. La teneur en sucres réducteurs est exprimée en mg d'équivalent maltose pour 100 g de matière sèche d'extrait, soit mg EMA/100 g PS (Miller, 1959).

2. Évaluation de l'activité antioxydante

2.1. Test de piégeage du radical libre 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

- **Principe**

Le DPPH(2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl) est des radicaux libres les plus couramment utilisés pour l'évaluation rapide de l'activité antioxydante, en raison de sa grande stabilité et de la simplicité de la méthode analytique (Evenamede et al., 2017). Cette molécule possède un électron célibataire localisé sur le pont azote-azote, ce qui lui confère son caractère radicalaire stable.

Le DPPH présente des propriétés d'absorptions spécifiques dans le domaine UV-visible qui varient selon son état chimique. Sous sa forme radicalaire, il absorbe fortement autour 515-518 nm et se caractérise par une coloration violette intense. En présence d'un composé antioxydant capable de céder un électron ou un atome d'hydrogène, le radical DPPH est réduit, entraînant une diminution de l'absorbance et décoloration progressive de la solution.

(Desmier, T et al., 2016).

Le principe de cette méthode repose principalement sur un mécanisme de transfert d'électron. La réduction du radical libre dans une solution éthanolique conduit à la formation d'une forme non radicalaire de couleur plus claire, voire incolore. Le test DPPH constitue ainsi une méthode simple, rapide et reproductible pour estimer l'activité antioxydante des extraits par mesure

spectrophotométrique, permettant l'analyse comparative de plusieurs échantillons simultanément. (J. Garcia et al., 2012).

- **Mode opératoire**

Un volume de 50 μ L de chaque extrait ou de la solution de référence a été ajoutée à 1950 μ L de la solution de DPPH. Le mélange a été incubé à l'obscurité pendant 30 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 515 nm.

L'acide ascorbique a servi de standard pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, et les résultats ont été exprimés en mg équivalent acide ascorbique par 100g de poids sec (mg EAA/100gPS).

2.2. Méthode de piégeage du radical libre ABTS L'acide 2,2-azino-bis (3éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)

- **Principe**

Le test ABTS repose sur un mécanisme d'oxydoréduction. Le radical cation ABTS^{*+} est générée par l'oxydation de l'ABTS en présence de persulfate de potassium. Lors de cette réaction, les molécules d'ABTS perd un électron, formant un radical cation de couleur bleu-vert caractéristique.

Le principe de la méthode repose sur la capacité des composés antioxydants à neutraliser le radical ABTS^{*+} par transfert d'électron ou d'atome d'hydrogène, conduisant à sa réduction en une forme moins colorée, voire incolore. La diminution d'intensité de la coloration est mesurée par spectrophotométrie à 734 nm et reflète l'activité antioxydante de l'échantillon. (Chen et Ho, 1997 ; Soni et al., 2014).

- **Mode opératoire**

Les solutions d'ABTS 7mM et de persulfate de potassium 2,4mM ont été mélangées en volumes égaux et laissées réagir 16h à l'obscurité à 26°C afin de générer le radical ABTS^{*+}. La solution a ensuite été diluée avec l'éthanol pour obtenir une absorbance de 0,70 $\pm$ 0,02 à 734 nm.

Un volume de 30 μ L d'extraits a été ajoutée à 2970 μ L de solution d'ABTS^{*+}. Après agitation et incubation 6min à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 734 nm. Le test est répété 3 fois.

2.3. Capacité antioxydante totale (CAT) :

- **Principe**

Capacité antioxydante totale (CAT) a été examinée par la méthode de phosphomolybdène de **Prieto et al., (1999)**. Ce test est basé sur la réduction du molybdène (VI) en molybdène (V) par l'extrait d'échantillon. Cette réduction induit, à pH acide, la formation du complexe phosphate/Mo (V) de couleur verte.

- **Mode opératoire**

Un volume de 300 µl de l'extrait dilué a été ajouté à 3 ml de solution de réactif (acide sulfurique 0.6M, phosphate de sodium 28 mM et molybdate d'ammonium 4 mM). Les tubes ont été fermés et incubés à 95 °C pendant 90 min. Après refroidissement, l'absorbance des solutions a été mesurée à 695 nm contre le blanc qui contient 3 ml de la solution CAT et 0.3 ml de l'eau distillée et il a été incubé dans les mêmes conditions que l'échantillon. Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide ascorbique comme contrôle positif. Les valeurs de la CAT sont exprimées en milligramme équivalents d'acide ascorbique par gramme de matière sèche (mg EAA/g MS).

3. Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 26. Ils ont été regroupés dans des tableaux et présentés sous forme de moyennes $\pm$ écart-type (SD). La normalité des données ainsi que l'homogénéité des variances ont été vérifiées à l'aide des tests de Shapiro–Wilk et de Brown–Forsythe. La comparaison des moyennes entre les variétés de propolis étudiées a été réalisée par une analyse de la variance à un facteur (One-Way ANOVA), suivie du test post-hoc de Tukey lorsque cela était approprié. La différence de moyenne a été considérée comme significative lorsque $P \leq 0,05$, très significative lorsque $P \leq 0,01$ et hautement significative lorsque $P \leq 0,001$.

Résultats et discussion

I. caractéristiques physicochimiques

I.1. Rendement

L'évaluation du rendement des cinq échantillons de propolis en extrait hydro-éthanolique a mis en évidence des différences notables. D'après les résultats présentés dans le tableau ci-dessous, les rendements varient de 15,96 % à 44,45 %. L'échantillon provenant de Tlemcen affiche le rendement le plus élevé, suivi de celui de Mostaganem. À l'inverse, la propolis d'Oran présente le taux le plus faible (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Rendement de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Propolis	PT (Tlemcen)	PM (Mostaganem)	PR (Relizane)	PTR (Tiaret)	PO (Oran)
RD%	44,45%	32,94%	22,87%	20,99%	15,96%

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,

PM : Propolis Mostaganem

I.2. L'humidité (Teneur en eau)

L'évaluation de l'humidité (teneur en eau) des échantillons de propolis analysés montre des valeurs globalement faibles, comprises entre 0,9 % et 5,2 %. La majorité des échantillons présente une humidité voisine de 1 %, ce qui suggère une faible disponibilité en eau dans l'échantillon. En revanche, l'échantillon PO se distingue nettement, avec une teneur en eau plus élevée (5,2 %), comparativement aux autres types d'extraits. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que la propolis étudiée est majoritairement sèche et susceptible d'être bien conservée, conformément aux valeurs observées dans le tableau (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Résultat du l'humidité la propolis selon le type d'extrait (hydro éthanolique et aqueux)

Propolis	PT (Tlemcen)	PM (Mostaganem)	PR (Relizane)	PTR (Tiaret)	PO (Oran)
Humidité%	0,9%	1%	1%	1%	5,2%

I.3. pH

Les mesures effectuées révèlent que le pH des extraits hydro-éthanoliques fluctue entre un minimum de 5,0 pour l'échantillon de Mostaganem (PM) et un maximum de 5,9 pour celui de Tiaret (PTR). On observe ainsi une acidité marquée pour l'ensemble des provenances, avec des valeurs intermédiaires situées entre 5,65 et 5,8 pour Oran (PO), Tlemcen (PT) et Relizane (PR). Ces variations témoignent d'une hétérogénéité des résultats selon l'origine géographique de la propolis. (**Tableau 7**)

Tableau 7 : Résultat du pH de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Variété	pH
PT (Tlemcen)	5,7
PM (Mostaganem)	5,0
PR (Relizane)	5,8
PTR (Tiaret)	5,9
PO (Oran)	5,65

Les extraits aqueux, les valeurs enregistrées sont nettement plus hautes et se rapprochent de la neutralité, s'étalant de 6,5 pour Oran (PO) jusqu'à 6,9 pour Mostaganem (PM) et Tiaret (PTR). Les échantillons de Tlemcen (PT) et Relizane (PR) affichent quant à eux des pH respectifs de 6,6 et 6,8, confirmant une faible acidité par rapport aux extraits alcooliques. (**Tableau 8**)

Tableau 8 : Résultat du pH de la propolis selon l'extrait aqueux

Variété	pH
PT (Tlemcen)	6,6
PM (Mostaganem)	6,9
PR (Relizane)	6,8
PTR (Tiaret)	6,9
PO (Oran)	6,5

PT : Propolis Tlemcen, PTR : Propolis Tiaret, PO : Propolis Oran, PR : Propolis Relizane, PM : Propolis Mostaganem

I.4. Conductivité

Les mesures de la conductivité électrique des extraits hydro-éthanoliques montrent des valeurs assez élevées, s'étendant de 118,1 ms pour l'échantillon d'Oran à 185,6 ms pour celui de Tiaret. On remarque que les extraits de Relizane et de Mostaganem présentent également des niveaux importants avec respectivement 180 mS et 179 mS. (**Tableau 9**)

Tableau 9 : Résultat de la conductivité de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Variété	Conductivité (mS)
PT (Tlemcen)	146,3
PM (Mostaganem)	179
PR (Relizane)	180
PTR (Tiaret)	185,6
PO (Oran)	118,1

les extraits aqueux, les valeurs de conductivité sont globalement plus faibles, oscillant entre un minimum de 73,4 ms à Tlemcen (PT) et un maximum de 99,3 ms à Relizane (PR). Les échantillons en provenance d'Oran (PO), de Mostaganem (PM) et de Tiaret (PTR) affichent des valeurs comprises dans une fourchette intermédiaire allant de 78,8 ms à 98,6 ms. Cette diminution générale de la conductivité par rapport aux extraits alcooliques est visible pour l'ensemble des variétés étudiées. (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Résultat de la conductivité de la propolis l'extrait aqueux

Variété	Conductivité (mS)
PT (Tlemcen)	73,4
PM (Mostaganem)	80,5
PR (Relizane)	99,3
PTR (Tiaret)	78,8
PO (Oran)	98,6

PT : Propolis Tlemcen, **PTR :** Propolis Tiaret, **PO :** Propolis Oran, **PR :** Propolis Relizane, **PM :** Propolis Mostaganem

I.5. L'acidité libre

L'analyse de l'acidité libre pour les extraits hydro-éthanoliques révèle des valeurs particulièrement basses et homogènes, variant seulement entre 0,2 ml et 0,3 ml. Les échantillons de Tlemcen (PT) et de Tiaret (PTR) présentent une acidité de 0,3 ml, tandis que ceux de Mostaganem (PM), Relizane (PR) et Oran (PO) affichent une valeur identique de 0,2 ml. Ces résultats témoignent d'une très faible teneur en acides libres au sein des extraits alcooliques pour toutes les variétés. (**Tableau 11**)

Tableau 11 : Résultat du l'acidité libre de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Variété	Acidité libre (ml)
PT (Tlemcen)	0,3
PM (Mostaganem)	0,2
PR (Relizane)	0,2
PTR (Tiaret)	0,3
PO (Oran)	0,2

Les extraits aqueux, l'acidité libre est plus marquée et diversifiée selon la provenance, avec des mesures allant de 0,3 ml à 1,1 ml. Si les échantillons de Tlemcen (PT) et Mostaganem (PM) restent stables à 0,3 ml, on note une augmentation pour les variétés d'Oran (PO) 0,4 ml, de Relizane (PR) 0,5 ml et surtout de Tiaret (PTR) qui atteint 1,1 ml. Cette progression chiffrée démontre que le milieu aqueux met en évidence des écarts plus importants entre les variétés. (**Tableau 12**)

Tableau 12 : Résultat du l'acidité libre de la propolis selon l'extrait aqueux

Variété	Acidité libre (ml)
PT (Tlemcen)	0,3
PM (Mostaganem)	0,3
PR (Relizane)	0,5
PTR (Tiaret)	1,1
PO (Oran)	0,4

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

I.6. L'absorbance

Les résultats de l'absorbance pour les extraits hydro-éthanoliques montrent des valeurs de densité optique (DO) élevées, comprises entre 0,601 et 0,936. Les échantillons de Relizane (PR), Tiaret (PTR) et Oran (PO) affichent les mesures les plus fortes avec respectivement 0,936, 0,922 et 0,913, tandis que les valeurs de Tlemcen (PT) 0,601 et Mostaganem (PM) 0,636 sont plus modérées. (Tableau 13)

Tableau 13: Résultat du l'absorbance de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Variété	L'absorbance (DO)
PT (Tlemcen)	0,601
PM (Mostaganem)	0,636
PR (Relizane)	0,936
PTR (Tiaret)	0,922
PO (Oran)	0,913

Les extraits aqueux, les valeurs d'absorbance enregistrées sont nettement plus faibles et s'étendent de 0,129 pour Mostaganem (PM) à 0,344 pour Tlemcen (PT). On observe des densités optiques de 0,161 pour Oran (PO), 0,187 pour Relizane (PR) et 0,234 pour Tiaret (PTR). Ces données montrent que les extraits à l'eau présentent un profil d'absorbance réduit pour toutes les variétés étudiées. (Tableau 14)

Tableau 14 : Résultat du l'absorbance de la propolis l'extrait aqueux

Variété	L'absorbance (DO)
PT (Tlemcen)	0,344
PM (Mostaganem)	0,129
PR (Relizane)	0,187
PTR (Tiaret)	0,234
PO (Oran)	0,161

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

I.7. Spectroscopie IRTF de transmission/absorption

I.7.1. Propolis brute

L'ensemble des échantillons de propolis, les fonctions chimiques dominantes sont principalement associées à des métabolites secondaires polyphénoliques. En particulier, les bandes correspondant à O–H (hydroxyle) et C=O (carbonyle) sont élevées dans la plupart des cas, ce qui suggère la présence de phénols/flavonoïdes ainsi que d'acides organiques, esters ou composés carbonylés (cohérent avec les pics liés aux polyphénols et aux dérivés acides). Le motif C–O (éther/alcool) est également modéré à élevé pour tous les échantillons, indiquant des alcools/éthers et des liaisons associées aux flavonoïdes ainsi que possiblement des glucides hétérosidiques. La contribution C=C (alcènes) bien que parfois marquée comme élevée ou faible (non reportée) traduit la présence de noyaux aromatiques conjugués, caractéristiques des composés phénoliques. Ainsi, Tlemcen se caractérise par des intensités relativement fortes pour O–H, C=O, C=C et des valeurs modérées–élevées pour C–O, suggérant une proportion notable de polyphénols/flavonoïdes et d'esters/acides organiques ; Tiaret présente un C–H très élevé avec O–H et C=O élevés, ce qui peut refléter une fraction plus importante de chaînes aliphatique/aromatique associées à des esters/coumarines ; Oran et Mostaganem montrent des niveaux modérés pour certaines fonctions (O–H, C–H) mais avec C=O modéré–élevé et C–O élevé, indiquant une composition où les flavonoïdes/tanins et les composés carbonylés (acides/esters/coumarines possibles) restent dominants. Enfin, Relizane combine O–H élevé, C=O élevé et C–O élevé, traduisant une présence marquée de composés phénoliques et de structures esters/acides, avec une composante aromatique confirmée malgré un C=C faible non reporté. Globalement, les différences observées entre échantillons indiquent que la composition chimique de la propolis varie selon l'origine, tout en conservant un profil majoritaire dominé par les polyphénols/flavonoïdes, esters/acides organiques et dérivés (incluant éventuellement des coumarines et des glycosides/tanins selon les échantillons). (**Figure 26 ; Tableau 15**).

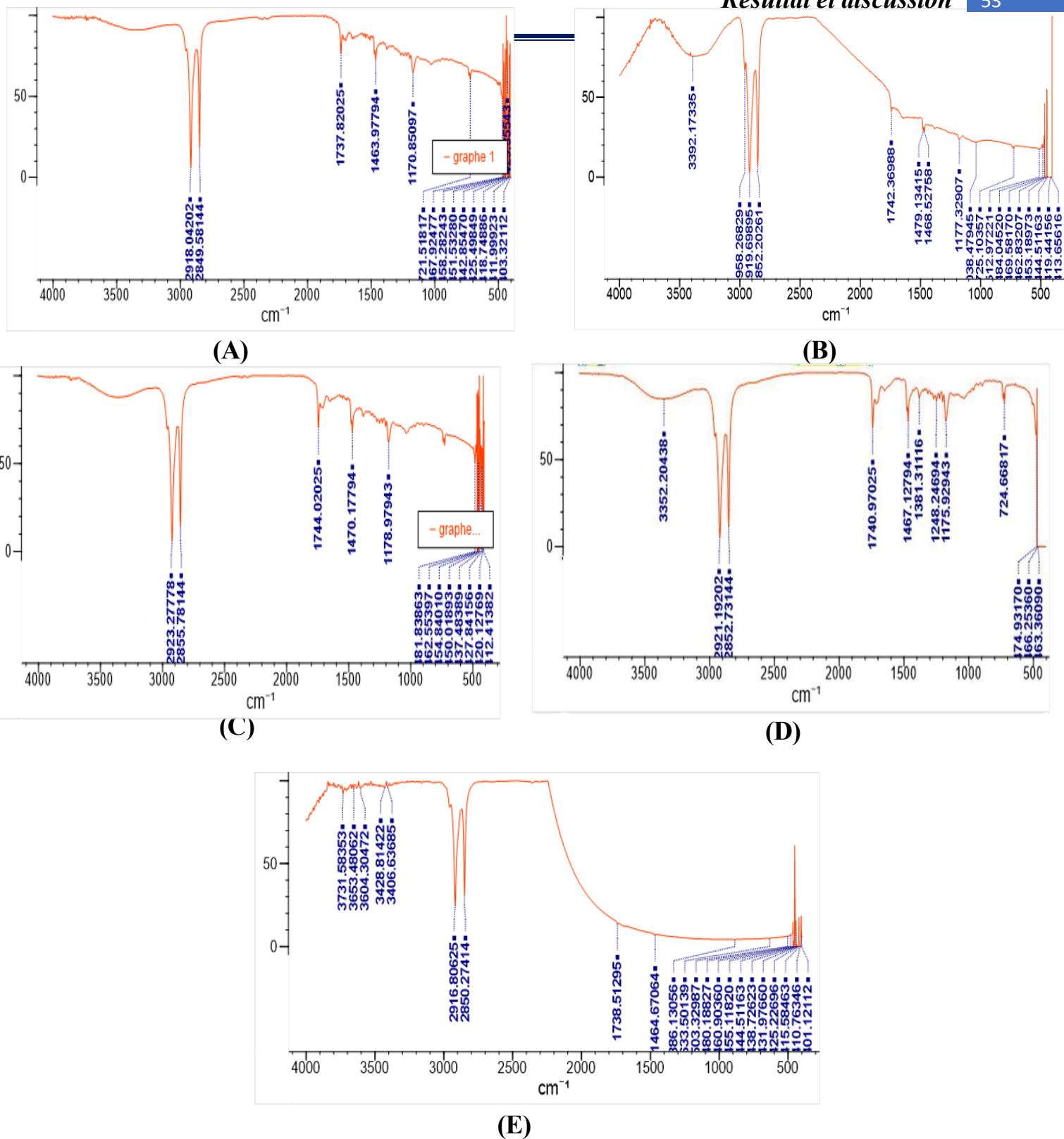


Figure 26 : Graphe FTIR-ATR de la propolis. (A) : Graphe FTIR-ATR de la propolis de Tlemcen, (B) : Graphe FTIR-ATR de la propolis de Tiaret, (C) : Graphe FTIR-ATR de la propolis de Oran, (D) : Graphe FTIR-ATR de la propolis de Relizane, (E) : Graphe FTIR-ATR de la propolis de Mostaganem

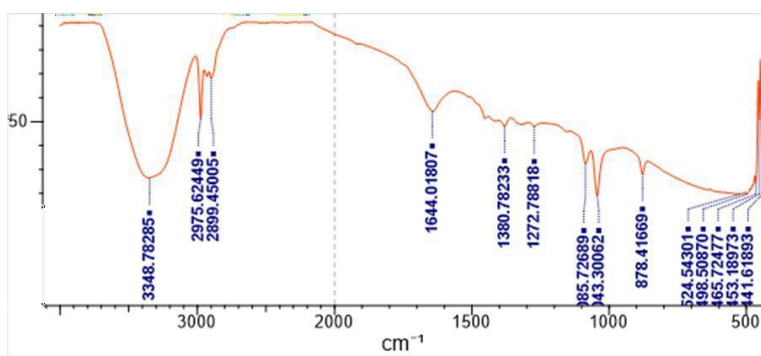
Tableau 15: Caractérisation des groupes fonctionnels dans la propolis

Échantillon	O–H (Hydroxyle)	C–H (Alcane/Aromatique)	C=O (Carbonyle)	C=C (Alcène)	C–O (Éther/Alcool)	Type de métabolites secondaires	
(PT) Tlemcen	Élevé	Modéré	Élevé	Élevé	Modéré–Élevé	Polyphénols / flavonoïdes, acides organiques et esters	O–H → phénols. C–H → chaînes aliphatiques/aromatiques. C=O → esters/acides. C=C → noyaux aromatiques conjugués. C–O → alcools/éthers.
(PM) Mostaganem	Modéré	Modéré	Modéré– Élevé	Faible (non reporté)	Élevé	Flavonoïdes / composés phénoliques ; coumarines possibles et glycosides/tanins	C–H → chaînes hydrocarbonées. C=O → esters/acides/coumarines possibles. C–O → éthers/alcools (tanins, glycosides).
(PR) Relizane	Élevé	Modéré	Élevé	Faible (non reporté)	Élevé	Flavonoïdes, polyphénols ; acides organiques/esters ; composés aromatiques	C–H → structures aliphatiques. C=O → acides/esters. C–O → éthers/alcools compatibles avec flavonoïdes.
(PTR) Tiaret	Élevé	Élevé	Élevé	Faible (non reporté)	Élevé	Flavonoïdes / polyphénols, acides organiques, coumarines/esters et glucides	C–H (2852) → chaînes aliphatiques. C=O → esters/lactones (coumarines possibles). C–O → glucides/hétérosides.
(PO) Oran	Modéré	Modéré	Élevé	Faible (non reporté)	Élevé	Flavonoïdes, tanins, polyphénols ; acides organiques/esters ; composés aromatiques	O–H → phénols. C–H → chaînes organiques. C=O → acides/esters. C–O → alcools/éthers.

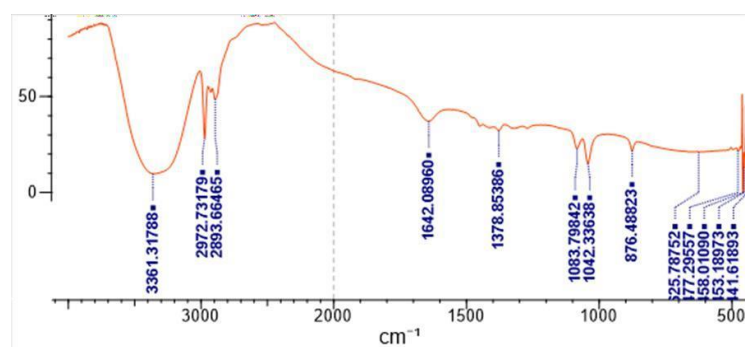
I.7.2. L'extrait de propolis

I.7.2.1. L'extrait hydro éthanolique

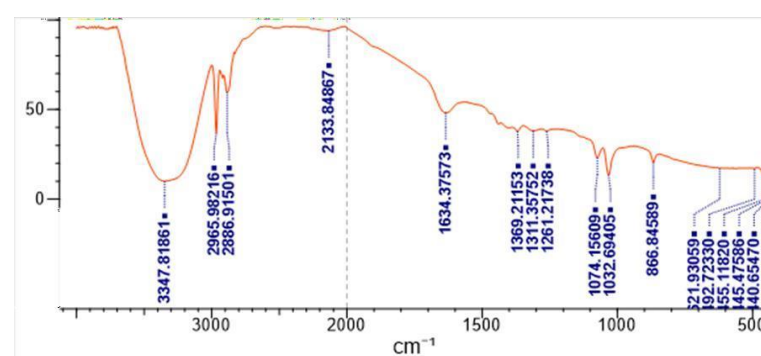
Les spectres FTIR-ATR des extraits hydro-éthanoliques de propolis provenant de Tlemcen (A), Tiaret (B), Oran (C), Relizane (D) et Mostaganem (E) montrent des profils globalement similaires, traduisant une composition chimique commune dominée par des composés phénoliques. La large bande observée autour de $3300\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ est attribuée aux vibrations d'élongation des groupements O–H caractéristiques des polyphénols et flavonoïdes, tandis que les pics situés entre 2970 et 2850 cm^{-1} correspondent aux vibrations C–H des chaînes aliphatiques, indiquant la présence de cires et de composés lipidiques. La bande aux environs de 1640 cm^{-1} est liée aux vibrations des liaisons C=O ou C=C aromatiques, confirmant la présence de flavonoïdes et d'acides phénoliques, alors que les signaux autour de 1380 cm^{-1} traduisent des déformations C–H ou des structures aromatiques substituées. La région comprise entre 1270 et 1000 cm^{-1} , riche en pics, est attribuée aux vibrations C–O des alcools, esters et éthers, tandis que la zone inférieure à 900 cm^{-1} correspond à l'empreinte digitale des composés aromatiques. Certaines particularités sont observées, notamment une bande faible autour de 2133 cm^{-1} dans l'échantillon d'Oran pouvant être liée à des traces de liaisons triples ou à un artefact, ainsi que des variations d'intensité des bandes O–H et C=O dans les échantillons de Relizane et Mostaganem suggérant une richesse plus élevée en composés phénoliques ou une plus grande diversité structurale. Globalement, ces résultats indiquent que les cinq propolis possèdent une composition qualitative similaire mais présentent des différences quantitatives liées à leur origine géographique et botanique. (**Figure 27 ; Tableau 16**)



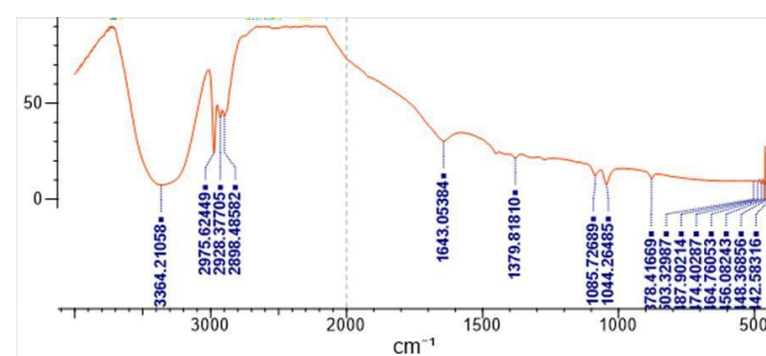
(A)



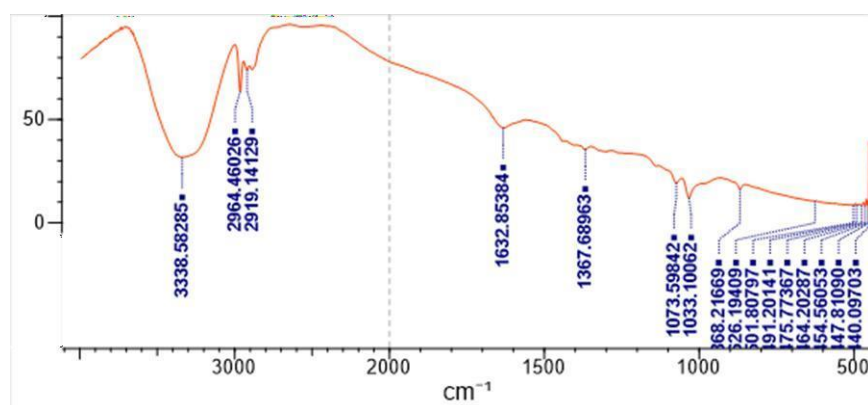
(B)



(C)



(D)



(E)

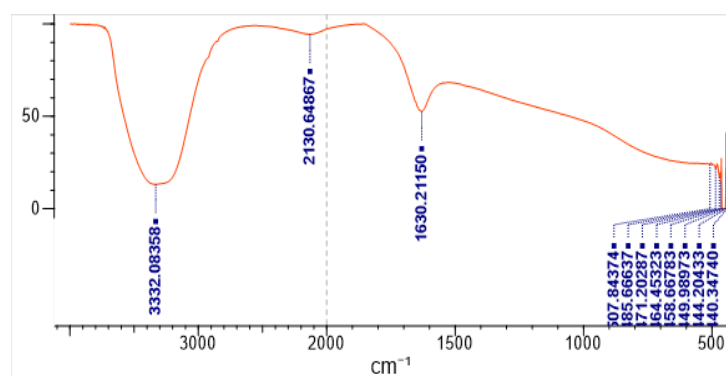
Figure 27 : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique. (A) : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique de propolis de Tlemcen, (B) : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique de propolis de Tiaret, (C) : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique de Oran, (D) : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique Relizane, (E) : Graphe FTIR-ATR de l'extrait hydro éthanolique de Mostaganem

Tableau 16 : Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits hydro éthanoliques de la propolis

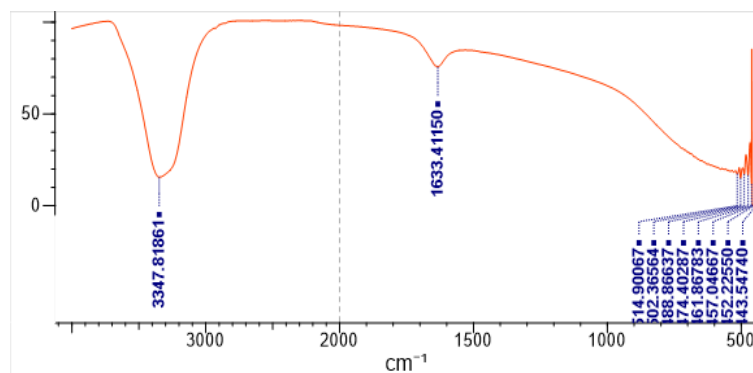
Échantillon	O–H (Hydroxyle)	C=O (Carbonyle)	C=C (Alcène/Aromatique)	C–O (Éther/Alcool)	Principaux métabolites secondaires	
(PT) Tlemcen	Forte	Modérée	Faible	Forte	Flavonoïdes, polyphénols, acides phénoliques, cires	Profil riche en composés phénoliques ; bon potentiel antioxydant.
(PM) Mostaganem	Forte	Modérée	Faible	Très forte	Flavonoïdes, polyphénols, esters, alcools	Profil très diversifié avec forte intensité dans la zone d’empreinte.
(PR) Relizane	Très forte	Forte	Faible	Forte	Flavonoïdes, acides phénoliques	Très forte teneur en polyphénols ; potentiel bioactif élevé.
(PTR) Tiaret	Forte	Modérée	Faible	Forte	Flavonoïdes, polyphénols, esters	Composition similaire à Tlemcen avec légère variation.
(PO) Oran	Forte	Modérée	Faible	Forte	Polyphénols, flavonoïdes, composés aromatiques	Présence d’une bande mineure indiquant des composés spécifiques.

I.7.2.2. L'extrait aqueux

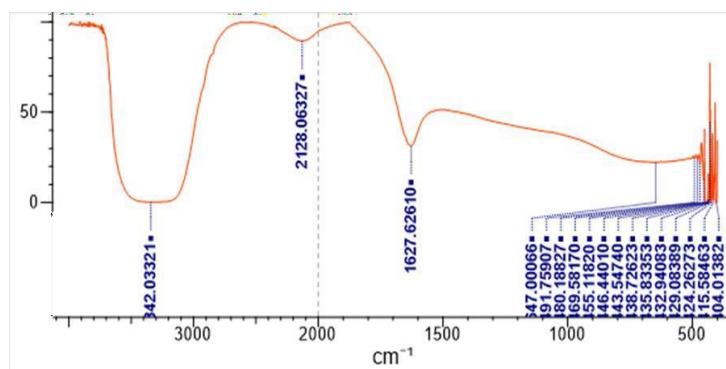
Les spectres FTIR-ATR des extraits aqueux de propolis provenant de Tlemcen (F), Tiaret (G), Oran (H), Relizane (I) et Mostaganem (J) présentent globalement des profils similaires, indiquant une composition chimique homogène dominée par des composés phénoliques. Dans tous les échantillons, une large bande intense située entre 3600 et 3200 cm^{-1} est observée, correspondant aux vibrations d'élongation des groupements hydroxyles (O–H) associés aux polyphénols, flavonoïdes et à l'eau liée, traduisant une forte richesse en composés antioxydants. La région comprise entre 1700 et 1500 cm^{-1} montre des pics marqués autour de 1620–1640 cm^{-1} attribués aux vibrations des fonctions carbonyles (C=O) et/ou des liaisons C=C aromatiques, caractéristiques des flavonoïdes et des acides phénoliques. Enfin, la zone d'empreinte digitale (1200–500 cm^{-1}) révèle plusieurs bandes correspondant aux vibrations C–O, C–C et aux structures aromatiques substituées, confirmant la diversité des composés secondaires présents. De légères variations d'intensité et de position des pics entre les échantillons reflètent des différences quantitatives liées à l'origine géographique et aux conditions florales, tout en conservant un profil chimique globalement conservé pour l'ensemble des propolis étudiées. (**Figure 28 ; Tableau 17**)



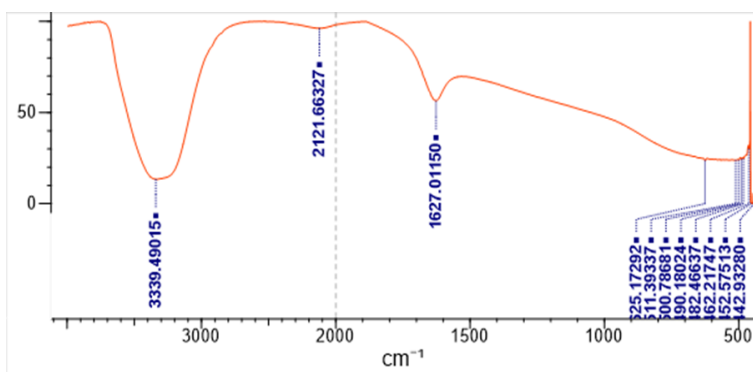
(F)



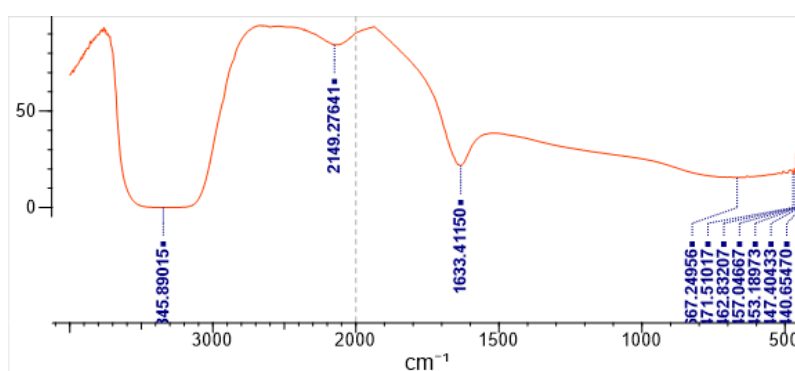
(G)



(H)



(I)



(J)

Figure 28 : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux. **(F)** : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux de propolis de Tlemcen, **(G)** : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux de propolis de Tiaret, **(H)** : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux de propolis de Oran, **(I)** : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux de Relizane, **(J)** : Graphe FTIR-ATR de l'extrait aqueux de Mostaganem

Tableau 17: Caractérisation des groupes fonctionnels dans les extraits aqueux de la propolis

Échantillon	O–H (Hydroxyle)	C=O (Carbonyle)	C=C (Alcène/Aromatique)	C–O (Éther/Alcool)	Principaux métabolites secondaires	
Tlemcen	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Composés hydrophiles, faibles polyphénols	Faible extraction des composés phénoliques ; activité biologique limitée.
Tiaret	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Composés hydrosolubles	Faible richesse en métabolites secondaires bioactifs.
Oran	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Traces de polyphénols	Profil simple avec faible diversité chimique.
Relizane	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Composés hydrophiles	Faible concentration en composés aromatiques.
Mostaganem	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Polyphénols simples	Diversité chimique limitée.

I.8. Screening phytochimique

1.8.1. Extrait hydro-éthanolique

L'extrait hydro-éthanolique des cinq variétés révèle une richesse phytochimique élevée et homogène. Les polyphénols, tannins, tannins catéchiques, terpénoïdes et anthocyanes sont fortement présents (+++) dans toutes les wilayas. Les flavonoïdes sont fortement présents (+++) chez PT, PTR, PO et PM, et modérément (++) chez PR. Les coumarines sont fortement présentes (+++) chez PTR et PO, et modérément (++) chez PT, PR et PM. Les tanins galliques sont modérément présents (++) dans toutes les variétés sauf PR qui présente une faible présence (+). Les saponosides sont faiblement présents (+) dans l'ensemble des variétés. (Tableau 18)

Tableau 18 : Screening phytochimique de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique.

Variété	Polyphénols	Flavonoïdes	Coumarines	Tannins	Tannins catéchiques	Tannins galliques	Anthocyanes	Terpénoïdes	Saponosides
PT (Tlemcen)	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+
PM (Mostaganem)	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+
PR (Relizane)	+++	++	++	+++	+++	+	+++	+++	+
PTR (Tiaret)	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+
PO (Oran)	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+

+++ : forte présence ; ++ : présence modérée ; + : faible présence ; - : absent

1.8.2. Extrait aqueux

L'extrait aqueux montre une richesse phytochimique plus faible et plus variable. Les tannins sont la famille la mieux extraite, avec une forte présence (+++) chez PT et PTR, et modérée (++) chez PO, PR et PM. Les terpénoïdes sont totalement absents (–) chez PM, ce qui constitue la seule absence relevée. Les polyphénols sont modérément présents (++) uniquement chez PTR et faiblement présents (+) chez les autres wilayas. Les flavonoïdes, coumarines, tannins catéchiques et anthocyanes présentent des intensités généralement faibles à modérées selon les variétés. Ces résultats confirment que l'extraction aqueuse est moins efficace que l'extraction hydro-éthanolique. (**Tableau 19**)

Tableau 19 : Screening phytochimique de la propolis selon l'extrait aqueux.

Variété	Polyphénols	Flavonoïdes	Coumarines	Tanins	Tanins catéchiques	Tanins galliques	Anthocyanes	Terpénoïdes	Saponosides
PT (Tlemcen)	+	++	+	+++	++	+	++	++	++
PM (Mostaganem)	+	+	+	++	+	+	+	–	+
PR (Relizane)	+	+	++	++	++	+	+	+	+
PTR (Tiaret)	++	++	++	+++	++	+	++	++	+
PO (Oran)	+	++	++	++	+	+	+	+	++

+++ : forte présence ; ++ : présence modérée ; + : faible présence ; – : absent

I.9. Analyses quantitatives

I.9.1. Détermination de la teneur en phénols totaux (TPT)

1.9.1.1. Extrait hydro-éthanolique

PT (Tlemcen) enregistre la teneur la plus élevée avec $333,433 \pm 2,403$ mg EAG/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. Elle est suivie par PO (Oran) avec $185,95 \pm 11,02$ mg EAG/1g PS et PTR (Tiaret) avec $160,285 \pm 6,695$ mg EAG/1g PS, toutes deux hautement significativement supérieures à celles de Mostaganem et Relizane. PR (Relizane) et PM (Mostaganem) présentent les valeurs les plus faibles, respectivement $47,31 \pm 0$ et $42,253 \pm 8,904$ mg EAG/1g PS, hautement significativement inférieures à celles de Tiaret, Oran et Tlemcen. (Figure 29)

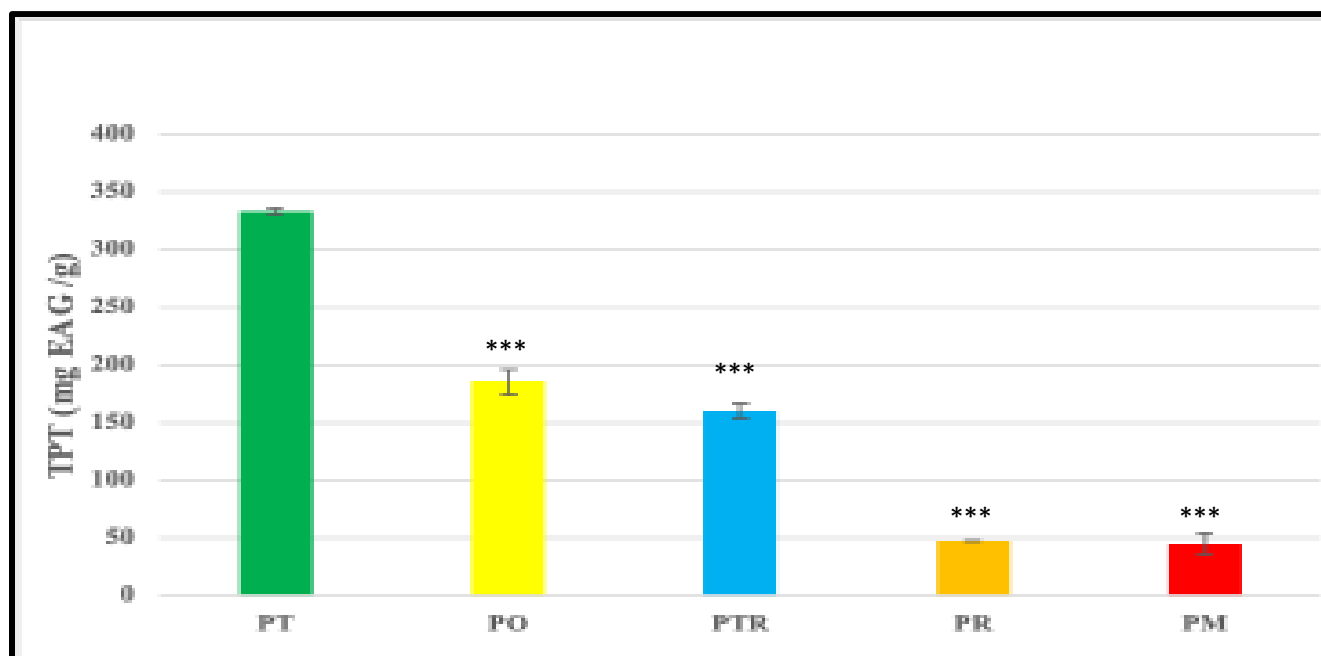


Figure 29 : le taux en polyphénols totaux de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, PTR : Propolis Tiaret, PO : Propolis Oran, PR : Propolis Relizane, PM : Propolis Mostaganem

1.9.1.2. Extrait aqueux

PT (Tlemcen) présente la teneur la plus élevée avec $9,743 \pm 0,206$ mg EAG/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de Mostaganem, Oran et Relizane. PTR (Tiaret) suit avec $8,39 \pm 1,38$ mg EAG/1g PS, hautement significativement supérieure à celle de Mostaganem et très significativement supérieure à celles d'Oran et Relizane. PR (Relizane) et PO (Oran) affichent des valeurs intermédiaires de $5,99 \pm 0,586$ et $5,003 \pm 0,125$ mg EAG/1g PS respectivement. PM (Mostaganem) enregistre la valeur minimale de $1,926 \pm 0,106$ mg EAG/1g PS, hautement significativement inférieure à celles de toutes les autres wilayas. (**Figure 30**)

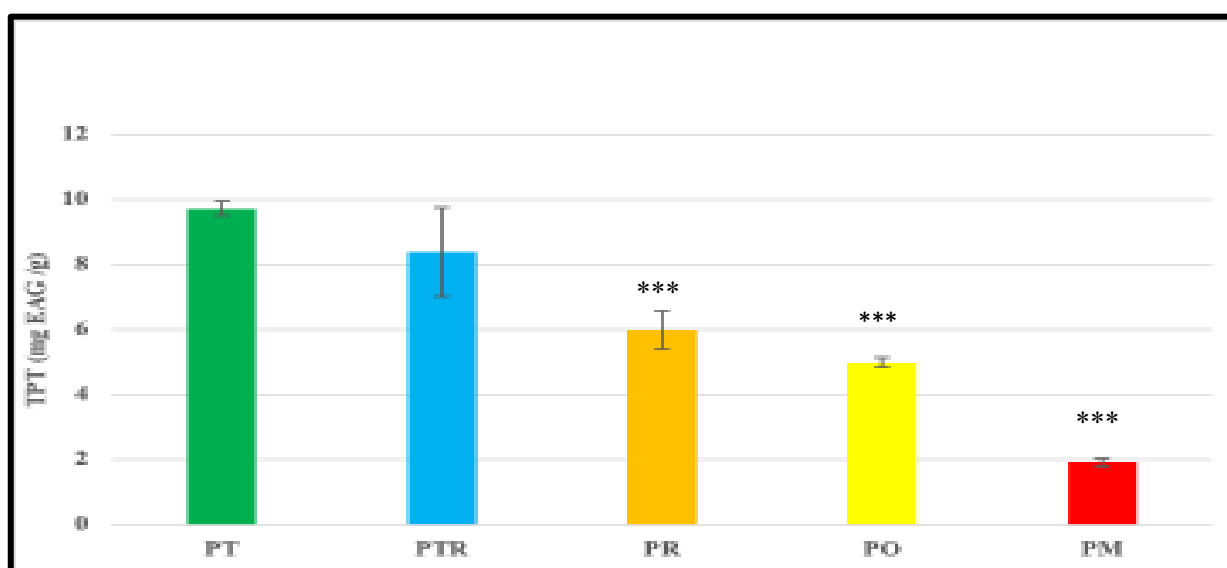


Figure 30 : le taux en polyphénols totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

I.9.2. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux (TFT)

1.9.2.2. Extrait hydro-éthanolique

PT (Tlemcen) affiche la valeur maximale avec $32,03 \pm 0,478$ mg EQ/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PTR (Tiaret) et PR (Relizane) présentent des teneurs intermédiaires de $20,32 \pm 2,387$ et $16,42 \pm 0,734$ mg EQ/1g PS, hautement significativement supérieures à celles de toutes les autres wilayas. PO (Oran) avec $12,54 \pm 0,572$ et PM (Mostaganem) avec $10,01 \pm 0,079$ mg EQ/1g PS enregistrent les valeurs les plus faibles, hautement significativement inférieures à celles de Relizane, Tiaret et Tlemcen.

(Figure 31)

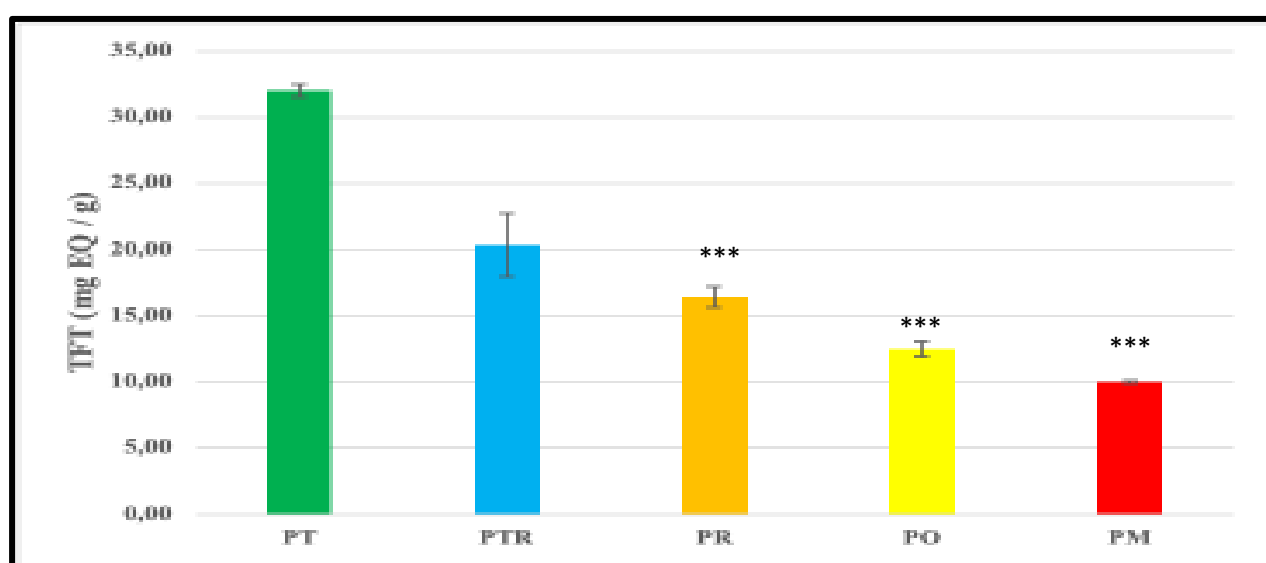


Figure 31 : le taux en flavonoïdes totaux de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

1.9.2.2. Extrait aqueux

PTR (Tiaret) présente la valeur la plus élevée avec $1,83 \pm 0,026$ mg EQ/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PT (Tlemcen) suit avec $0,99 \pm 0,010$ mg EQ/1g PS, hautement significativement supérieure à celle de Mostaganem et Tiaret, et significativement supérieure à celle de Relizane. PR (Relizane) et PO (Oran) affichent respectivement $0,79 \pm 0,006$ et $0,72 \pm 0,153$ mg EQ/1g PS. PM (Mostaganem) enregistre la teneur minimale de $0,12 \pm 0,015$ mg EQ/1g PS, hautement significativement inférieure à celles de toutes les autres wilayas. (figure 32)

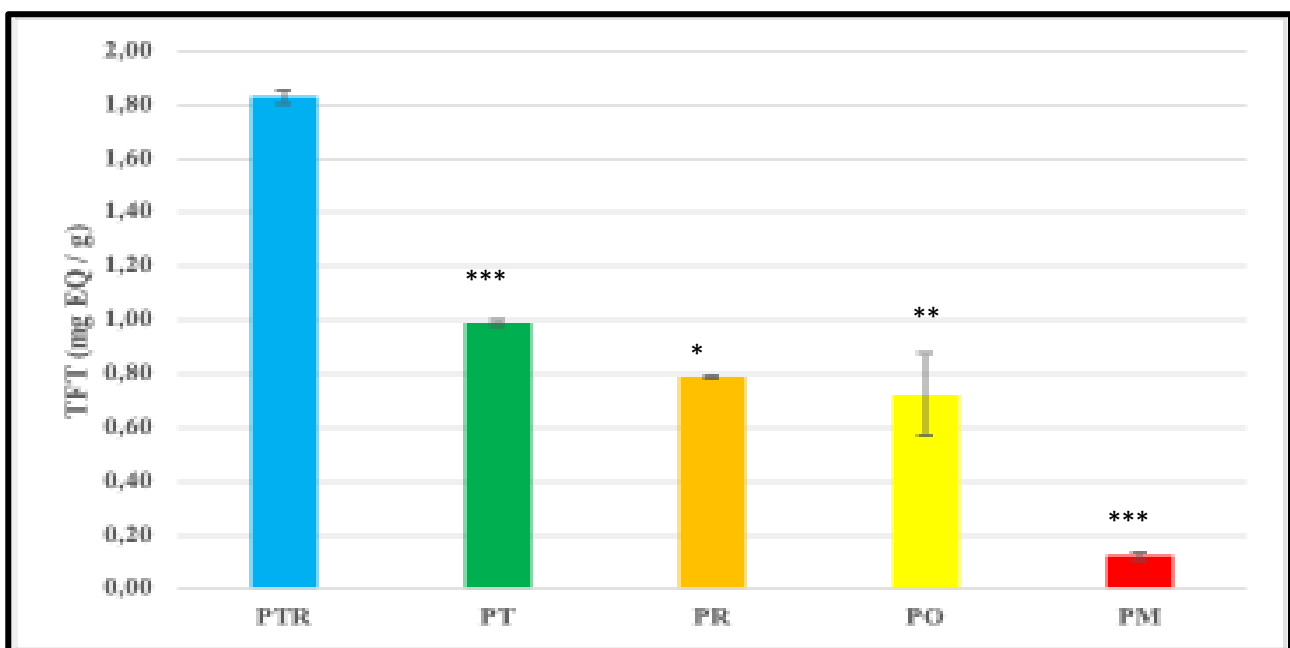


Figure 32 : le taux en flavonoïdes totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif. ** : très significatif. * : significatif

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

I.9.3. Détermination de la teneur en tannins condensés (TTC)

1.9.3.1. Extrait hydro-éthanolique

PTR (Tiaret) enregistre la teneur maximale avec $46,94 \pm 0,177$ mg EC/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PO (Oran) suit avec $37,36 \pm 2,219$ mg EC/1g PS et PR (Relizane) avec $30,43 \pm 1,200$ mg EC/1g PS, toutes deux hautement significativement supérieures à celles des autres wilayas. PM (Mostaganem) présente $9,44 \pm 0,734$ mg EC/1g PS, et PT (Tlemcen) enregistre la valeur minimale de $0,62 \pm 0,102$ mg EC/1g PS, hautement significativement inférieure à celles de toutes les autres wilayas. (**figure 33**)

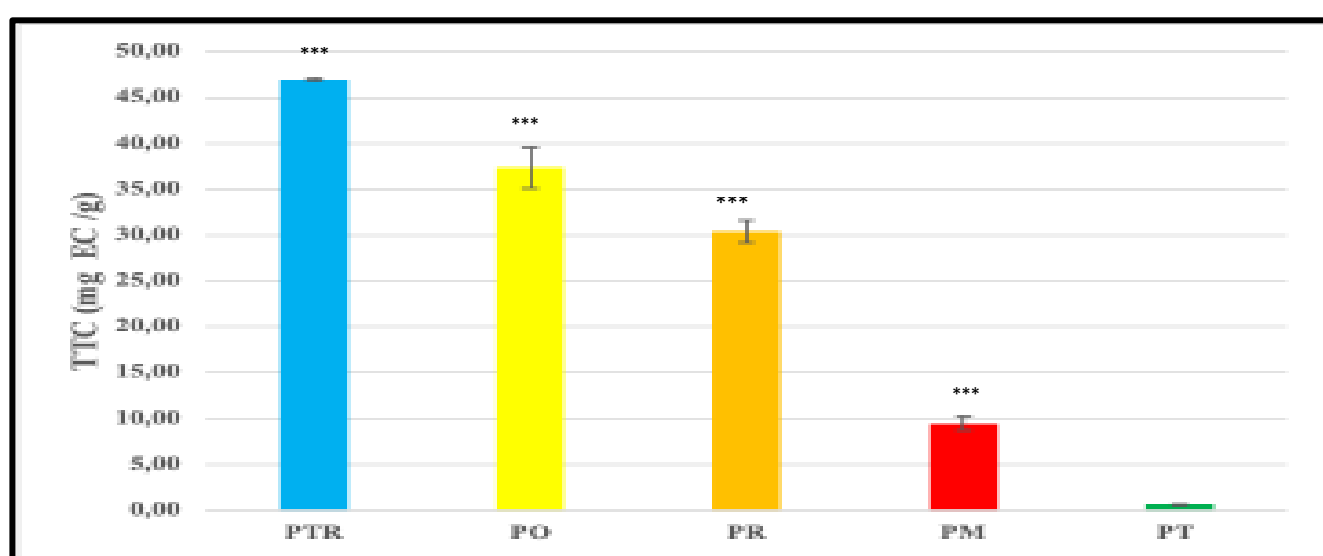


Figure 33 : le taux en tanins condensés de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

1.9.3.2. Extrait aqueux

PTR (Tiaret) se distingue nettement avec $4,74 \pm 1,415$ mg EC/1g PS, hautement significativement supérieure à celles d'Oran, Relizane et Mostaganem, et significativement supérieure à celle de Tlemcen. PT (Tlemcen) suit avec $2,12 \pm 0,036$ mg EC/1g PS, significativement supérieure à celle de Mostaganem. PO (Oran) avec $0,96 \pm 0,127$, PR (Relizane) avec $0,62 \pm 0,088$ et PM (Mostaganem) avec $0,23 \pm 0,050$ mg EC/1g PS présentent les valeurs les plus faibles, hautement significativement inférieures à celle de Tiaret. (**figure 34**)

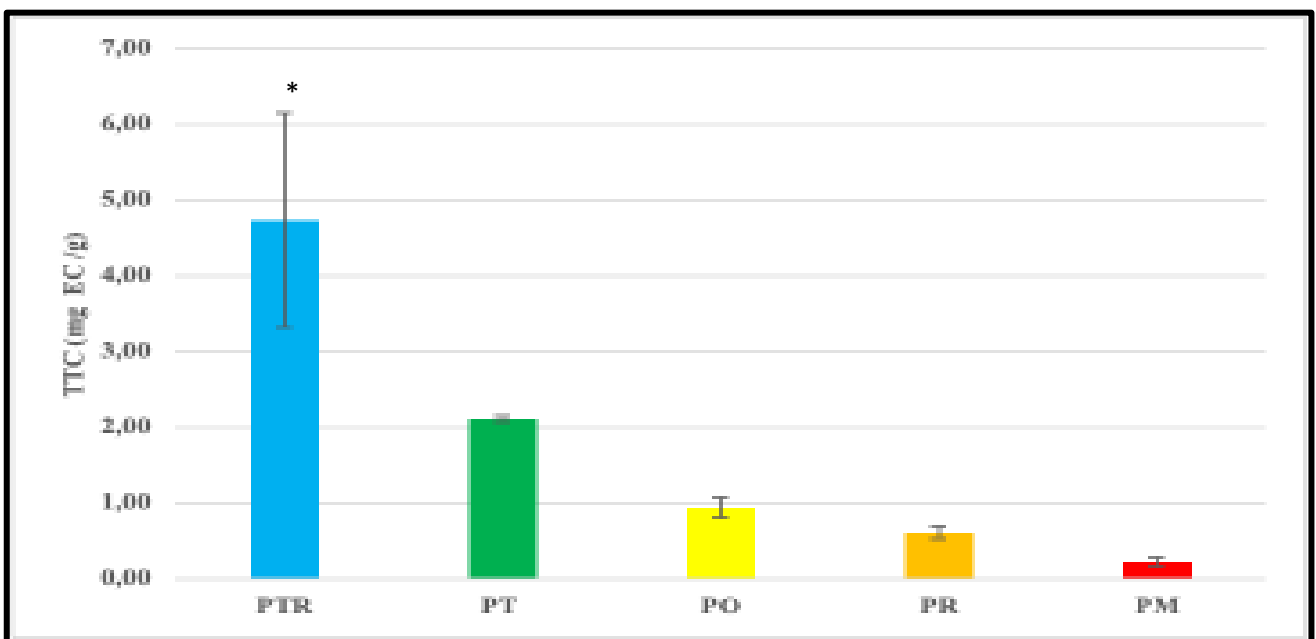


Figure 34 : le taux en tanins condensés de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

* : significatif

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane,
PM : Propolis Mostaganem

I.9.4. Détermination de la teneur en tanins hydrolysables (TTC)

1.9.4.1. Extrait hydro-éthanolique

PT (Tlemcen) se distingue avec la valeur la plus élevée de $68,5385 \pm 3,502$ mg EAT/1g PS, hautement significativement supérieure à celles d'Oran et Tiaret. PO (Oran) suit avec $45,238 \pm 0$ mg EAT/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PTR (Tiaret) avec $0,602 \pm 0$, PR (Relizane) avec $0,955 \pm 0,612$ et PM (Mostaganem) avec $0,248 \pm 0$ mg EAT/1g PS enregistre des valeurs extrêmement faibles, hautement significativement inférieures à celles de Tlemcen et Oran. (**Figure 35**)

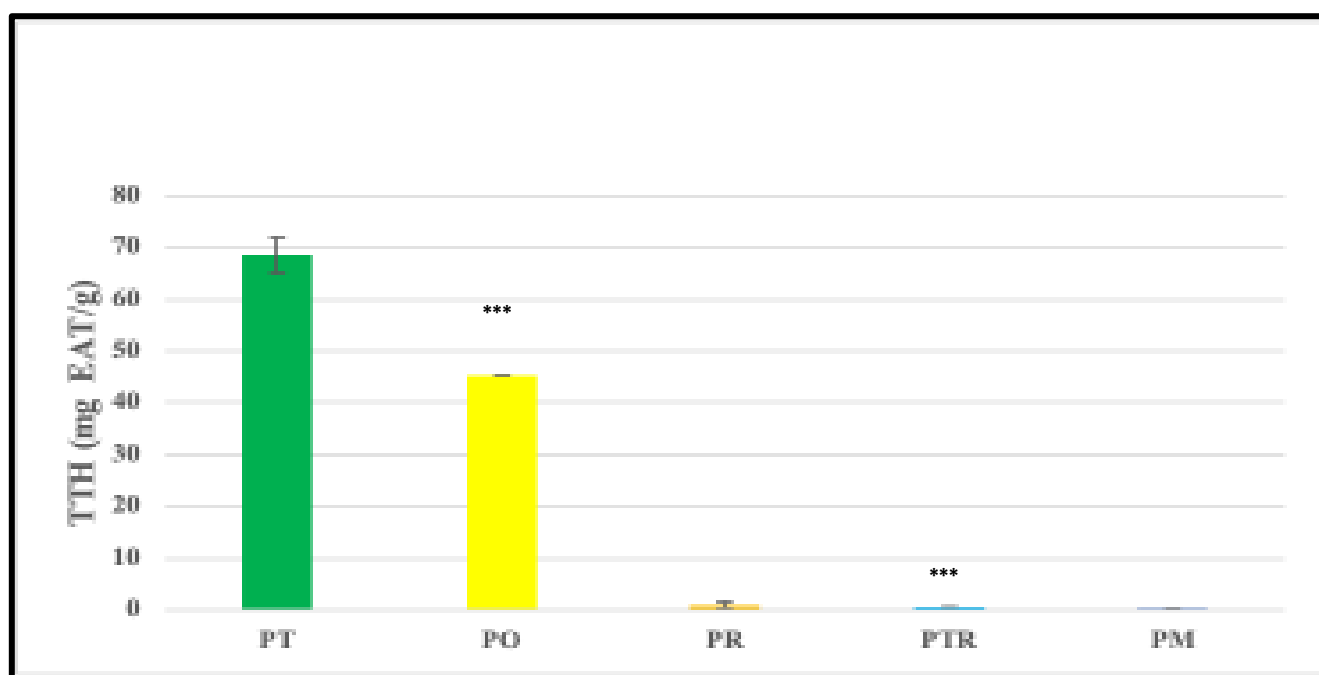


Figure 35 : le taux en tanins hydrolysables t de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

1.9.4.2. Extrait aqueux

Les teneurs sont très faibles pour toutes les wilayas. PT (Tlemcen) enregistre la valeur maximale de $0,344 \pm 0,022$ mg EAT/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de Mostaganem, Oran et Relizane. PR (Relizane) présente $0,46 \pm 0,078$ mg EAT/1g PS, hautement significativement supérieure à celle de Mostaganem et très significativement supérieure à celle de Tiaret. PTR (Tiaret) affiche $0,414 \pm 0,030$ mg EAT/1g PS, très significativement supérieure à celle de Relizane. PM (Mostaganem) enregistre la valeur minimale de $0,11 \pm 0,078$ mg EAT/1g PS, hautement significativement inférieure à celle de Tlemcen. (Figure 36)

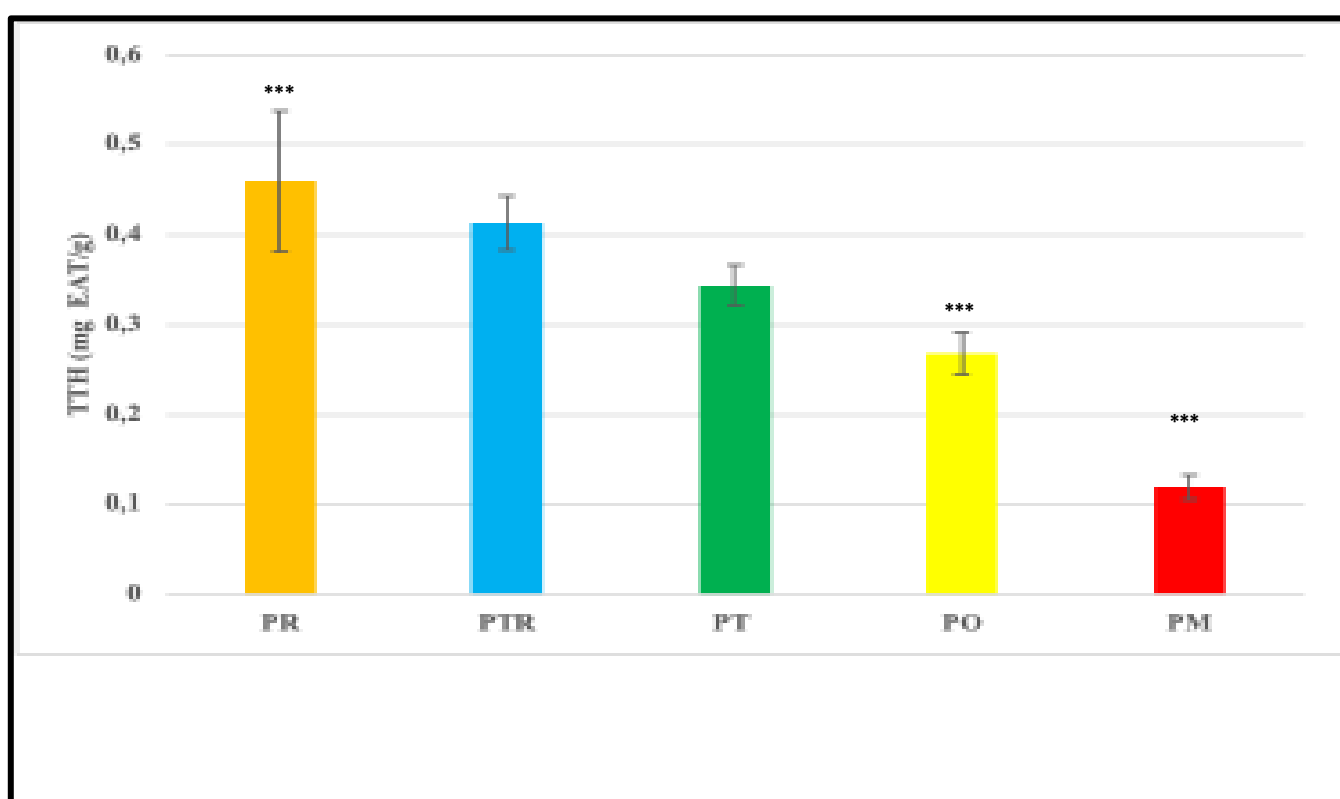


Figure 36 : le taux en tanins hydrolysables de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

1.9.5. Détermination de la teneur en sucres totaux

1.9.5.1. Extrait hydro-éthanolique

PR (Relizane) présente la teneur la plus élevée avec $963,74 \pm 79,774$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PO (Oran) suit avec $521,44 \pm 54,055$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PM (Mostaganem) avec $276,95 \pm 2,897$, PT (Tlemcen) avec $272,59 \pm 6,901$ et PTR (Tiaret) avec $194,38 \pm 7,796$ mg EM/1g PS présente des valeurs comparables entre elles, hautement significativement inférieures à celles de Relizane et Oran (**Figure 37**)

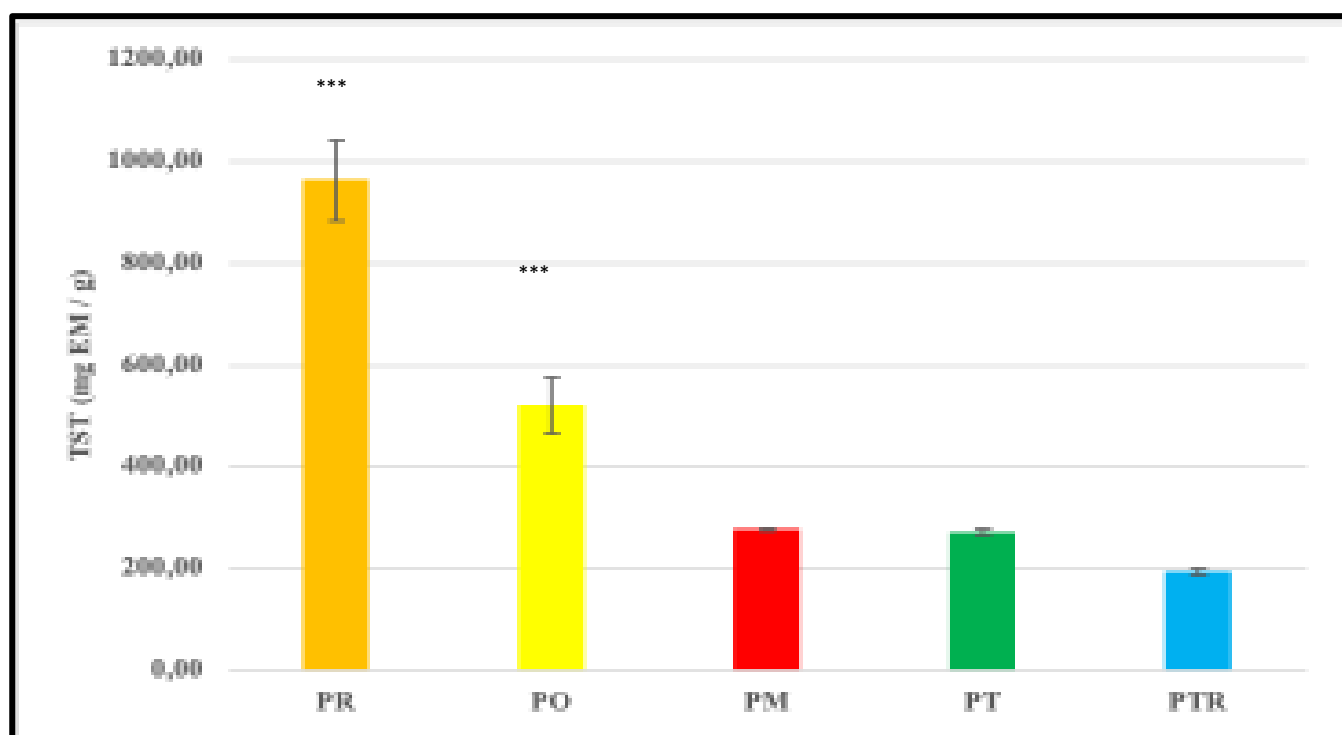


Figure 37 : le taux en sucres totaux de l'extrait hydro éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

1.9.5.2. Extrait aqueux

PR (Relizane) domine avec $554,46 \pm 30,024$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PTR (Tiaret) suit avec $241,91 \pm 24,085$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PO (Oran) avec $27,49 \pm 0,501$ et PT (Tlemcen) avec $17,94 \pm 3,539$ mg EM/1g PS présente des valeurs intermédiaires. PM (Mostaganem) enregistre la valeur minimale de $0,60 \pm 0,354$ mg EM/1g PS, hautement significativement inférieure à celles de Relizane et Tiaret. (Figure 38)

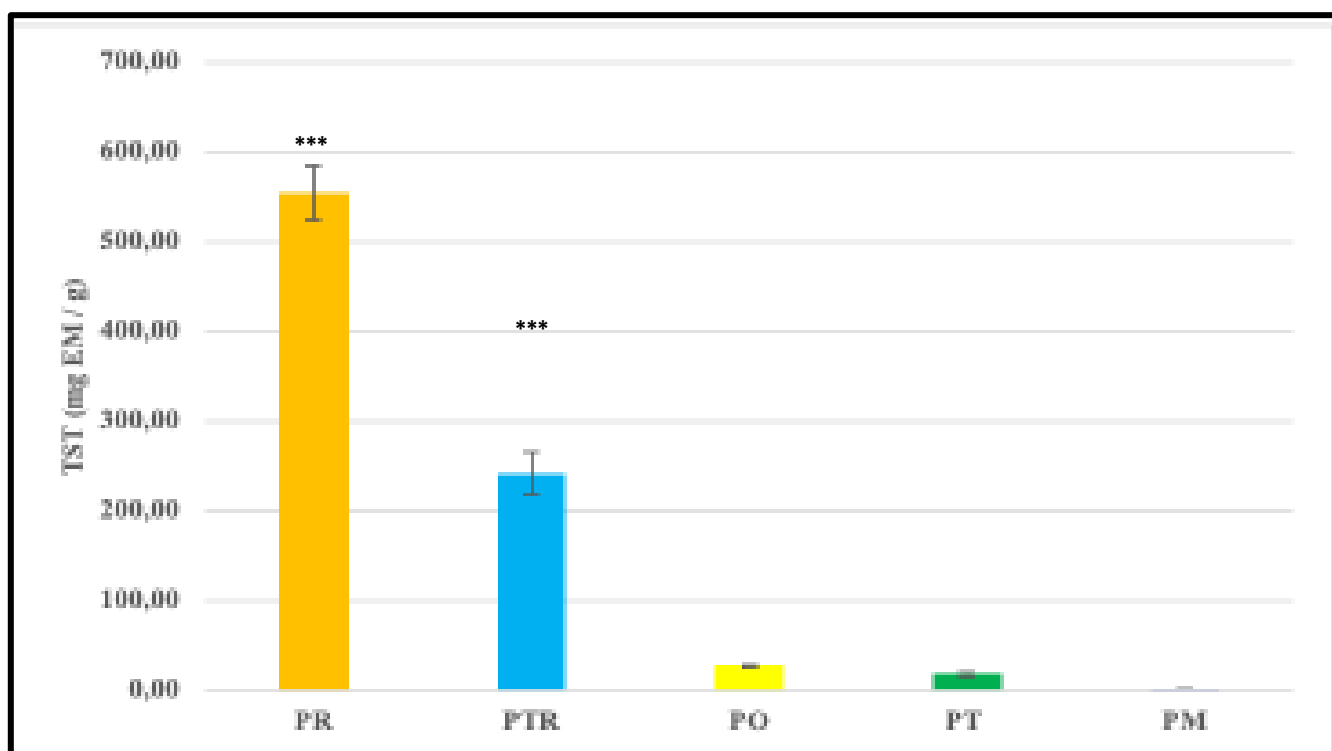


Figure 38 : le taux en sucres totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

I.9.6. Détermination de la teneur en sucres réducteurs

1.9.6.1. Extrait hydro-éthanolique

PR (Relizane) enregistre la concentration maximale avec $490,63 \pm 9,758$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de Mostaganem, Tlemcen et Tiaret. PO (Oran) suit avec $302,76 \pm 4,911$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de Relizane, Tlemcen et Tiaret. PM (Mostaganem) présente $259,56 \pm 13,803$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de Relizane, Tlemcen et Tiaret. PT (Tlemcen) avec $207,78 \pm 12,395$ et PTR (Tiaret) avec $192,80 \pm 2$ mg EM/1g PS enregistrent les valeurs les plus faibles, hautement significativement supérieures à celles de Mostaganem et Relizane. (Figure 39)

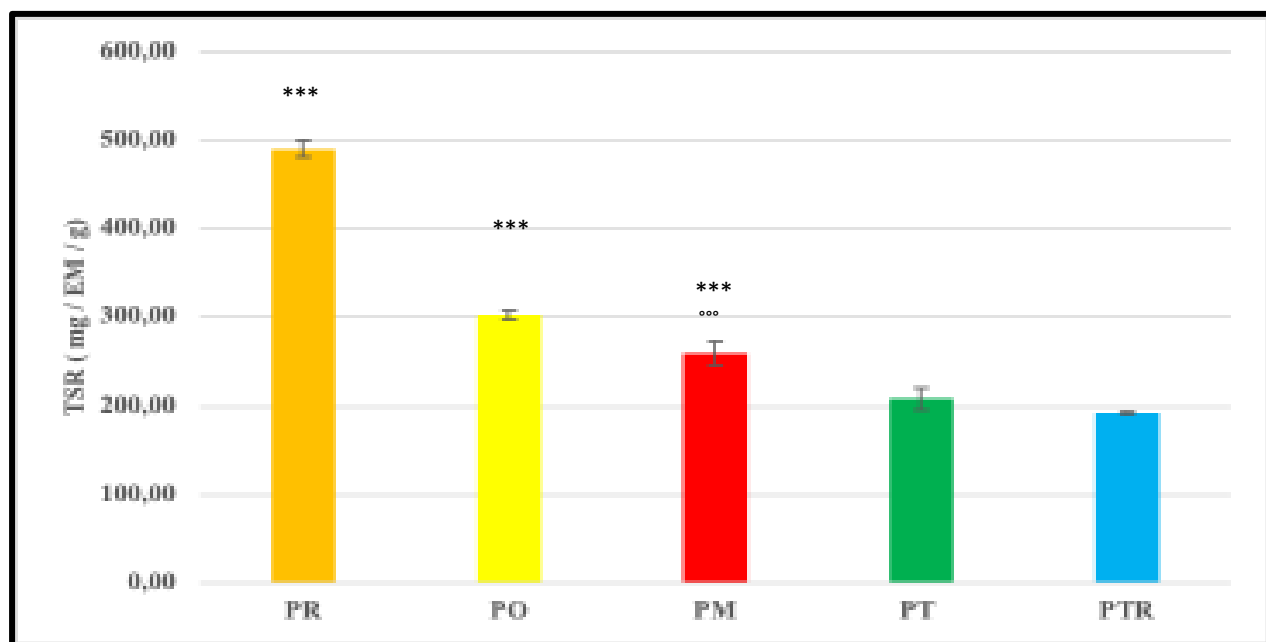


Figure 39 : le taux en sucres réducteurs de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

1.9.6.2. Extrait aqueux

PTR (Tiaret) présente la valeur maximale avec $23,64 \pm 0,406$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PT (Tlemcen) suit avec $7,75 \pm 0,113$ mg EM/1g PS et PR (Relizane) avec $5,38 \pm 0,057$ mg EM/1g PS, toutes deux hautement significativement supérieures à celles de toutes les autres wilayas. PO (Oran) enregistre $2 \pm 0,203$ mg EM/1g PS, hautement significativement supérieure à celles de toutes les autres wilayas. PM (Mostaganem) présente la valeur minimale de $0,52 \pm 0,021$ mg EM/1g PS, hautement significativement inférieure à celles de toutes les autres wilayas. (Figure 40)

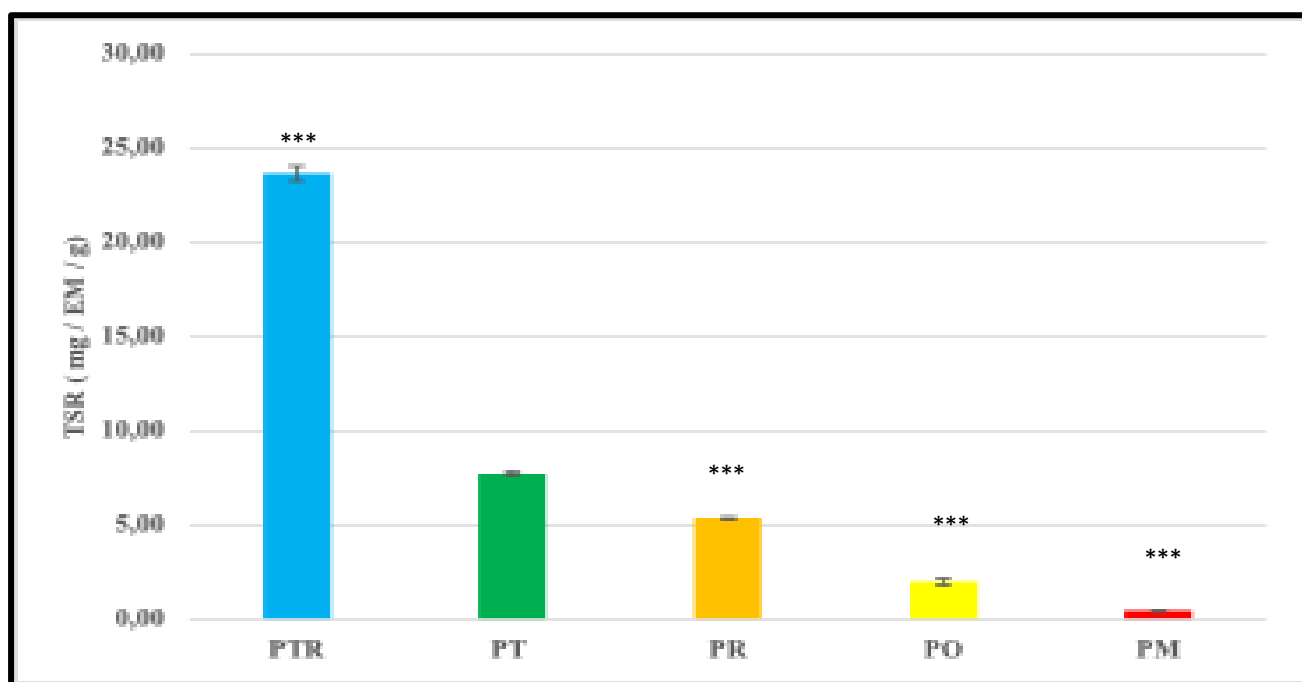


Figure 40 : le taux en sucres réducteurs de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

*** : hautement significatif.

PT : Propolis Tlemcen, **PTR** : Propolis Tiaret, **PO** : Propolis Oran, **PR** : Propolis Relizane, **PM** : Propolis Mostaganem

II. Activités antioxydantes

II.1. Test de piégeage du radical libre 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

Les résultats du test DPPH pour les extraits hydro-éthanoliques indiquent des valeurs d'IC₅₀ très basses, s'échelonnant entre 0,30 mg/ml (PT) et 0,55 mg/ml (PM). Les échantillons de Tiaret (PTR) et d'Oran (PO) présentent également des concentrations faibles de 0,31 mg/ml, suivis par celui de Relizane (PR) avec 0,53 mg/ml. Ces données mettent en évidence une efficacité inhibitrice importante pour l'ensemble des extraits alcooliques. (**Figure 41 ; Tableau 20**)

Tableau 20 : Analyse de test DPPH de de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Reference (Acide ascorbique)	0,062 mg/ml
Variété	IC₅₀ (mg/ml)
PT (Tlemcen)	0,30
PM (Mostaganem)	0,55
PR (Relizane)	0,53
PTR (Tiaret)	0,31
PO (Oran)	0,31

Les extraits aqueux, les valeurs d'IC₅₀ enregistrées sont considérablement plus élevées, variant de 33,26 mg/ml (PTR) à 81,46 mg/ml (PR). On note des concentrations de 43,28 mg/ml pour Tlemcen (PT) et 58,24 mg/ml pour Oran (PO), tandis que le résultat pour Mostaganem (PM) n'est pas déterminé. Cette augmentation globale des valeurs indique une capacité inhibitrice beaucoup plus faible en milieu aqueux par rapport aux extraits alcooliques (**Figure 42 ; Tableau 21**).

Tableau 21 : Analyse de test DPPH de la propolis selon l'extrait aqueux

Variété	IC₅₀ (mg/ml)
PT (Tlemcen)	43,28
PM (Mostaganem)	—
PR (Relizane)	81,46
PTR (Tiaret)	33,26
PO (Oran)	58,24

IC₅₀ : Concentration inhibitrice a 50%

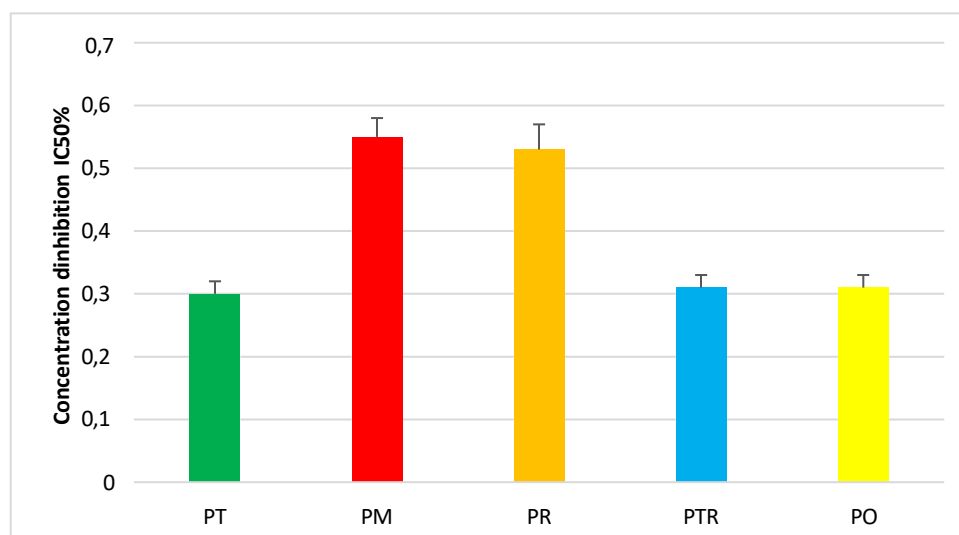


Figure 41 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de propolis

PT : Propolis Tlemcen, **PTR :** Propolis Tiaret, **PO :** Propolis Oran, **PR :** Propolis Relizane, **PM :** Propolis Mostaganem

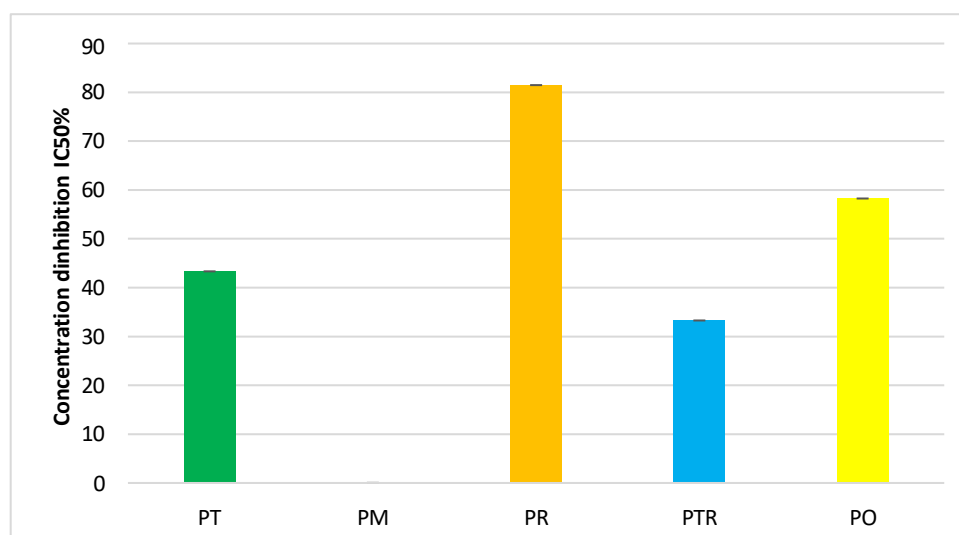


Figure 42 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits aqueux des différentes variétés de propolis

PT : Propolis Tlemcen, **PTR :** Propolis Tiaret, **PO :** Propolis Oran, **PR :** Propolis Relizane, **PM :** Propolis Mostaganem

II.2. Méthode de piégeage du radical libre ABTS L'acide 2,2-azino-bis (3éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)

Les résultats du test ABTS pour les extraits hydro-éthanoliques montrent des valeurs d'IC50 très compétitives, allant de 0,23 mg/ml (PO) à 0,5 mg/ml (PM). Les échantillons d'Oran et de Tiaret (PTR) 0,27 mg/ml affichent des capacités antioxydantes proches de la référence Trolox 0,29 mg/ml, suivis par Tlemcen (PT) 0,35 mg/ml et Relizane (PR) 0,45 mg/ml. Ces mesures confirment une forte activité inhibitrice du radical ABTS pour l'ensemble des extraits alcooliques étudiés. (Figure 43 ; Tableau 22)

Tableau 22 : Analyse de test ABTS de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Reference (Trolox)	0,29 mg/ml
Variété	IC50 (mg/ml)
PT (Tlemcen)	0,35
PM (Mostaganem)	0,5
PR (Relizane)	0,45
PTR (Tiaret)	0,27
PO (Oran)	0,23

Les extraits aqueux, les valeurs d'IC50 sont nettement plus élevées, s'étalant de Tiaret (PTR) 14,03 mg/ml à Oran (PO) 49,48 mg/ml. On observe des concentrations de 24,68 mg/ml pour Tlemcen (PT) et 42,31 mg/ml pour Relizane (PR), alors que le résultat pour Mostaganem reste indéterminé. (Figure 44 ; Tableau 23)

Tableau 23 : Analyse de test ABTS de la propolis selon l'extrait aqueux

Variété	IC50 (mg/ml)
PT (Tlemcen)	24,68
PM (Mostaganem)	—
PR (Relizane)	42,31
PTR (Tiaret)	14,03
PO (Oran)	49,48

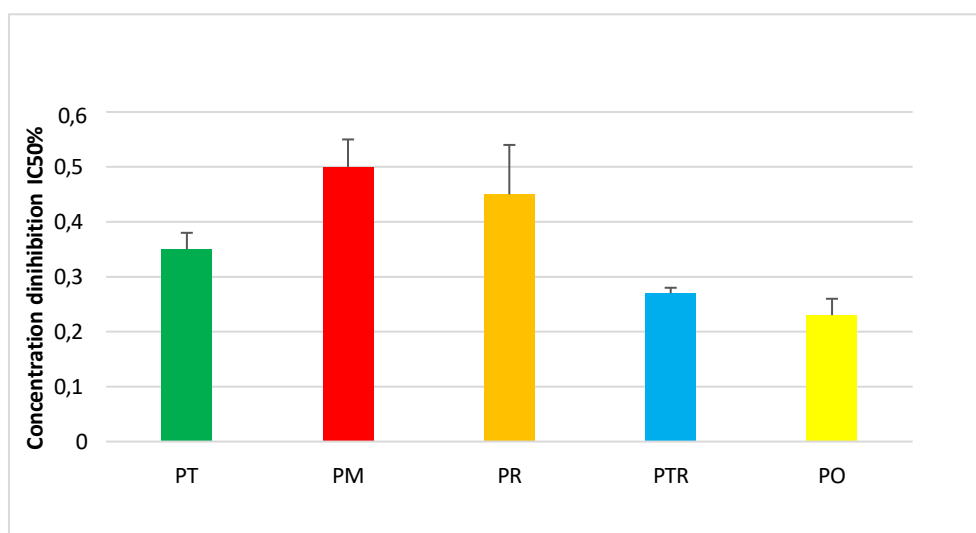


Figure 43: Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical ABTS des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de propolis

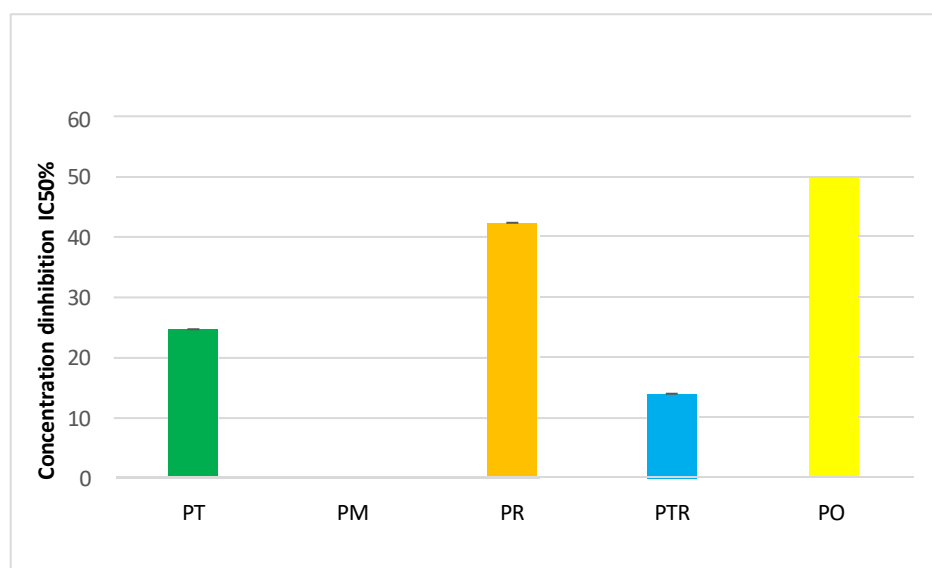


Figure 44 : Comparaison des pourcentages d'inhibition du radical ABTS des extraits aqueux des différentes variétés de propolis

II.3. Capacité antioxydante totale (CAT)

Les résultats de l'analyse de la capacité antioxydante totale (CAT) pour les extraits hydro-éthanoliques montrent des valeurs comprises entre 433,89 et 1220,07 mg EAA/g MS. On observe que l'échantillon de Tlemcen (PT) présente la capacité la plus élevée, suivi de Relizane (PR) 828,63, Oran (PO) 765,97 et Tiaret (PTR) 753,44, tandis que Mostaganem (PM) enregistre la valeur la plus faible. (Figure 45 ; Tableau 24)

Tableau 24: Analyse de test CAT de la propolis selon l'extrait hydro éthanolique

Variété	CAT mg EAA/g MS
PT (Tlemcen)	1220,07 ± 0,1
PM (Mostaganem)	433,89 ± 0,2
PR (Relizane)	828,63 ± 0,4
PTR (Tiaret)	753,44 ± 0,7
PO (Oran)	765,97 ± 0,2

Les extraits aqueux affichent une capacité antioxydante totale nettement plus réduite, avec des valeurs s'étalant de 1,11 à 16,57 mg EAA/g MS. L'échantillon de Tiaret (PTR) marque la valeur maximale de cette série, alors que les autres localités comme Tlemcen (PT), Relizane (PR) et Oran (PO) se situent sous la barre des 10 mg EAA/g MS. (Figure 46 ; Tableau 25)

Tableau 25 : Analyse de test CAT de la propolis selon le type d'extrait aqueux

Variété	CAT mg EAA/g MS
PT (Tlemcen)	9,49 ± 125,5
PM (Mostaganem)	1,11 ± 0
PR (Relizane)	9,99 ± 96,1
PTR (Tiaret)	16,57 ± 30,1
PO (Oran)	6,67 ± 39,7

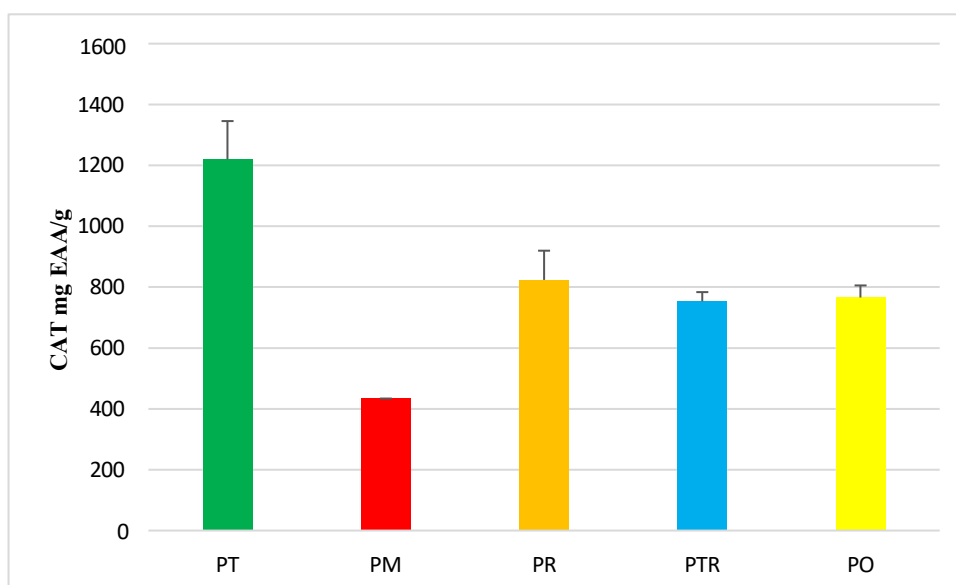


Figure 45 : Capacité antioxydante totale (CAT) des extraits hydro éthanoliques des différentes variétés de propolis

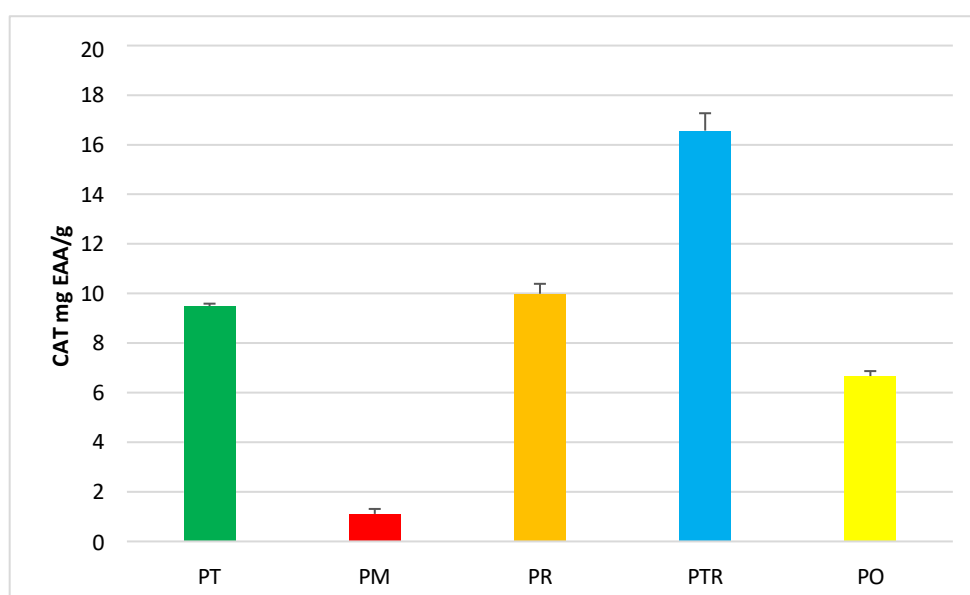


Figure 46 : Capacité antioxydante totale (CAT) des extraits aqueux des différentes variétés de propolis

Discussion générale

- ❖ L'évaluation des paramètres physicochimiques de la propolis représente une étape importante pour apprécier sa qualité et mieux comprendre sa composition. Les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence une variabilité entre les échantillons analysés, ce qui peut être attribué à plusieurs facteurs, notamment l'origine botanique, les conditions environnementales et les méthodes de récolte. Le rendement d'extraction hydro éthanolique varie entre 15,96% et 44,45% avec une valeur maximale observée pour l'échantillon de Tlemcen, cette différence suggère une variation dans la teneur en composés extractibles, tels que les résines et les polyphénols, des travaux récents indiquent que le rendement de la propolis peut varier considérablement selon sa source végétale et les conditions d'extractions, avec des valeurs comprises entre 20% et 50%. (**Belmehdi, O et al., 2023**). La teneur en eau mesurée reste faible à 0,9% à 5,2%, ce qui témoigne d'une bonne qualité de la matière première et d'une stabilité satisfaisante, une faible humidité est généralement associée à une meilleure conservation et à un risque réduit de contamination microbienne, de plus ce paramètre est souvent utilisé comme indicateur de fraîcheur et de qualité dans les produits apicoles, des études récentes confirment que la propolis est naturellement pauvre en eau en raison de sa composition riche en résines et en cires. (**Rosman, N. A et al., 2025**). Les valeurs de pH obtenues montrent que les extraits hydro éthanoliques présentent un caractère légèrement acide 5 à 5,9, tandis que les extraits aqueux sont proches de la neutralité 6 à 6,9, cette différence est liée à la nature des composés extraits, les solvants organiques favorisant l'extraction des composés acides, notamment les polyphénols et certains acides aromatiques, des résultats similaires ont été rapportés dans des études récentes sur la propolis. (**Rana, A et al., 2025**). La conductivité électrique varie également en fonction du type d'extraction, avec des valeurs plus élevées pour les extraits hydro éthanoliques 118,1 à 185,6 ms que pour les extraits aqueux 73,4 à 99,3 ms, cette observation peut être expliquée par une plus grande concentration en composés ionisables tels que les minéraux et certaines métabolites secondaires, en effet, la conductivité est souvent contrôlée à la teneur en substances dissoutes et peut être utilisée comme indicateur indirecte de la richesse chimique de l'extrait. (**ROSMAN, N. A et al., 2025**). Concernant l'acidité libre les extraits aqueux présentent des valeurs plus élevées 0,3 à 1,1 ml que les extraits hydro éthanoliques 0,2 à 0,3 ml, ce qui indique une meilleure extraction des composés acides dans l'eau, cette tendance a également été observée dans des études récentes, où la solubilité des acides organiques dépend fortement du solvant utilisé, ces

composés contribuent aux propriétés biologiques de la propolis.(**Zulhendri, F et al.,2021**).Enfin, les résultats de l'absorbance montrent des valeurs plus élevées pour les extraits hydro éthanoliques 0,601 à 0,936 comparativement aux extraits aqueux 0,129 à 0,344,traduisant une concentration plus importantes en composés absorbants, cela confirme l'efficacité de l'éthanol dans l'extraction des polyphénols et flavonoïdes ,principaux responsables des propriétés biologiques de la propolis.(**Suran, J et al.,2021**).

- ❖ Les résultats obtenus par spectroscopie FTIR-ATR mettent en évidence une similarité globales des profils spectraux des différents échantillons de propolis, caractériser par la présence de groupements fonctionnels majeurs tael que O-H, C-H, C=O et C-O, traduisant une composition chimique dominée par des composés phénoliques et dérivés organiques. Toutefois, une analyse des intensités des bandes révèle des différences notables entre les échantillons. Les échantillons de Tlemcen et Tiaret se distinguent par des bandes plus intenses, notamment au niveau de groupements hydroxyles O-H et carbonyles C=O, ce qui suggère une teneur plus élevée en composés phénoliques et oxygénées. En revanche, les échantillons d'Oran, de Relizane et Mostaganem présente des intensités plus modérées, traduisant une concentration relativement plus faible en ces composés. Par ailleurs, la bande C=C, associée aux structures aromatiques conjuguées, apparait plus marquée dans certains échantillons comme celui de Tlemcen, alors qu'elle est faible à l'absente dans d'autres, indiquant une variabilité dans la contribution des composés aromatiques. Ces observations en accord avec les travaux (**Zulhendri, F et al.,2021**), qui ont montré que les profits FTIR de la propolis bien que qualitativement similaires, présentent des variations d'intensité liées a la composition chimique et a l'origine botanique. De même, (**Kasote, D et al.,2022**) ont rapporté que la richesse en polyphénols et en composés carbonylés peut varie d'un échantillon a un autre, ce qui influence directement l'intensité des bandes observées. Ainsi, l'analyse FTIR confirme que, malgré une composition qualitative similaire, la propolis présente une variabilité quantitative importante en métabolites secondaires, permettant de distinguer des échantillons plus riches, notamment ceux de Tlemcen et de Tiaret, d'autres relativement moins concentrée, ce qui reflète l'influence des facteurs d'origine sur la composition chimique de la propolis.
- ❖ L'analyse FTIR-ATR des extraits hydro-éthanoliques et aqueux de la propolis met en évidence la présence de groupements fonctionnels communs (O-H, C-H, C=O, C=C et C-O), indiquant une composition chimique globalement similaire dominée par des composés phénoliques et leurs dérivés. Toutefois, des différences notables apparaissent en fonction du type d'extraction et des échantillons analysés. D'une manière générale, les extraits

hydro-éthanoliques présentent des intensités plus élevées pour plusieurs bandes, notamment C=O, C=C et C–O, traduisant une meilleure extraction des composés organiques complexes tels que les flavonoïdes, les esters et les structures aromatiques. En revanche, les extraits aqueux montrent principalement une dominance des bandes O–H et C–O, indiquant la présence de composés plus polaires tels que les sucres, les acides organiques et certains polyphénols simples. Cette différence s'explique par la nature du solvant, l'éthanol permettant d'extraire à la fois des composés polaires et semi-polaires, contrairement à l'eau qui extrait essentiellement les composés hydrophiles. L'analyse entre les échantillons montre que les extraits de Tlemcen et de Tiaret se distinguent par une intensité élevée des bandes O–H et C=O dans les deux types d'extraction, ainsi que par une présence marquée de la bande C=C dans les extraits hydro-éthanoliques, indiquant une richesse plus importante en composés phénoliques et en structures aromatiques. En particulier, l'extrait hydro-éthanolique de Tlemcen présente des intensités élevées pour l'ensemble des groupements, suggérant une forte concentration en flavonoïdes et composés aromatiques conjugués. A l'inverse, les échantillons d'Oran et de Mostaganem présentent des intensités généralement modérées à faibles, notamment pour les bandes C–H et C=C, ce qui indique une teneur plus faible en composés aromatiques et en structures aliphatiques. L'échantillon de Relizane occupe une position intermédiaire, avec des intensités relativement élevées pour les groupements O–H, C=O et C–O, mais une faible contribution de la bande C=C dans l'extrait aqueux. Par ailleurs, la faible intensité ou l'absence de la bande C=C dans plusieurs extraits aqueux suggère une faible extraction des composés aromatiques conjugués dans l'eau, contrairement aux extraits hydro-éthanoliques où cette bande est plus visible. De même, les bandes C–H, associées aux chaînes aliphatiques, sont plus prononcées dans les extraits hydro-éthanoliques, confirmant la présence de composés lipidiques et terpéniques mieux solubilisés dans ce solvant. Ces résultats sont en accord avec plusieurs études récentes qui ont montré que les profils FTIR de la propolis présentent une similarité qualitative, avec des variations quantitatives liées au type d'extraction et à l'origine botanique (Okińczyc, P et al., 2021; Popova, M et al., 2021 ; Zulhendri, F et al., 2021). Ces travaux confirment que les extraits hydro-éthanoliques sont généralement plus riches en composés bioactifs, en particulier les flavonoïdes et les composés aromatiques. Ainsi, l'analyse FTIR met en évidence que, bien que les extraits de propolis présentent une composition chimique similaire sur le plan qualitatif, les extraits hydro-éthanoliques apparaissent globalement plus riches en métabolites secondaires complexes, tandis que les extraits aqueux sont dominés par des composés plus simples et polaires, avec une variabilité notable entre les échantillons

- ❖ Le screening phytochimique réalisé sur les extraits des cinq variétés de propolis collectés dans l'ouest algérien a mis en évidence la présence de polyphénols, de flavonoïdes, de coumarines, de tanins, de terpénoides, d'anthocyanes et de saponosides dans l'ensemble des échantillons analysés. La présence simultanée de ces différentes familles de métabolites secondaires témoigne la richesse phytochimique de la propolis de cette région. Des résultats comparables ont été rapportés par **(Afata et al., 2022)** dans une étude portant sur la propolis éthiopienne, où les auteurs ont confirmé la présence de saponines, tanins, flavonoïdes et triterpènes dans les extraits phénoliques. À l'échelle nationale, **(Ayad et al., 2024)** ont également rapporté la présence de polyphénols, flavonoïdes et acides phénoliques dans des propolis algériennes provenant de régions climatiquement distinctes, confirmant ainsi la richesse phytochimique caractéristique de la propolis algérienne. Cependant, une variabilité notable a été observée entre les cinq wilayas. La propolis de Tiaret et de Tlemcen s'est démarquée par les profils phytochimiques les plus complets, avec une forte présence (+++) pour la majorité des familles testées, en revanche la propolis de Mostaganem a affiché les teneurs les plus faibles, allant jusqu'à l'absence totale des terpénoides dans son extrait aqueux, ces différences inter-régionales peuvent être attribuées aux conditions climatiques de chaque région, à l'altitude, à la diversité floristique et aux saisons de récolte propre à chaque région, des facteurs qui influencent directement la composition botanique et puis la propolis collectés par les abeilles. **(Milek et al., 2024)**, en effet, **(Altuntaş et al. 2023)** ont montré à travers l'étude de 24 échantillons de propolis anatolienne, que la composition phytochimique varie significativement d'une région à l'autre au sein d'un même pays soulignant ainsi l'influence du climat sur le profil des métabolites secondaires.
- ❖ Dans le prolongement de cette analyse qualitative, le dosage quantitatif des polyphénols totaux a permis de préciser les écarts observés entre les wilayas, les teneurs obtenus s'échelonnent de $42,253 \pm 8,904$ mg EAG/1g pour la propolis de Mostaganem à $333,433 \pm 2,403$ mg EAG/1g pour celle de Tlemcen, cette dernière se positionne comme la variété la plus riche en composés phénoliques avec une différence hautement significative par rapport à toutes les autres variétés, à titre de comparaison **(Woźniak et al., 2022)** ont rapporté pour une propolis polonaise issus de différentes régions, des teneurs variant entre 116,16 et 219,41 mg EAG/g selon le lieu de collecte, dans le même registre **(Kurek-Górecka et al., 2025)** ont mesuré des teneurs moyennes de 187,16 et 198,09 mg EAG/g respectivement pour la propolis polonaise et turque, sur le plan national, **(Ayad et al., 2024)** ont aussi rapporté une teneur de 302 ± 28 mg EAG/g pour la propolis algérienne de la région de Médéa. La valeur enregistrée pour Tlemcen extrait hydro-éthanolique dans notre étude

(333,433 mg EAG/1g) dépasse l'ensemble de ces références, ce qui témoigne du potentiel bioactif particulièrement élevé pour cette variété liée à la richesse et à la diversité de la végétation de la région de Tlemcen notamment de son type d'extraction qui est l'extrait hydro-éthanolique. En ce qui concerne les extraits aqueux, les teneurs sont nettement inférieures pour l'ensemble des wilayas, avec des valeurs s'échelonnant de $1,926 \pm 0,106$ mg EAG/1g pour Mostaganem à $9,743 \pm 0,206$ mg EAG/1g pour Tlemcen, confirmant que le solvant hydro-éthanolique est plus efficace pour l'extraction des composés phénoliques. S'agissant des flavonoïdes, qui constituent une sous-classe majeurs des polyphénols, les teneurs mesurées varient de $0,12 \pm 0,015$ mg EQ/1g pour la propolis de Mostaganem extrait aqueux à $32,03 \pm 0,478$ mg EQ/1g pour celle de Tlemcen extrait hydro-éthanolique, avec une différence hautement significative entre ces deux variétés, la hiérarchie observée entre les wilayas et les deux types d'extraits est globalement cohérente avec celle relevée pour les polyphénols totaux, ce qui suggère que les flavonoïdes contribuent de manière significative à la richesse phénolique de ces extraits, ces valeurs s'inscrivent dans les fourchettes rapportées dans des études internationales (**Bozkuş 2024**) a relevé des teneurs comprises entre 6,73 et 43,75 mg quercétine/g dans des extraits hydro-éthanoliques de propolis caucasienne provenant de 17 localités différentes, tandis que (**Woźniak et al., 2022**) ont signalés des valeurs entre 29,63 et 106,07 mg EQ/g pour la propolis polonaise, par ailleurs, , (**Okińczyc et al., 2021**) ont rapporté des valeurs de 10,45 à 82,71 mg EQ/g sur 19 échantillons de propolis eurasiennne. La faible teneur observée pour Mostaganem suggère que la flore mellifère de cette région est moins abondante en plantes productrices de flavonoïdes, ce qui se répercute directement sur la composition de la propolis récoltée (**Kasote et al., 2022**). Au-delà des polyphénols et des flavonoïdes, l'analyse des tannins condensés a révélé une distribution différente entre les wilayas, les teneurs s'échelonnent de $0,62 \pm 0,102$ mg EC/1g pour Tlemcen à $46,94 \pm 0,177$ mg EC/1g pour Tiaret avec une différence hautement significative pour les extraits hydro-éthanoliques, suivie par Oran ($37,36 \pm 2,219$ mg EC/1g) et Relizane ($30,43 \pm 1,200$ mg EC/1g) les quartes extrais hydro-éthanolique, il est remarquable que la propolis de Tlemcen, la plus riche en polyphénols et en flavonoïdes, affiche ici la teneur la plus faible en tannins condensés, selon (**Kasote et al., 2022**) la teneur en tannins dans la propolis est étroitement liée à son origine botanique et varie selon les sources végétales exploitées par les abeilles. La richesse en tannins condensés de Tiaret et d'Oran peut ainsi s'expliquer par la présence de plantes riches en proanthocyanidines dans l'environnement de ces ruches, ces écarts entre les wilayas confirment une fois de plus l'influence déterminante des conditions environnementales locales sur la

composition phytochimique de la propolis (**Milek et al., 2024**). Pour les extraits aqueux, les teneurs sont globalement plus faibles avec des différences significatives entre les variétés, la valeur la plus élevée étant enregistrée pour Tiaret avec $4,74 \pm 1,415$ mg EC/1g. Parallèlement aux tannins condensés, l'analyse des tannins hydrolysables a mis en lumière une disparité encore plus prononcée entre les régions étudiées, la propolis de Tlemcen se distingue avec une teneur hautement significativement supérieure de $68,5385 \pm 3,502$ mg EAT/1g dans son extrait hydro-éthanolique, suivie de celle d'Oran avec $45,238 \pm 0$ mg EAT/1g. En revanche, les propolis de Tiaret ($0,602 \pm 0$ mg EAT/1g), Relizane ($0,955 \pm 0,612$ mg EAT/1g) et Mostaganem ($0,248 \pm 0$ mg EAT/1g) pour l'extraction hydro-éthanolique, présentent des concentrations hautement significativement inférieures. La région de Tlemcen qui bénéficie d'une couverture végétale particulièrement riche, ce qui peut expliquer la singularité de sa propolis en termes de tannins hydrolysables (**Sarapa et al., 2025**), ces données originales viennent enrichir la caractérisation phytochimique de la propolis de l'ouest algérien. Quant aux extraits aqueux, ils affichent des concentrations très faibles avec des différences très significatives entre les variétés, ne dépassant pas $0,46$ mg EAT/1g pour l'ensemble des wilayas, la valeur la plus élevée étant celle de Mostaganem avec $0,46 \pm 0,078$ mg EAT/1g. Enfin, le dosage des sucres totaux et réducteurs a permis de compléter le profil phytochimique des cinq variétés, les teneurs en sucres totaux varient entre $0,60 \pm 0,354$ mg EM/1g pour la propolis de Mostaganem et $963,74 \pm 79,774$ mg EM/1g pour celle de Relizane, avec une différence hautement significative entre ces deux variétés. De même, les sucres réducteurs atteignent leur valeur maximale pour Relizane extrait hydro-éthanolique avec $490,63 \pm 9,758$ mg EM/1g, hautement significativement supérieure, et minimale pour Mostaganem ($0,52 \pm 0,021$ mg EM/1g), hautement significativement inférieure, il est connu que la propolis est renferme des glucides parmi ses constituants, ces derniers étant issus des exsudats végétaux collectés par les abeilles, et que leur teneur fluctue selon l'origine botanique et géographique (**Kasote et al., 2022 ; Sarapa et al., 2025**). La richesse remarquable en sucres de la propolis de Relizane pourrait s'expliquer par la présence dans cette région des plantes mellifères produisant des sécrétions particulièrement riches en glucides. Le faible taux enregistré pour Mostaganem dans ces deux extraits hydro-éthanolique et aqueux, sont pour leurs part cohérents avec les teneurs faibles observés pour les autres métabolites dans cette variété, confortant l'hypothèse d'une diversité botanique moins importante dans l'environnement apicole de cette wilaya (**Ayad et al., 2024**). De manière générale, l'ensemble des résultats confirme la richesse phytochimique de la propolis de l'ouest algérien spécialement pour l'extraction hydro-

éthanolique, et met en évidence l'influence déterminante de l'origine géographique et des conditions climatiques sur la composition en métabolites secondaires, la propolis de Tlemcen se distingue par sa richesse globale en polyphénols, flavonoïdes, et tannins hydrolysables, tandis que celle de Tiaret se démarque par sa teneur élevée en tannins condensés et celle de Relizane par sa concentration exceptionnelle en sucres. Ces différences inter-régionales témoignent la grande biodiversité floristique de l'ouest algérien et constituent une base solide pour valoriser la propolis locale dans des applications thérapeutiques telle que l'activité antioxydante.

- ❖ L'évaluation de l'activité antioxydante de la propolis récoltée dans différentes localités de l'Ouest Algérien a été réalisée à travers trois tests complémentaires : le test de piégeage du radical libre DPPH, le test ABTS et la mesure de la capacité antioxydante totale (CAT). Cette approche multidimensionnelle est indispensable en phytochimie pour valider le potentiel biologique d'un extrait naturel, car les antioxydants peuvent agir par différents mécanismes, notamment par transfert d'atomes d'hydrogène ou par transfert d'électrons. Les résultats obtenus mettent en lumière une variabilité significative dictée par le mode d'extraction et l'origine biogéographique des échantillons.

Le test DPPH est largement privilégié pour évaluer l'activité antioxydante en raison de sa stabilité et de sa sensibilité aux composés donneurs d'hydrogène. Nos résultats révèlent une supériorité flagrante des extraits hydro-éthanoliques par rapport aux extraits aqueux. Les valeurs d'IC₅₀ particulièrement basses observées pour les échantillons de Tlemcen 0,30 mg/ml, de Tiaret et d'Oran 0,31 mg/ml témoignent d'un pouvoir antioxydant exceptionnel, capable de neutraliser les radicaux libres à de très faibles concentrations. À l'inverse, les extraits aqueux affichent une efficacité très limitée, avec des valeurs d'IC₅₀ atteignant 81,46 mg/ml pour Relizane. Cette disparité s'explique par la nature des molécules actives : l'éthanol permet de solubiliser une large gamme de composés phénoliques et de flavonoïdes lipophiles, tandis que l'eau ne mobilise que les fractions hydrosolubles, souvent moins actives dans ce système. L'absence d'activité pour l'extrait de Mostaganem suggère une carence en agents réducteurs spécifiques. Comparativement aux travaux de **(Hossain et al.,2022)**, nos résultats pour les extraits alcooliques sont conformes aux standards de la propolis de haute qualité, qui présentent généralement des IC₅₀ inférieures à 0,5 mg/ml. De plus, des études récentes de **(Boutalbi et al.,2024)** sur les propolis nord-africaines soulignent que cette efficacité est intrinsèquement liée à la présence d'acides phénoliques tels que l'acide caféïque et ses dérivés.

- ❖ Le test ABTS est souvent considéré comme plus complet que le DPPH car il permet de mesurer l'activité des composés aussi bien hydrophiles que lipophiles. Les données obtenues confirment la tendance avec une performance remarquable de l'extrait hydro-éthanolique d'Oran 0,23 mg/ml, dépassant même l'activité du standard de référence, le Trolox 0,29 mg/ml. Cette efficacité supérieure au standard suggère une forte synergie entre les métabolites secondaires présents dans la propolis d'Oran. Comme le soulignent (**Sousa et al.,2023**), certains extraits de propolis riches en polyphénols peuvent égaler ou surpasser les antioxydants de synthèse grâce à la présence de flavones spécifiques. En revanche, les extraits aqueux restent nettement moins actifs avec des IC50 allant jusqu'à 49,48 mg/ml. Cette hausse importante des valeurs confirme que les molécules les plus performantes pour neutraliser le cation radicalaire ABTS⁺ ne sont pas extraites de manière optimale par simple infusion aqueuse. La variabilité entre les régions (Tiaret étant la plus active en aqueux avec 14,03 mg/ml montre que la flore locale influence la nature des composés hydrosolubles. Une étude de (**Khadir et al.,2023**) suggère que les variations climatiques entre le littoral (Oran) et les hauts plateaux (Tiaret) modifient radicalement le profil terpénique de la propolis.

L'analyse de la CAT offre une vue d'ensemble sur le pouvoir réducteur global des extraits. Ici encore, l'extrait hydro-éthanolique de Tlemcen se distingue nettement avec une valeur de 1220,07 mg EAA/g MS, indiquant une densité massique de molécules réductrices très élevée. Ces chiffres concordent avec les travaux de (**Salatino 2022**), démontrant que la capacité antioxydante est proportionnelle à la richesse en métabolites secondaires, elle-même dépendante de l'origine botanique. Le contraste avec les extraits aqueux est frappant, ces derniers ne dépassant pas 16,57 mg EAA/g MS. Cette faible valeur suggère que la majorité des agents réducteurs de la propolis brute restent prisonniers de la matrice cireuse lors d'une extraction à l'eau froide ou tiède. La variabilité observée entre les cinq wilayas souligne l'importance des conditions environnementales. Comme le rapporte (**Mihoubi et al.,2025**), le stress thermique subi par les plantes dans les zones semi-arides comme Tiaret et Relizane stimule la production de polyphénols protecteurs, ce qui explique les pics d'activité observés dans ces échantillons.

Conclusion et Perspectives

Conclusion

La propolis est un produit naturel élaboré par les abeilles (*Apis mellifera*) à partir de résines végétales, reconnue pour ses nombreuses propriétés biologiques et thérapeutiques.

L'étude menée sur cinq variétés de propolis brute collectées dans l'ouest algérien (Tlemcen, Tiaret, Oran, Relizane et Mostaganem) a permis de mettre en évidence une composition physicochimique, phytochimique et fonctionnelle particulièrement riche, justifiant l'intérêt croissant porté à ce produit naturel dans le domaine de l'apithérapie et de la médecine alternative. L'objectif de cette étude était de caractériser ces cinq variétés sur les plans physicochimique, phytochimique et antioxydant, en comparant deux types d'extractions, hydro-éthanolique et aqueux, afin de mieux comprendre l'influence de l'origine géographique et du solvant d'extraction sur la composition et le potentiel bioactif de la propolis.

L'analyse des paramètres physicochimiques a révélé une variabilité inter-régionale notable, avec un rendement d'extraction hydro-éthanolique variant entre 15,96% pour Oran et 44,45% pour Tlemcen, une teneur en eau globalement faible comprise entre 0,9% et 5,2%, un pH légèrement acide pour les extraits hydro-éthanolique (5 à 5,9) et proche de la neutralité pour les extraits aqueux (6 à 6,9), confirmant une bonne qualité et une stabilité satisfaisante des échantillons analysés, l'analyse spectroscopique FTIR-ATR a mis en évidence la présence de groupements fonctionnels caractéristiques des composés phénoliques (O-H, C-H, C=O, C-O) dans l'ensemble des extraits, avec des intensités plus marquées pour les échantillons de Tlemcen et de Tiaret, témoignant de leur richesse en métabolites secondaires bioactifs.

Le screening phytochimique qualitatif a confirmé la présence de polyphénols, flavonoïdes, coumarines, tanins, terpénoides, anthocyanes et saponosides dans l'ensemble des variétés étudiées, avec des teneurs systématiquement plus élevées dans les extraits hydro-éthanoliques.

Le dosage quantitatif des métabolites secondaires a montré que la propolis de Tlemcen se distingue par sa richesse en polyphénols totaux ($333,433 \pm 2,403$ mg EAG/1g) et en tannins hydrolysables ($68,5385 \pm 3,502$ mg EAG/1g), celle de Tiaret par sa teneur élevée en tannins condensés ($46,94 \pm 0,177$ mg EAG/1g), et celle de Relizane par sa concentration exceptionnelle en sucres totaux ($963,74 \pm 79,774$ mg EAG/1g) et réducteurs ($490,63 \pm 9,758$ mg EAG/1g). Ces différences inter-régionales, hautement significatives pour la majorité des paramètres évalués, témoignent de l'influence déterminante de l'origine géographique, de la diversité floristique et des conditions pédoclimatiques de chaque région sur la composition phytochimique de la propolis.

L'évaluation de l'activité antioxydante par trois méthodes complémentaires (DPPH, ABTS et CAT) a confirmé la supériorité des extraits hydro-éthanoliques sur les extraits aqueux pour l'ensemble des variétés. La propolis de Tlemcen présente la meilleure activité selon le test de DPPH ($IC_{50} = 0,30$ mg/ml) et la CAT (1220,07 mg EAA/g MS), tandis que celle d'Oran affiche les meilleures performances selon le test ABTS ($IC_{50} = 0,23$ mg/ml), avec des valeurs proches de la référence Trolox (0,29 mg/ml). La propolis de Mostaganem enregistre les performances les plus faibles pour l'ensemble des tests, en cohérence avec sa faible richesse en métabolites secondaire. Ces résultats confirment que la propolis de l'ouest algérien constitue une source naturelle riche en composés bioactifs à fort potentiel antioxydant, principalement attribué à sa richesse en polyphénols et en flavonoïdes, qui confèrent à ce produit naturel un rôle potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif et la protection cellulaire.

Ce travail reste cependant fondamental et il est appelé à être approfondi, car de nombreux points restent à élucider. Il serait pertinent d'identifier plus précisément les composés antioxydants responsables des activités observées par des méthodes analytiques avancées telles que la chromatographie liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse (HPLC-MS). Par ailleurs, l'évaluation d'autres activités biologiques, notamment antimicrobienne, anti-inflammatoire et antifongique, permettrait de mieux valoriser la propolis de l'ouest algérien. Enfin, des études *in vivo* sur des modèles biologiques contrôlés seraient nécessaires afin de valider les effets antioxydants observés et d'envisager l'intégration de ce produit naturel dans le développement de compléments alimentaires et de formulations thérapeutiques naturelles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Abd-El-Samie E.M., Seyam H., El-Deeb A., El-Mohandes S., Badr M.S., Surano A., Abou Kubaa R. (2025). The antiviral activities of Egyptian ethanolic propolis extract and honey bee venom against honey bees infected with multiple viruses in vitro. *Journal of Apicultural Research*, 64(3), 848-861.
- Achenbach, J., Deyerling, N., Mello dos Santos, M., Sultana, S., Islam, M. K., & Locher, C. (2024). Physicochemical Properties, Antioxidant Activity, and High-Performance Thin-Layer Chromatography Profiling of Propolis Samples from Western Australia. *Plants*, 13(14), 1919.
- Afata T.N., Nemo R., Ishete N., Tucho G.T., Dekebo A. (2022). Phytochemical investigation, physicochemical characterization, and antimicrobial activities of Ethiopian propolis. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(7), 103931.
- Aimene, Y., Seridi, S., Menacer, R., Braik, A., & Seridi, A. (2026). Flavonoids from Algerian Propolis as Potent Antioxidants and ACE2 Receptor Inhibitors: Insights from Molecular Docking, ADME-Tox Prediction, DFT, and Molecular Dynamics. *Physical Chemistry Research*, 14(1), 119-140.
- Albane Brunel. Etude du mécanisme d'activation de l'oxygène par les NO-Synthases. Sciences agri-coles. Université Paris Sud - Paris XI, 2012. Français.
- Ali-Rachedi, F., Meraghni, S., Touaibia, N., & Mesbah, S. (2018). Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 1321.
- Altabbal S., Athamnah K., Rahma A., Wali A.F., Eid A.H., Iratni R., Al Dhaheri Y. (2023). Propolis: A Detailed Insight of Its Anticancer Molecular Mechanisms. *Pharmaceuticals*, 16(3), 450.
- Altuntaş Ü., Güzel İ., Özçelik B. (2023). Phenolic constituents, antioxidant and antimicrobial activity and clustering analysis of propolis samples based on PCA from different regions of Anatolia. *Molecules*, 28(3), 1121.
- Anjum S.I., Ullah A., Khan K.A., Attaullah M., Khan H., Ali H., Dash C.K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1695-1703.

- Ansari W.A., Srivastava K., Nasibullah M., Khan M.F. (2025). Reactive oxygen species (ROS): Sources, generation, disease pathophysiology, and antioxidants. *Discover Chemistry*, 2(1), 191.
- AOAC 1990 (association of official analytical chemists 1990)
- Araújo J.S., Chambó E.D., Costa M.A.P.D.C., Cavalcante da Silva S.M.P., Lopes de Carvalho C.A., Estevinho L.M. (2017). Chemical composition and biological activities of mono-and heterofloral bee pollen of different geographical origins. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(5), 921.
- Ateş, G. Ö., Elmacı, F., & Gökalp, R. A. Assessment of the Antifungal Efficacy of Propolis and Plant Oils Alone and Combined Against *Candida albicans* and *Pichia manshurica*. *Journal of Apitherapy and Nature*, 9(1), 12-21.
- Ayad A.S., Hébert M.P., Doiron J.A., Loucif-Ayad W., Daas T., Smagghe G., Surette M.E. (2024). Algerian propolis from distinct geographical locations: chemical profiles, antioxidant capacity, cytotoxicity and inhibition of 5-lipoxygenase product biosynthesis. *Chemistry & Biodiversity*, 21(4), e202301758.
- Ayad A.S., Benchaabane S., Daas T., Smagghe G., Loucif-Ayad W. (2025). Propolis stands out as a multifaceted natural product: meta-analysis on its sources, bioactivities, applications, and future perspectives. *Life*, 15(5), 764.
- Ayala A., Muñoz M.F., Argüelles S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014(1), 360438.
- Ayoola G., Coker H., Adesegun S., Adepoju-Bello A., Obaweya K., Ezennia E., Atangbayila T. (2008). Phytochemical Screening and Antioxidant Activities of Some Selected Medicinal Plants Used for Malaria Therapy in Southwestern Nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 1019-1024.

B

- Bahari H., Shahraki Jazinaki M., Aliakbarian M., Rashidmayvan M., Golafrouz H., Rahnema I., Khodashahi R., Malekahmadi M. (2025). Propolis supplementation on inflammatory and oxidative stress biomarkers in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Nutrition*, DOI: 10.3389/fnut.2025.1542184.

- Barrera-Sandoval M.A. et al. (2025). Antioxidant Effect of Curcumin and Its Impact on Mitochondria. *Microorganisms*, 15(5), 139.
- Bava R. et al. (2024). Natural substances in propolis and their pharmacological properties. *Pharmaceutics*, 16(7), 871.
- Bekhti, N., Fedoul, F. F., Fouzia, M., Merazi, Y., Piras, A., & Atma, W. (2022). Phenolic profile and biological activities of extracts of *Matricaria chamomilla* L. from the Western Algeria. *Acta Periodica Technologica*, (53), 48-62.
- Belmehdi O., El Menyiy N., Bouyahya A., El Baaboua A., El Omari N., Gallo M., Abrini J. (2023). Recent advances in the chemical composition and biological activities of propolis. *Food Reviews International*, 39(9), 6078-6128.
- Berakdar N., Alahmad A. (2022). Review of oxidative stress and antioxidative. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 16(5), BE01-BE06.
- Beretti F., Malenchini M., Gatti M., Maraldi T. (2025). Oxidative Stress as a Central Mechanistic Bridge Between Alzheimer's and Vascular Pathologies in Mixed Dementia. *Biomedicines*, 14(1), 59.
- Bertolucci, V., Ninomiya, A. F., Longato, G. B., Kaneko, L. O., Nonose, N., Scariot, P. P. M., & Messias, L. H. D. (2025). Bioactive compounds from propolis on bone homeostasis: A narrative review. *Antioxidants*, 14(1), 81.
- Bešlo D., Golubić N., Rastija V., Agić D., Karnaš M., Šubarić D., Lučić B. (2023). Antioxidant activity, metabolism, and bioavailability of polyphenols in the diet of animals. *Antioxidants*, 12(6), 1141.
- Bhandary S., Kumari S., Bhat V., Sherly S., Bekal M.P. (2012). Preliminary phytochemical screening of various extracts of *Punica granatum* peel, whole fruit and seeds. *Nitte University Journal of Health Science*, 2, 34-38.
- Birben E., Sahiner U.M., Sackesen C., Erzurum S., Kalayci O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9-19.
- Bonnaillie, C., Salacs, M., Vassiliova, E., & Saykova, I. (2012). Étude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *Revue de génie industriel*, 7, 3545.
- Bozkuş T.N. (2024). Phenolic contents and antioxidant activities of Caucasian bee propolis at different locations, solvents, and temperatures. *Food Science & Nutrition*, 12(10), 7798-7805.
- Brigelius-Flohé R., Maiorino M. (2013). Glutathione peroxidases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1830(5), 3289-3303.

- Bruneton J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales (3ème éd.). Technique et Documentation, Paris.

C

- Chaudhary P., Janmeda P., Docea A.O., Yeskaliyeva B., Abdull Razis A.F., Modu B., Sharifi-Rad J. (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1158198.
- Chavda V.P., Chaudhari A.Z., Teli D., Balar P., Vora L. (2023). Propolis and their active constituents for chronic diseases. *Biomedicines*, 11(2), 259.
- Chen J., et al. (2024). Propolis and its active components: antidiabetic mechanisms and clinical evidence. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1341582.
- Chen J.H., Ho C.T. (1997). Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2374-2378.
- Choudhary M.I. (2020). Emerging classes of antioxidant to cancer therapy: a review of clinical and experimental studies. *arXiv preprint arXiv:2003.04538*.
- Cianciosi D. et al. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits. *Molecules*, 23(9), 2322.
- Cobley J.N., Fiorello M.L., Bailey D.M. (2018). 13 reasons why the brain is susceptible to oxidative stress. *Redox Biology*, 15, 490-503.
- Cory H., Passarelli S., Szeto J., Tamez M., Mattei J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 370438.

D

- Davies J.M., Cillard J., Friguet B., Cadenas E., Cadet J., Cayce R., Davies K.J. (2017). The Oxygen Paradox, the French Paradox, and age-related diseases. *GeroScience*, 39(5), 499-550.
- Dbeibia, A., Khiari, R., Mihoubi, D., Zeghonda, N., & Boudhrioua, N. (2025). Drying Kinetics of Deglet Enour Date Seeds, Antioxidant, Antibacterial, Antidiabetic and Bio-preservative Potencies. *Waste and Biomass Valorization*, 16(8), 4381-4397.
- Djebli, N., Kebal, L., Pokajewicz, K., Mostefa, N., & Wiecek, P. P. (2024). Antioxidant activity and effectiveness of fig extract in counteracting carbon tetrachloride-induced oxidative damage in rats. *Molecules*, 29(9), 1997.

- De Moraes, P. B., de Almeida, G. S., de Oliveira Orsi, R., Zambuzzi, W. F., & Fernandes, C. J. D. C. (2025). Aqueous extracts of propolis modulate ECM remodeling and calcium levels during pre-osteoblast differentiation. *Tissue and Cell*, 103101.
- De oliveira Silva, E., & Batista, R. (2017). Ferulic acid and naturally occurring compounds bearing a feruloyl moiety: a review on their structures, occurrence, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 580-616.
- Deshmukh, S., et al. (2020). Products of the hive: A review of bee products and their biological properties.
- Desmier T. (2016). Les antioxydants de nos jours: définition et applications. Thèse de doctorat.
- Diallo A. (2005). Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* WILLD. (Myrtaceae). Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako.
- Di Meo S., Reed T.T., Venditti P., Victor V.M. (2016). Role of ROS and RNS sources in physiological and pathological conditions. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016(1), 1245049.
- Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Hassani Idrissi L.M., Badoc A., Gnaoui N. (2003). Screening phytochimique d'une endémique ibéro-marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142, 61-78.
- Dugasani S. et al. (2010). Comparative antioxidant effects of gingerols and shogaol. *Journal of Ethnopharmacology*, 127(2), 515-520.

E

- El Ghouizi A. et al. (2023). Bee bread as functional food: insights into its composition and health benefits. *Antioxidants*, 12(3), 557.
- El-Didamony S.E., Gouda H.I., Zidan M.M., Amer R.I. (2024). Bee products: An overview of sources, biological activities and advanced approaches used in apitherapy application. *Biotechnology Reports*, 44, e00862.
- Evenamede K.S., Kpegba K., Simalou O., Boyode P., Agbonon A., Gbeassor M. (2017). Etude comparative des activités antioxydantes d'extraits éthanoliques de feuilles, d'écorces et de racines de *Cassia sieberiana*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 2924-2935.

F

- Förstermann U., Sessa W.C. (2012). Nitric oxide synthases: regulation and function. *European Heart Journal*, 33(7), 829-837.
- Förstermann U., Xia N., Li H. (2017). Roles of vascular oxidative stress and nitric oxide in the pathogenesis of atherosclerosis. *Circulation Research*, 120(4), 713-735.
- Ford, C. W. (1981). Estimation of hexose : Pentose ratios in solution using the phenol sulphuric acid method. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(2), 153-156.
- Forma E., Brys M. (2021). Anticancer activity of propolis and its compounds. *Nutrients*, 13(8), 2594.

G

- Gacem M.A., Telli A., Gacem H., Ould-El-Hadj-Khelil A. (2019). Phytochemical screening, antifungal and antioxidant activities of three medicinal plants from Algerian steppe and Sahara. *SN Applied Sciences*, 1(12), 1721.
- Garcia J.R., Reiber C., Massey S.G., Merriwether A.M. (2012). Sexual hookup culture: A review. *Review of General Psychology*, 16(2), 161-176.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370-1373.
- Ghedadba N., Hambaba L., Aberkane M.C., Oueld-Mokhtar M., Fercha N., Houas Bousselsela. (2014). Évaluation De L'Activité Hémostatique In Vitro De L'Extrait Aqueux Des Feuilles De Marrubium Vulgare L. DOI: 10.5281/ZENODO.556745.
- Giampieri F. et al. (2022). Bee products: an emblematic example of underutilized sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6833-6848.
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of toxicology*, 94(3), 651-715.
- Gutmann C., Joshi A., Zampetaki A., Mayr M. (2021). The landscape of coding and noncoding RNAs in platelets. *Antioxidants & Redox Signaling*, 34(15), 1200-1216.

H

- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10).

- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press.
- Hareidy F.A., Azmy A.F., Kamel N.M., Moawad A.S., Rasslan F.S., Omran M.E. (2025). Egyptian *Apis mellifera* bee propolis modulating resistance of *Staphylococcus aureus* to antibiotics. *Annals of Microbiology*, 75(1), 23.
- Hong Y., Boiti A., Vallone D., Foulkes N.S. (2024). Reactive oxygen species signaling and oxidative stress: transcriptional regulation and evolution. *Antioxidants*, 13(3), 312.
- Hossain R., Quispe C., Khan R.A., Saikat A.S.M., Ray P., Ongalbek D., Yeskaliyeva B., Jain D., Smeriglio A., Trombetta D., Sharifi-Rad J., Cho W.C. (2022). Propolis: an update on its chemistry and pharmacological applications. *Chinese Medicine*, 17, 100.
- Hruby A.J., Higuchi-Sanabria R. (2025). Mitochondrial dysfunction in cellular senescence: a bridge to neurodegenerative disease. *npj Aging*, 11(1), 99.
- Humadi, S., & Istudor, V. (2008). Quantitative analysis of bio-active compound in *Hibiscus sabdariffa* L. Extracts note I quantitative analysis of flavonoids. *Farmacia*, 6, 699707.

J

- Jiang Z., Zhang X., Wu L., Li H., Chen Y., Li L., Zhu Y. (2021). Exolytic products of alginate by the immobilized alginate lyase confer antioxidant and antiapoptotic bioactivities in human umbilical vein endothelial cells. *Carbohydrate Polymers*, 251, 116976.
- Joris Vidé. Effets potentiels et mécanismes d'action antioxydant et anti-inflammatoire d'un apport nutritionnel de spirulines enrichies en silicium. *Alimentation et Nutrition*. Université Montpellier, 2015. Français.
- Juan C.A., Pérez de la Lastra J.M., Plou F.J., Pérez-Lebeña E. (2021). The chemistry of reactive oxygen species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4642.

K

- Kasote D., Bankova V., Viljoen A.M. (2022). Propolis: chemical diversity and challenges in quality control. *Phytochemistry Reviews*, 21(6), 1887-1911.
- Kim Durand. Diabète et stress oxydant. *Sciences pharmaceutiques*. 2018. {dumas-01839972}

- Khan, A.M., Qureshi, R. A., Ullah, F., Gilani, S. A., Nosheen, A., Sahreen, S., ... & Murad, W. (2011). Phytochemical analysis of selected medicinal plants of Margalla Hills and surroundings. *Journal of medicinal plants research*, 5(25), 6017-6023.
- Kotha R.R., Tareq F.S., Yildiz E., Luthria D.L. (2022). Oxidative stress and antioxidants—A critical review on in vitro antioxidant assays. *Antioxidants*, 11(12), 2388.
- Kouame N., Soro K., Mangara A., Diarrassouba N., Koulibaly A., Boraud N. (2015). Étude physico-chimique de sept plantes spontanées alimentaires du centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 90(1), 8450.
- Krishnamoorthy S., Babu K.N., Periyasamy L., Stanley J.A., Ramachandran I., Kumaran R.I., Muthusami S. (2022). Targeting the antioxidant enzymes for the treatment of reactive oxygen species (ROS)-induced cancer. In *Handbook of Oxidative Stress in Cancer: Therapeutic Aspects*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Kurek-Górecka A. et al. (2022). Comparison of the antioxidant activity of propolis from different geographical regions. *Plants*, 11(9), 1203.
- Kurek-Górecka A., Kara Y., Pokajewicz K., Ben Hammouda I., Wieczorek P.P., Marciniak D., Kolaylı S. (2025). Phenolic content, volatile compounds and antioxidant activity in pooled propolis samples from Turkey and Poland. *European Food Research and Technology*, 251(8), 2199-2210.

L

- L.Bessol, (2020). Guide pratique de la récolte de la propolis par grilles. Éditions Apicoles.
- Liguori I., Russo G., Curcio F., Bulli G., Aran L., Della-Morte D., Abete P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging*, 757-772.
- Lv, Q. Z., Long, J. T., Gong, Z. F., Nong, K. Y., Liang, X. M., Qin, T., ... & Yang, L. (2021). Current state of knowledge on the antioxidant effects and mechanisms of action of polyphenolic compounds. *Natural Product Communications*, 16(7), 1934578X211027745.

M

- Martindah E., Khairullah A.R., Widiastuti R., Andriani A., Damayanti R., Mustofa I., Wibowo S. (2025). Oxidative Stress: Molecular Mechanisms, Role in Pathology, and Therapeutic Implications. *Trends in Sciences*, 22(12), 11462.
- Martemucci G., Portincasa P., Centonze V., Mariano M., Khalil M., D'Alessandro A.G. (2023). Prevention of oxidative stress and diseases by antioxidant supplementation. *Medicinal Chemistry*, 19(6), 509-537.

- Miller G.L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.
- Miłek M., Franke G., Tomczyk M., Górecki M., Cwiková O., Jarošová A., Džugan M. (2024). The influence of geographical origin on poplar propolis composition and the impact of human microbiota. *Pharmaceuticals*, 17(6), 768.
- Miraldi E., Cappellucci G., Bains G., Pistone E.S., Allodi M., Costantino G., Biagi M. (2024). Chemical markers in Italian propolis: chrysin, galangin and CAPE as indicators of geographic origin. *Plants*, 13(19), 2734.

O

- Okińczyc P., Widelski J., Szperlik J., Żuk M., Mroczek T., Skalicka-Woźniak K., Kuś P.M. (2021). Impact of plant origin on Eurasian propolis on phenolic profile and classical antioxidant activity. *Biomolecules*, 11(1), 68.
- Oliveira Silva, E., & Batista, R. (2017). Ferulic acid and naturally occurring compounds bearing a feruloyl moiety: a review on their structures, occurrence, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 580-616.
- Olufunmilayo E.O., Gerke-Duncan M.B., Holsinger R.M.D. (2023). Oxidative stress and antioxidants in neurodegenerative disorders. *Antioxidants*, 12, 517.
- Oršolić N., Jazvinščak Jembrek M. (2024). Royal jelly: biological action and health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 6023.

P

- Pasupuleti V.R., Sammugam L., Ramesh N., Gan S.H. (2017). Honey, propolis, and royal jelly: a comprehensive review of their biological actions and health benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017(1), 1259510.
- Phaniendra A., Jestadi D.B., Periyasamy L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11-26.
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European journal of medicinal chemistry*, 97, 55-74.
- Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Bitto A. (2017). Oxidative stress: harms and benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017(1), 8416763.

- Popova M., Trusheva B., Chimshirova R., Petkov H., Bankova V. (2025). Green extraction of poplar type propolis: ultrasonic extraction parameters and optimization via response surface methodology. *BMC Chemistry*, 19(1), 266.
- Popova M., Trusheva B., Chimshirova R., Antonova D., Gechovska K., Thanh L.N., Bankova V. (2022). Chemical profile and antioxidant capacity of propolis from *Tetragonula*, *Lepidotrigona*, *Lisotrigona* and *Homotrigona* stingless bee species in Vietnam. *Molecules*, 27(22), 7834.
- Prieto P., Pineda M., Aguilar M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341.

R

- Rana A., Malik A., Sobti R.C. (2025). Anti-bacterial Properties of Propolis: A Comprehensive Review. *Current Microbiology*, 82(10), 479.
- Reczek C.R., Chandel N.S. (2017). The two faces of reactive oxygen species in cancer. *Annual Review of Cancer Biology*, 1, 79-98.
- Rendueles, E., Mauriz, E., Sanz-Gómez, J., González-Paramás, A. M., Vallejo-Pascual, M. E., Adanero-Jorge, F., & García-Fernández, C. (2023). Biochemical profile and antioxidant properties of propolis from northern Spain. *Foods*, 12(23), 4337.
- Reuter S., Gupta S.C., Chaturvedi M.M., Aggarwal B.B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked? *Free Radical Biology and Medicine*, 49(11), 1603-1616.
- Ribéreau-Gayon P. (1968). Notions générales sur les composés phénoliques. In *Composés phénoliques des végétaux* (Dunod, p. 330).
- Rivera-Yanez N., Rivera-Yanez C.R., Pozo-Molina G., Mendez-Catala C.F., Reyes-Reali J., Mendoza-Ramos M.I., Nieto-Yanez O. (2021). Effects of propolis on infectious diseases of medical relevance. *Biology*, 10(5), 428.
- ROSMAN N.A., JUSRIL N.A., MD M.A.F., MOHD F.A.S. (2025). In-vitro evaluation nitric oxide inhibitory activity and phytochemical screening of *Heterigona itama* propolis. *Journal of Sustainability Science and Management*, 20(7), 1437-1451.
- Ross G.R., Benjamin I.J. (2025). Antioxidants in cardiovascular health: implications for disease modeling using cardiac organoids. *Antioxidants*, 14(10), 1202.

S

- Salatino A. (2022). Perspectives for uses of propolis in therapy against infectious diseases. *Molecules*, 27(14), 4594.
- Sarapa, A., Peter, A., Buettner, A., & Loos, H. M. (2025). Organoleptic and chemical properties of propolis: a review. *European food research and technology*, 251(6), 1331-1352.
- Sauvager, F. (2017). La propolis. Communication présentée au Congrès de la FNOSAD, Rennes, France.
- Sforcin J.M. (2016). Biological properties and therapeutic applications of propolis. *Phytotherapy Research*, 30(6), 894-905.
- Shankar N., Thapa S., Shrestha A.K., Sarkar P., Gaber M.W., Barrios R., Shivanna B. (2023). Hyperoxia disrupts lung lymphatic homeostasis in neonatal mice. *Antioxidants*, 12(3), 620.
- Sharifi-Rad M., Anil Kumar N.V., Zucca P., Varoni E.M., Dini L., Panzarini E., Sharifi-Rad J. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Frontiers in Physiology*, 11, 552535.
- Shen X. et al. (2024). The cellular and molecular targets of natural products against metabolic disorders. *MedComm*, 5(8), e664.
- Sies, H. (2017). Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. *Redox biology*, 11, 613-619.
- Sies H., Berndt C., Jones D.P. (2017). Oxidative stress. *Annual Review of Biochemistry*, 86, 715-748.
- Sies H., Jones D.P. (2020). Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(7), 363-383.
- Song F.L., Gan R.Y., Zhang Y., Xiao Q., Kuang L., Li H.B. (2010). Total phenolic contents and antioxidant capacities of selected Chinese medicinal plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(6), 2362-2372.
- Soni U., Jain V., Kumar S. (2014). Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 11-25.
- Sousa A.M.B., Abreu V.K.G., Ferreira A.G.N., Neto M.S., Dutra R.P., Pereira A.L.F. (2023). Propolis as a natural alternative for food preservation: an integrative review of its antioxidant and antibacterial effects. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, e27280.
- Stefan S.M., Rafehi M. (2024). Medicinal polypharmacology in the clinic. *Pharmaceutical Research*, 41(3), 411-417.

- Svetikiene D., Zamokas G., Jokubaite M., Marksa M., Ivanauskas L., Babickaite L., Ramanauskiene K. (2024). The comparative study of the antioxidant and antibacterial effects of propolis extracts in veterinary medicine. *Veterinary Sciences*, 11(8), 375.
- Šuran J., Cepanec I., Mašek T., Radić B., Radić S., Tlak Gajger I., Vlaineć J. (2021). Propolis extract and its bioactive compounds—From traditional to modern extraction technologies. *Molecules*, 26(10), 2930.

T

- Tan C., Sun F., Kong T., Zhang W., Yang C., Liu C. (2018). A survey on deep transfer learning. In *International Conference on Artificial Neural Networks*. Cham: Springer International Publishing.
- Taylor E., Kim Y., Zhang K., Chau L., Nguyen B.C., Rayalam S., Wang X. (2022). Antiaging mechanism of natural compounds: Effects on autophagy and oxidative stress. *Molecules*, 27(14), 4396.
- Teggat, N., Bakchiche, B., Abdel-Aziz, M. E. S., Bardaweel, S. K., & Ghareeb, M. A. (2023). Chemical Composition and Biological Evaluation of Algerian Propolis from Six Different Regions. *Jordan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(2).
- Touzani S., Al-Waili N., Laaroussi H., Aboulghazi A., Hamas N., Imtara H., Lyoussi B. (2025). Effect of propolis and honey in hyperglycemia-induced kidney and liver injuries, proteinuria, and oxidant and antioxidant parameters. *World Journal of Experimental Medicine*, 15(3), 99330.
- Traber M.G., Atkinson J. (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(1), 4-15.

U

- Ullah A., Aldakheel F.M., Anjum S.I., Raza G., Khan S.A., Gajger I.T. (2023). Pharmacological properties and therapeutic potential of honey bee venom. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(1), 96-109.

V

- Volpe C.M.O., Villar-Delfino P.H., Dos Anjos P.M.F., Nogueira-Machado J.A. (2018). Cellular death, reactive oxygen species (ROS) and diabetic complications. *Cell Death & Disease*, 9(2), 119.

W

- Willis R.B., Allen P.R. (1998). Improved method for measuring hydrolysable tannins using potassium iodate. *The Analyst*, 123(3), 435-439.
- Woźniak, M., Sip, A., Mrówczyńska, L., Broniarczyk, J., Waśkiewicz, A., & Ratajczak, I. (2022). Biological activity and chemical composition of propolis from various regions of Poland. *Molecules*, 28(1), 141.

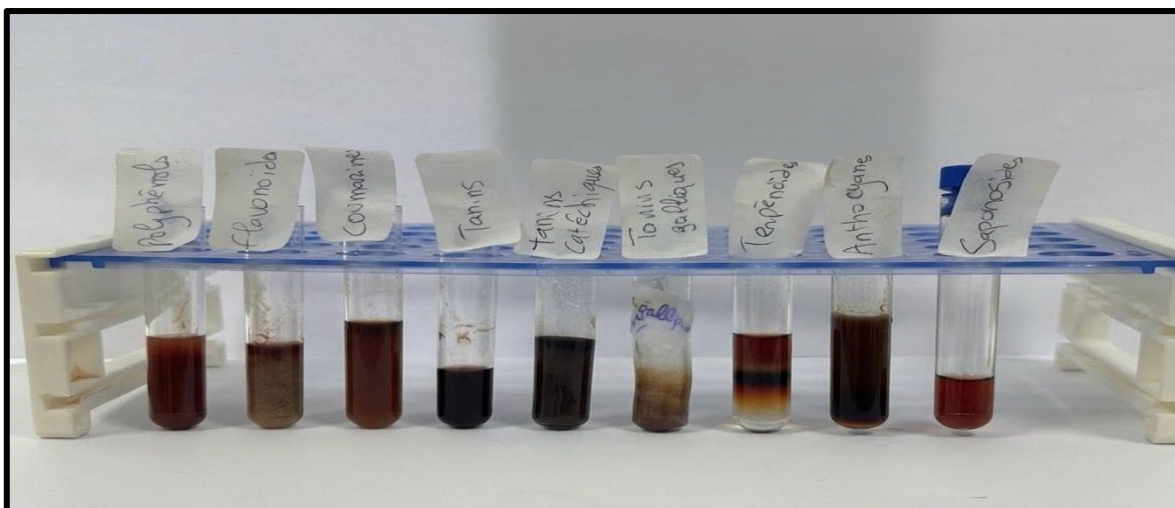
Y

- Yaribeygi H., Sathyapalan T., Atkin S.L., Sahebkar A. (2020). Molecular mechanisms linking oxidative stress and diabetes mellitus. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020(1), 8609213.

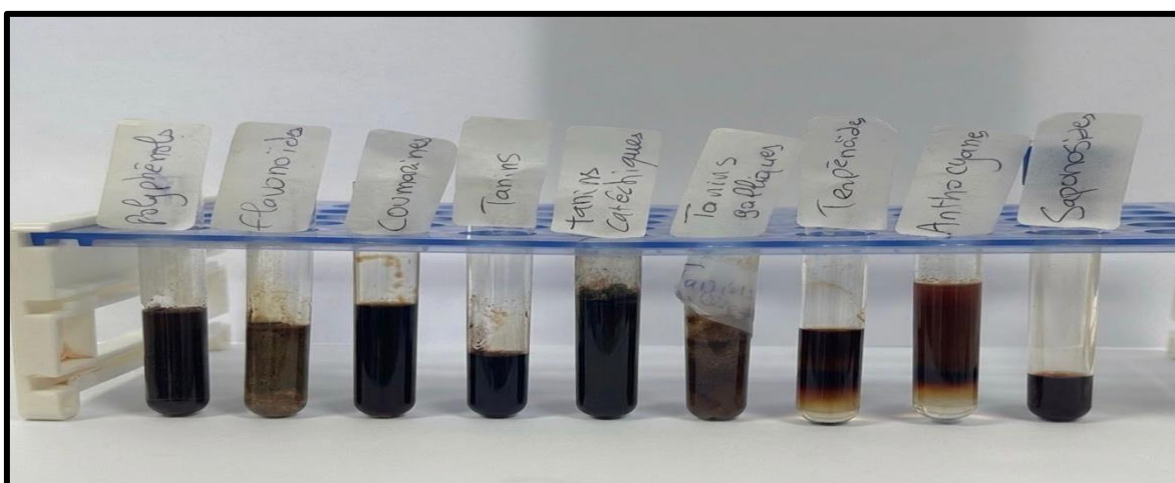
Z

- Zhao C.N. et al. (2019). Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions. *Antioxidants*, 8(7), 215.
- Zorov D.B., Juhaszova M., Sollott S.J. (2014). Mitochondrial reactive oxygen species (ROS) and ROS-induced ROS release. *Physiological Reviews*, 94(3), 909-950.
- Zuhlendri F., Felitti R., Fearnley J., Ravalía M. (2021). The use of propolis in dentistry, oral health, and medicine: A review. *Journal of Oral Biosciences*, 63(1), 23-34.
- Zuhlendri F., Chandrasekaran K., Kowacz M., Ravalía M., Kripal K., Fearnley J., Perera C.O. (2021). Antiviral, antibacterial, antifungal, and antiparasitic properties of propolis: A review. *Foods*, 10(6), 1360.
- Zulkiflee N., Taha H., Usman A. (2022). Propolis: its role and efficacy in human health and diseases. *Molecules*, 27(18), 6120.

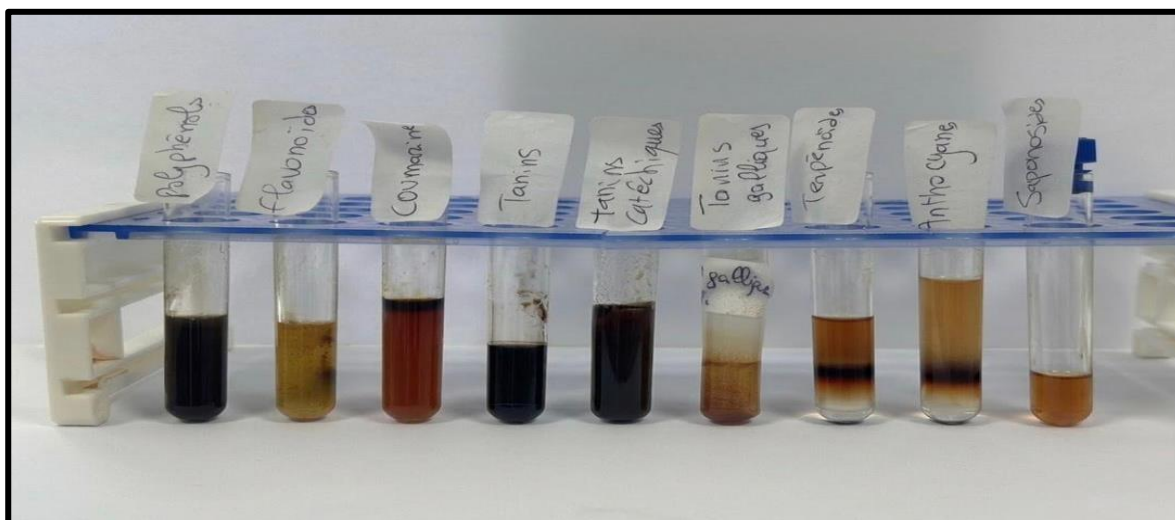
Annexes



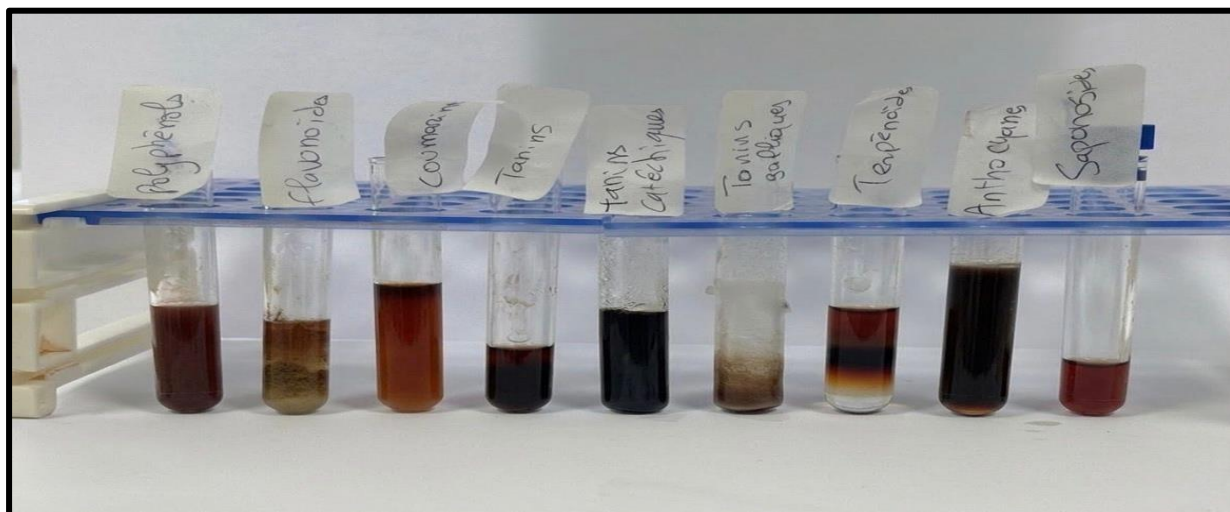
Annexe 1 : mise en évidence d'extrait hydro-éthanolique de Mostaganem



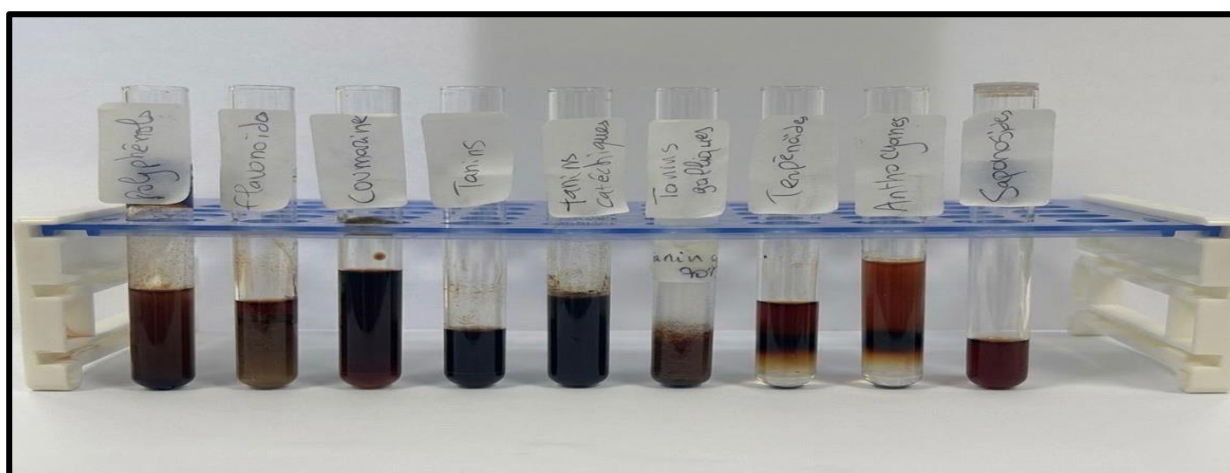
Annexe 2: mise en évidence d'extrait hydro-éthanolique d'Oran



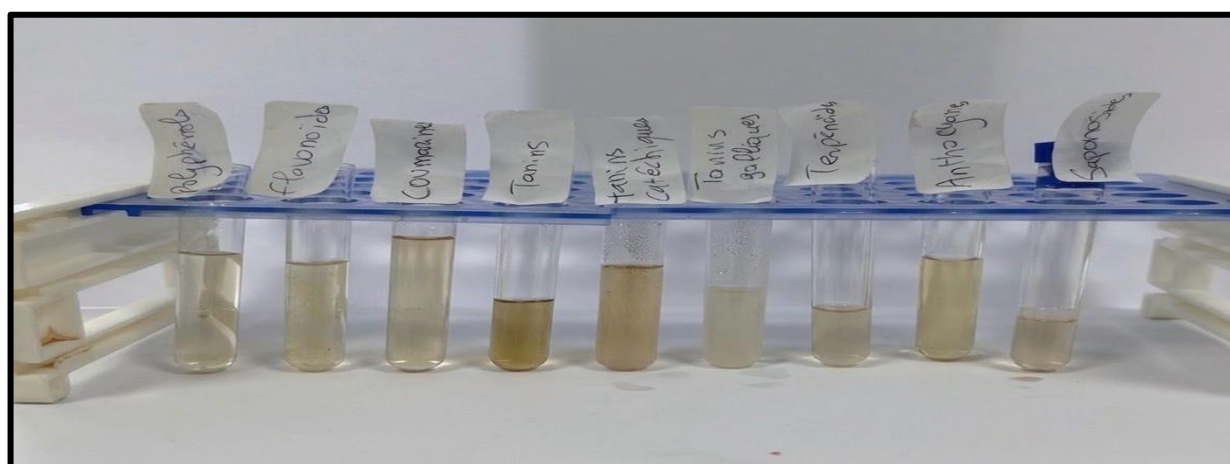
Annexe 3 : mise en évidence d'extrait hydro-éthanolique de Tlemcen



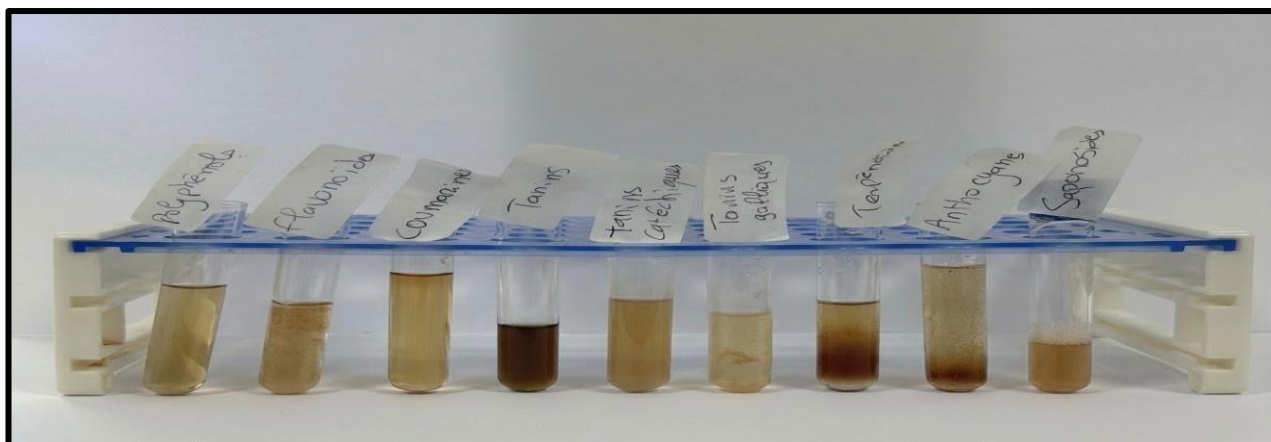
Annexe 4 : mise en évidence d'extrait hydro-éthanolique de Relizane



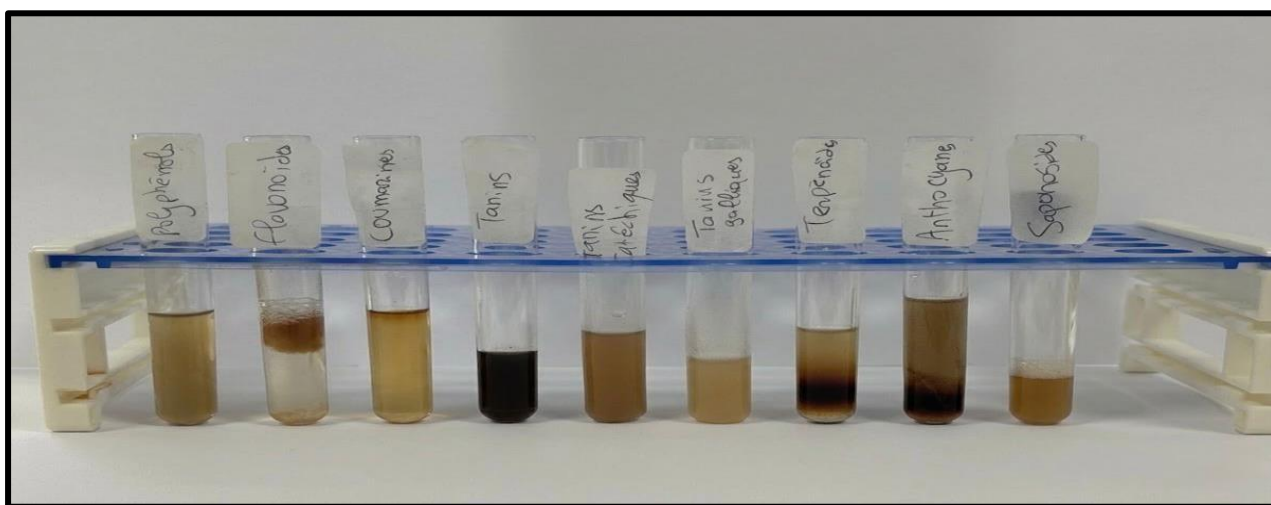
Annexe 5 : mise en évidence d'extrait hydro-éthanolique de Tiaret



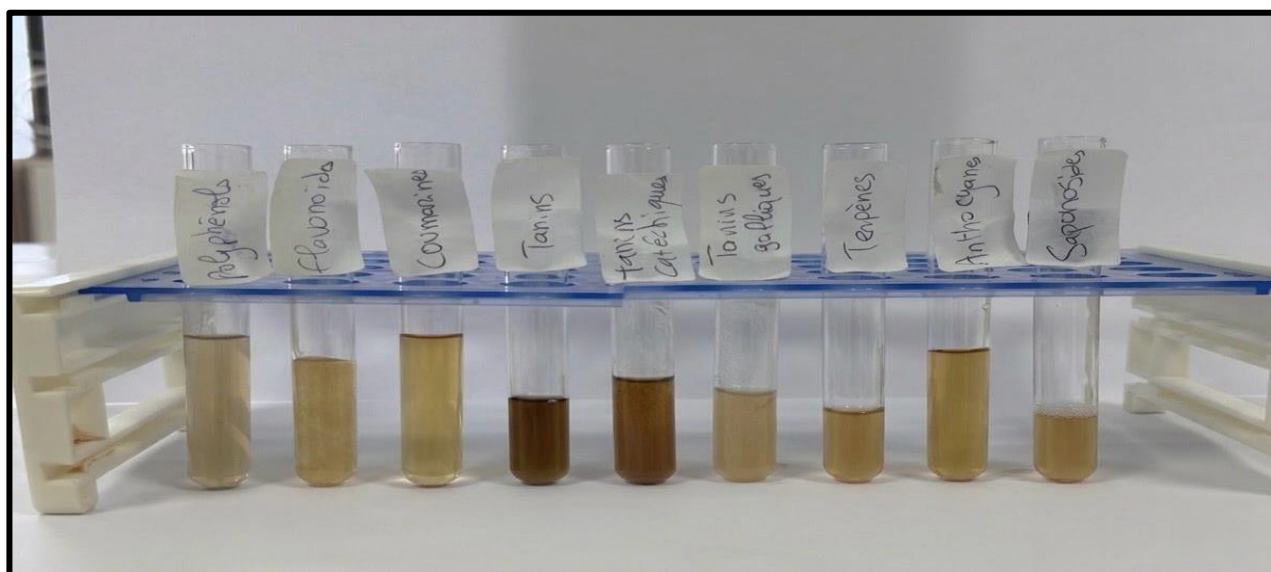
Annexe 6 : mise en évidence d'extrait aqueux de Mostaganem



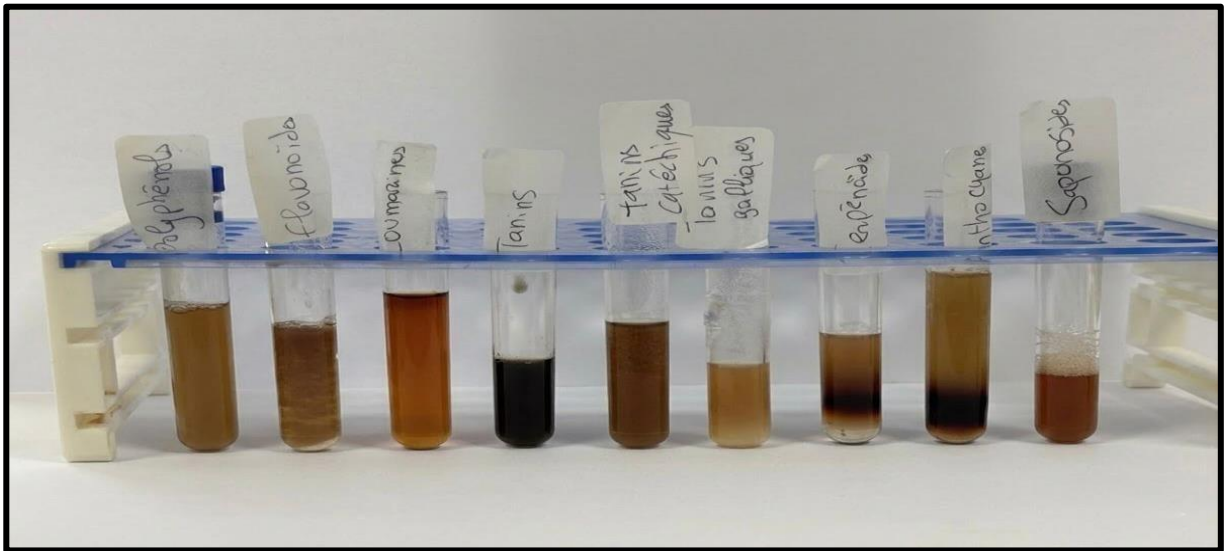
Annexe 7 : mise en évidence d'extrait aqueux d'Oran



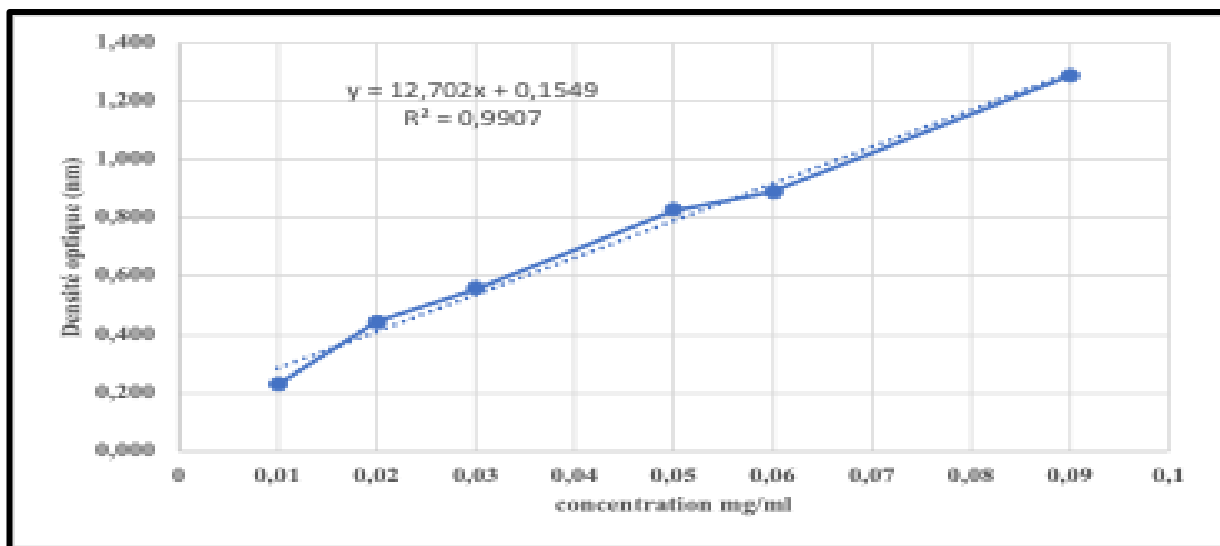
Annexe 8 : mise en évidence d'extrait aqueux de Tlemcen



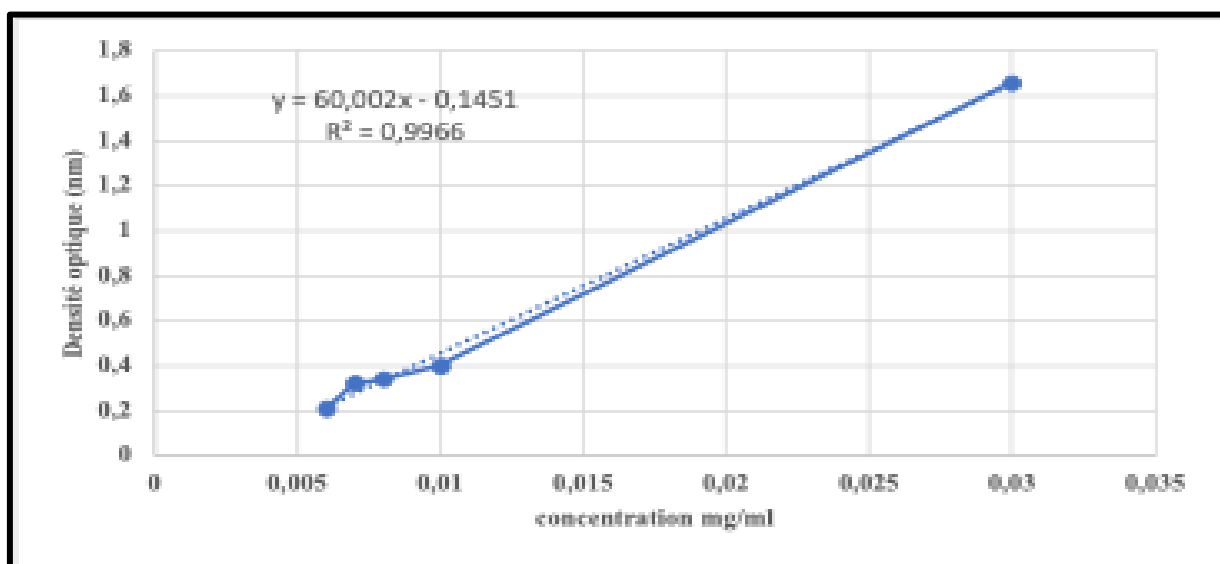
Annexe 9 : mise en évidence d'extrait aqueux de Relizane



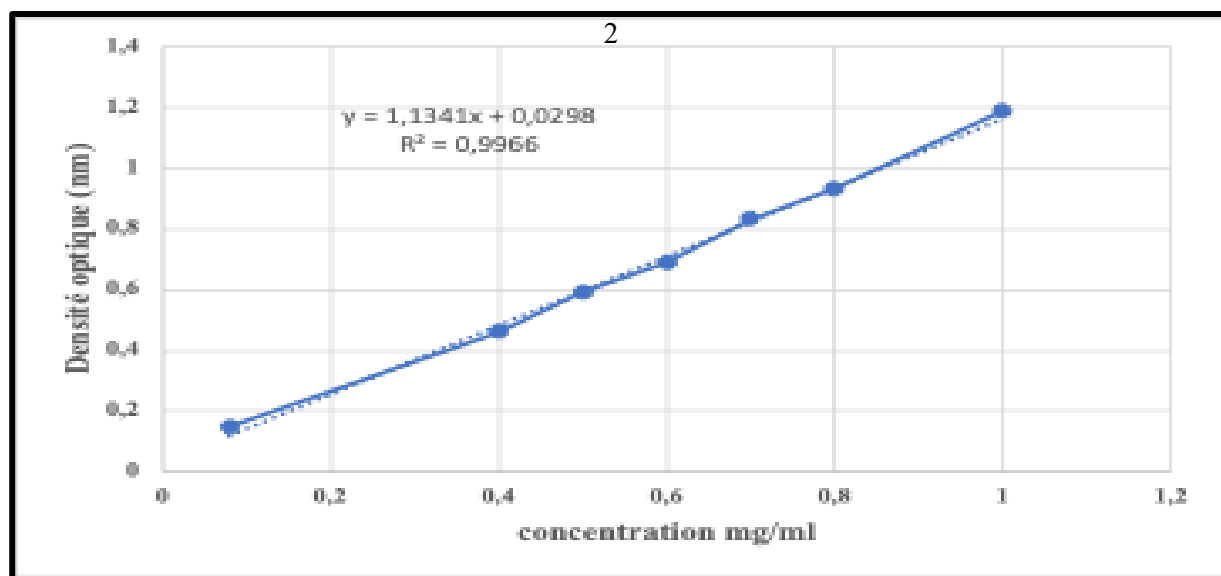
Annexe 10 : mise en évidence d'extraits aqueux de Tiaret



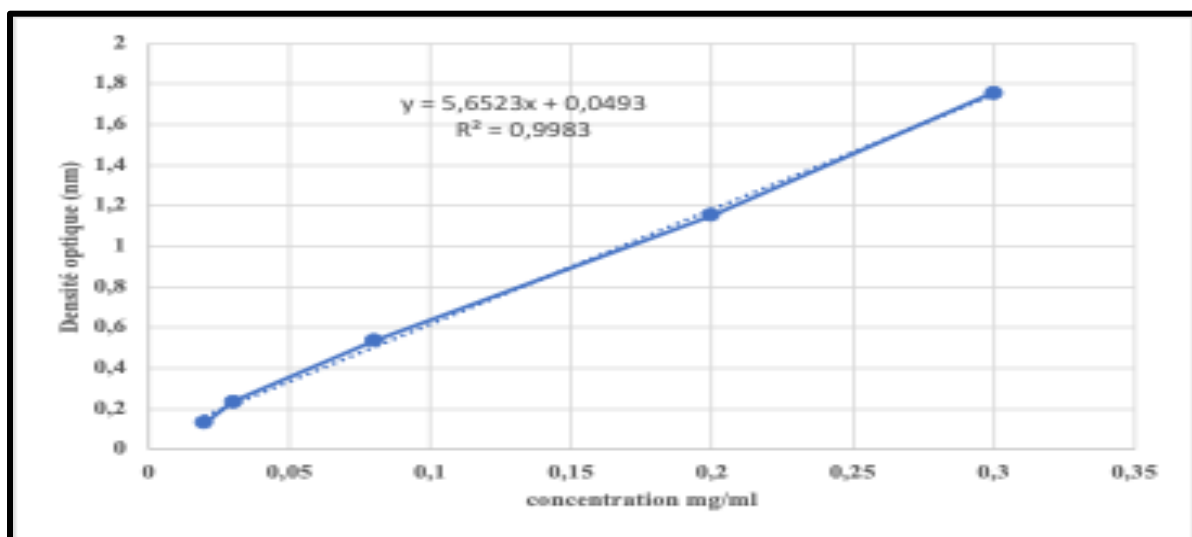
Annexe 11 : courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique



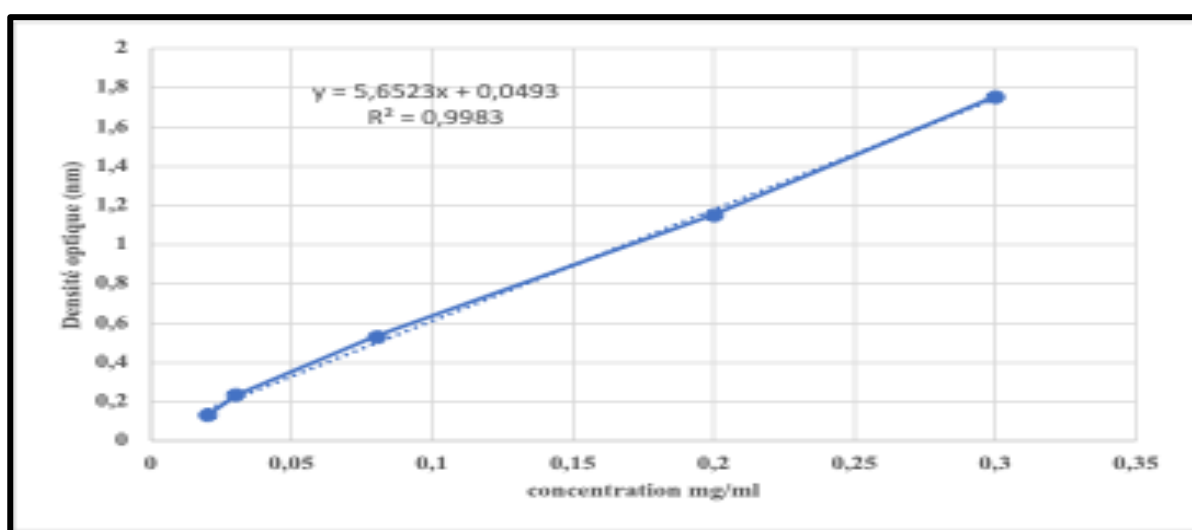
Annexe 12 : courbe d'étalonnage de la quercétine



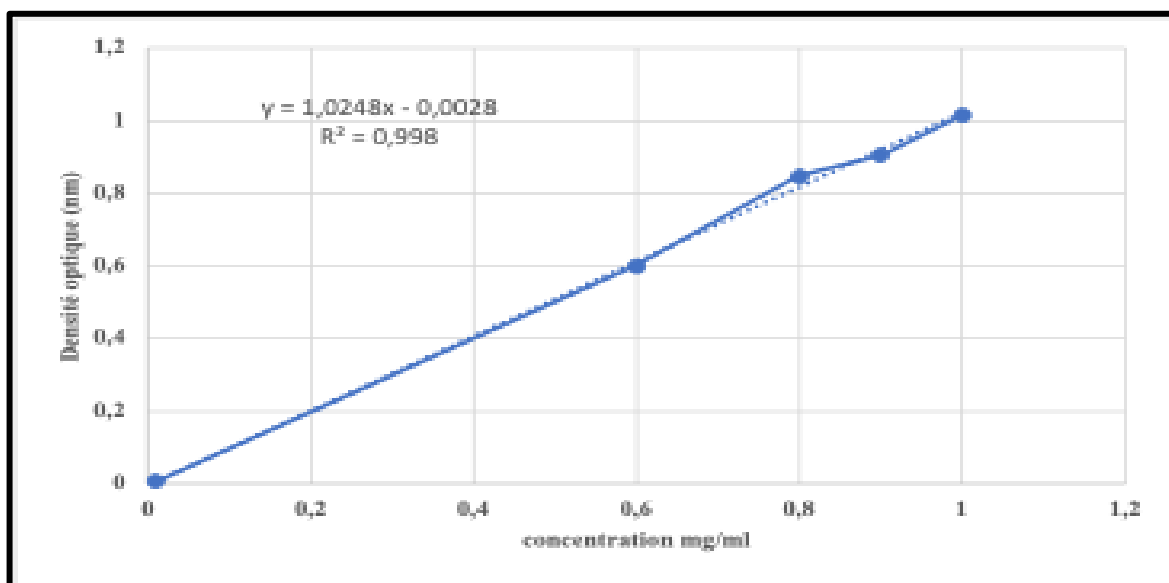
Annexe 13 : courbe d'étalonnage de la catéchine



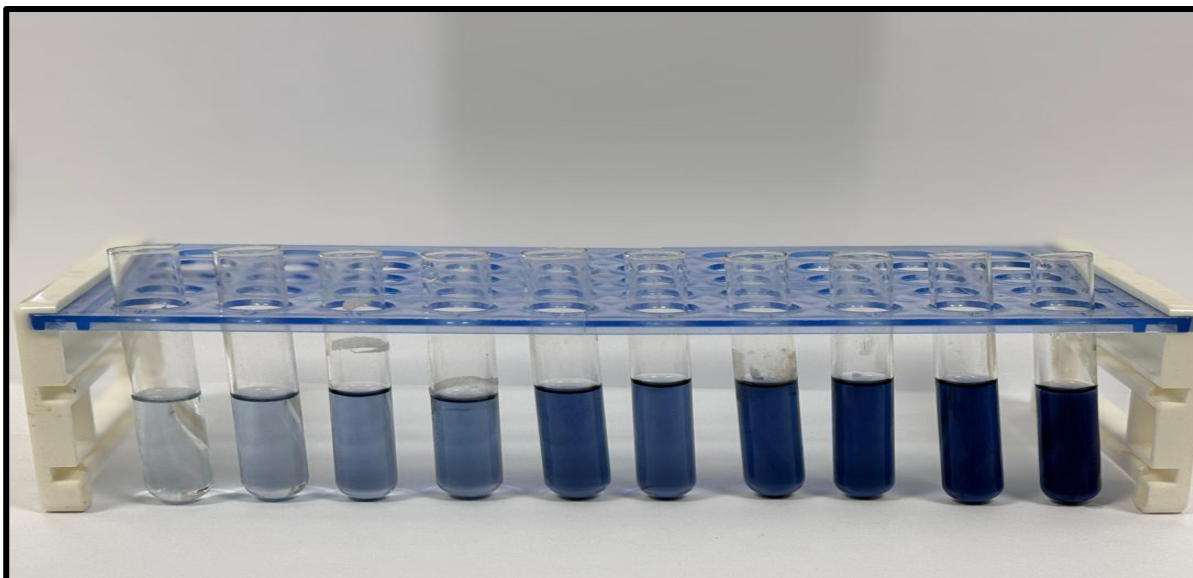
Annexe 14 : courbe d'étalonnage de l'acide tanique



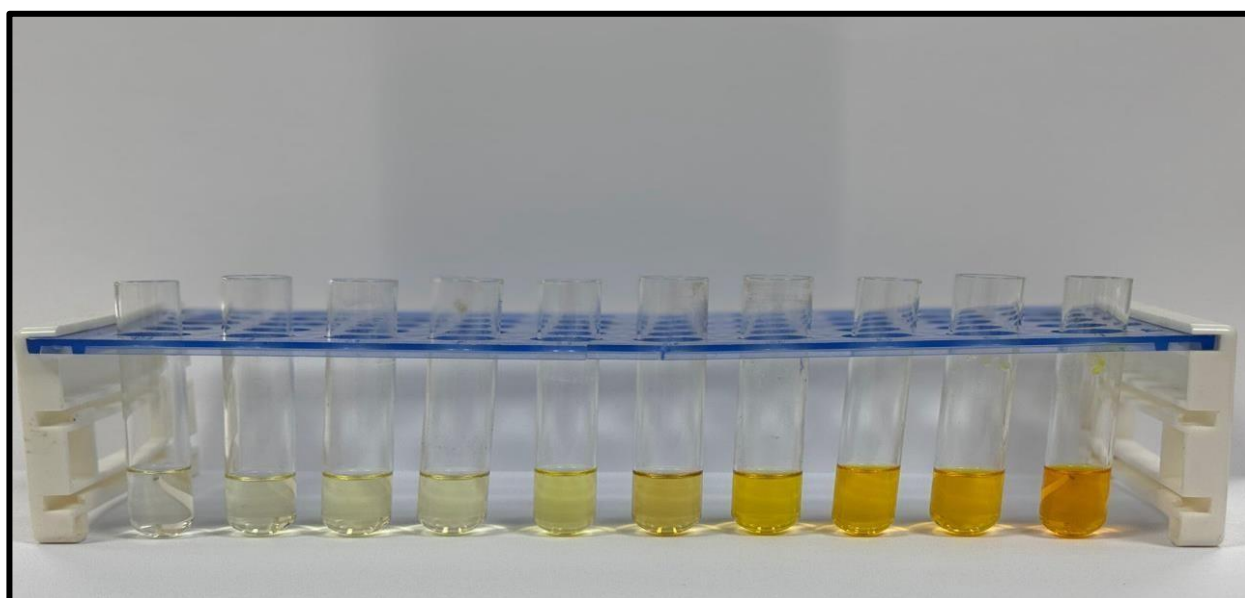
Annexe 15 : courbe d'étalonnage du maltose



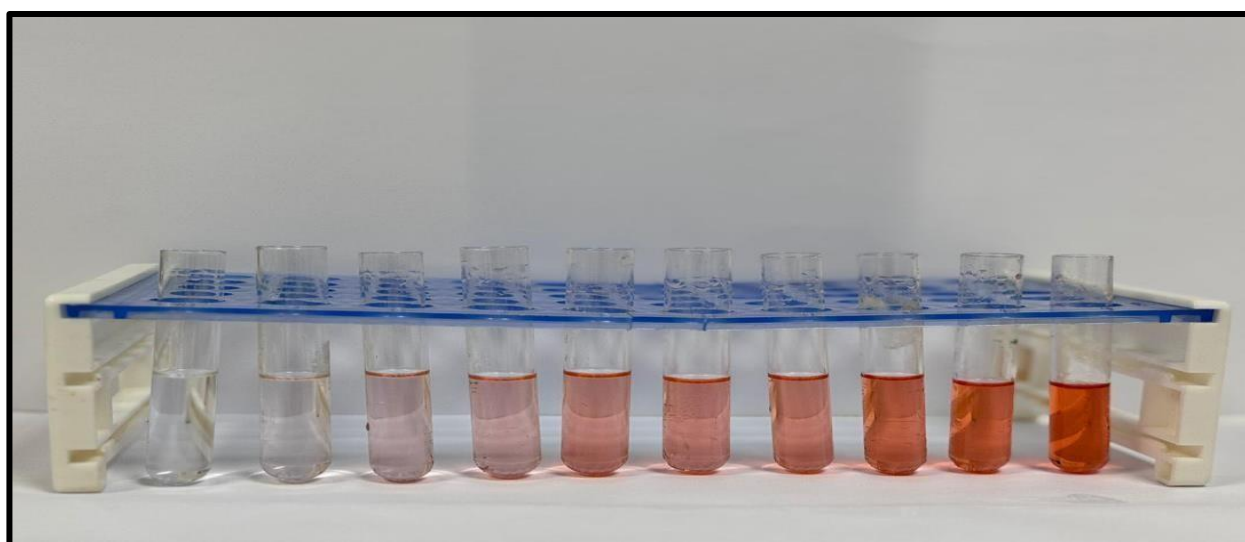
Annexe 16 : courbe d'étalonnage du maltose



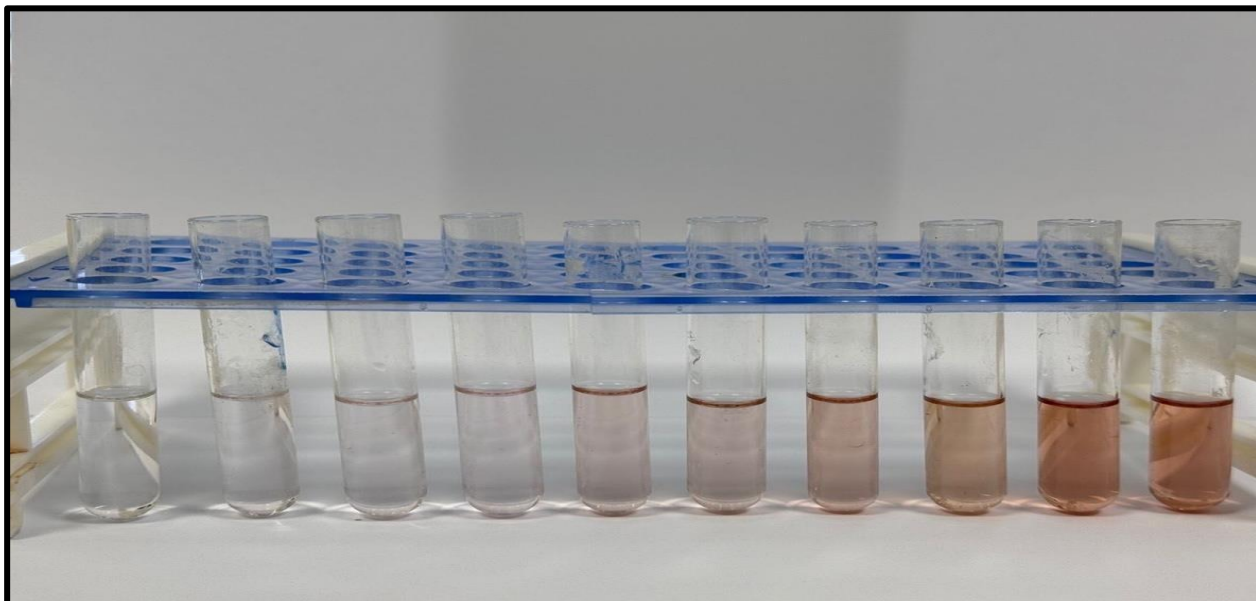
Annexe 17 : Gamme d'étalonnage des polyphénols



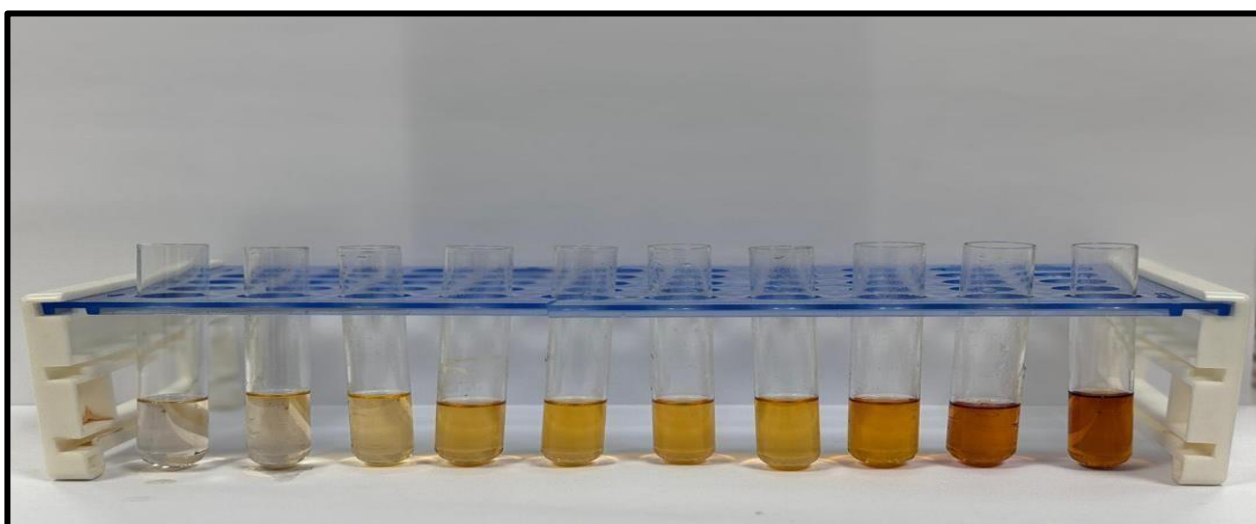
Annexe 18 : : Gamme d'étalonnage des flavonoïdes



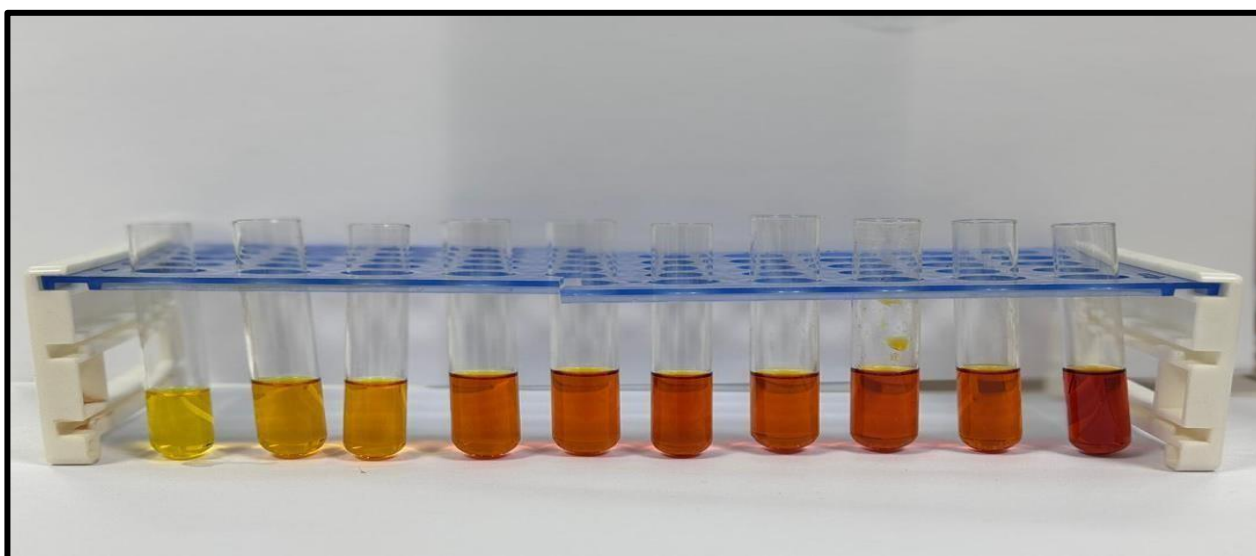
Annexe 19 : Gamme d'étalonnage des tanins condensés



Annexe 20 : Gamme d'étalonnage des tanins hydrolysables



Annexe 21 : Gamme d'étalonnage des sucres totaux



Annexe 22 : Gamme d'étalonnage des sucres réducteurs

Variété	Teneur (mg EAG/1g PS)
PT (Tlemcen)	333,433 ± 2,403
PM (Mostaganem)	42,253 ± 8,904 ***
PR (Relizane)	47,31 ± 0 ***
PTR (Tiaret)	160,285 ± 6,695 ***
PO (Oran)	185,95 ± 11,02 ***

Annexe 23 : teneurs en polyphénols totaux selon l'extrait hydro-éthanolique

Variété	Teneur (mg EAG/1g PS)
PT (Tlemcen)	9,743 ± 0,206
PM (Mostaganem)	1,926 ± 0,106 ***
PR (Relizane)	5,99 ± 0,586 ***
PTR (Tiaret)	8,39 ± 1,38
PO (Oran)	5,003 ± 0,125 ***

Annexe 24 : teneurs en polyphénols totaux selon l'extrait aqueux

Variété	Teneur (mg EQ/1g PS)
PT (Tlemcen)	32,03 ± 0,478
PM (Mostaganem)	10,01 ± 0,079 ***
PR (Relizane)	16,42 ± 0,734 ***
PTR (Tiaret)	20,32 ± 2,387 ***
PO (Oran)	12,54 ± 0,572 ***

Annexe 25 : le taux en flavonoïdes de l'extrait Hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EQ/1g PS)
PT (Tlemcen)	0,99 ± 0,010 ***
PM (Mostaganem)	0,12 ± 0,015 ***
PR (Relizane)	0,79 ± 0,006 *
PTR (Tiaret)	1,83 ± 0,026 ***
PO (Oran)	0,72 ± 0,153 **

Annexe 26 : le taux en flavonoïdes de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EC/1g PS)
PT (Tlemcen)	0,62 ± 0,102
PM (Mostaganem)	9,44 ± 0,734 ***
PR (Relizane)	30,43 ± 1,200 ***
PTR (Tiaret)	46,94 ± 0,177 ***
PO (Oran)	37,36 ± 2,219 ***

Annexe 27 : le taux en tanins condensés de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EC/1g PS)
PT (Tlemcen)	2,12 ± 0,036
PM (Mostaganem)	0,23 ± 0,050
PR (Relizane)	0,62 ± 0,088
PTR (Tiaret)	4,74 ± 1,415 *
PO (Oran)	0,96 ± 0,127

Annexe 28 : le taux en tanins condensés de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EAT/1g PS)
PT (Tlemcen)	68,5385 ± 3,502
PM (Mostaganem)	0,248 ± 0
PR (Relizane)	0,955 ± 0,612
PTR (Tiaret)	0,602 ± 0 ***
PO (Oran)	45,238 ± 0 ***

Annexe 29 : le taux en tanins hydrolysables t de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EAT/1g PS)
PT (Tlemcen)	0,344 ± 0,022
PM (Mostaganem)	0,11± 0,078 ***
PR (Relizane)	0,46 ± 0,078 ***
PTR (Tiaret)	0,414 ± 0,030
PO (Oran)	0,2676 ± 0,023 ***

Annexe 30 : le taux en tanins hydrolysables de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EM/1g PS)
PT (Tlemcen)	272,59 ± 6,901
PM (Mostaganem)	276,95 ± 2,897
PR (Relizane)	963,74 ± 79,774 ***
PTR (Tiaret)	194,38 ± 7,796
PO (Oran)	521,44 ± 54,055 ***

Annexes 31 : le taux en sucres totaux de l'extrait hydro éthanolique de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EM/1g PS)
PT (Tlemcen)	17,94 ± 3,539
PM (Mostaganem)	0,60 ± 0,354
PR (Relizane)	554,46 ± 30,024 ***
PTR (Tiaret)	241,91 ± 24,085 ***
PO (Oran)	27,49 ± 0,501

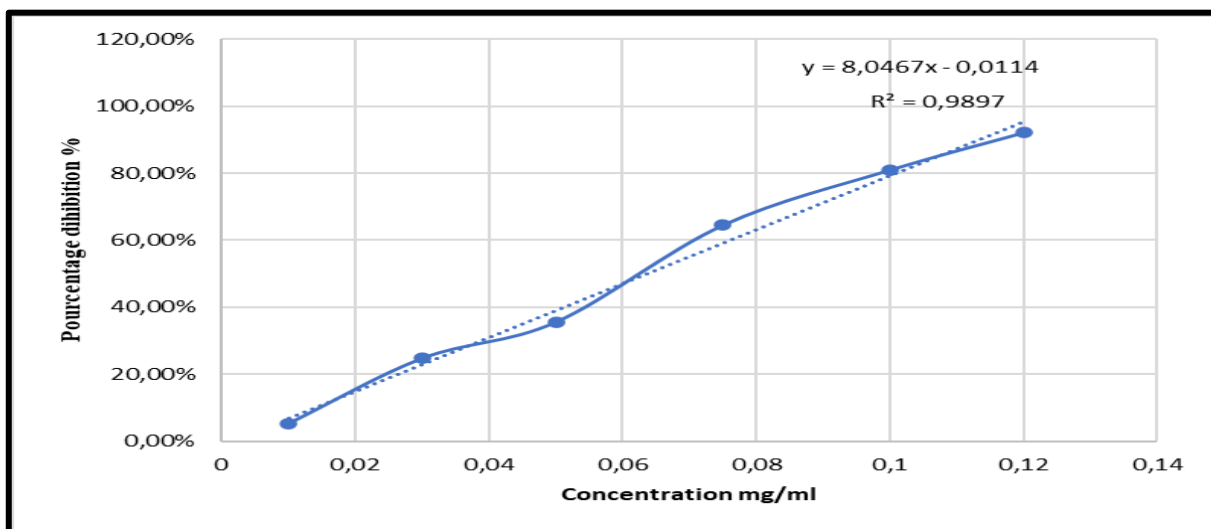
Annexe 32 : le taux en sucres totaux de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EM/1g PS)
PT (Tlemcen)	207,78 ± 12,395
PM (Mostaganem)	259,56 ± 13,803 ***
PR (Relizane)	490,63 ± 9,758 ***
PTR (Tiaret)	192,80 ± 2
PO (Oran)	302,76 ± 4,911 ***

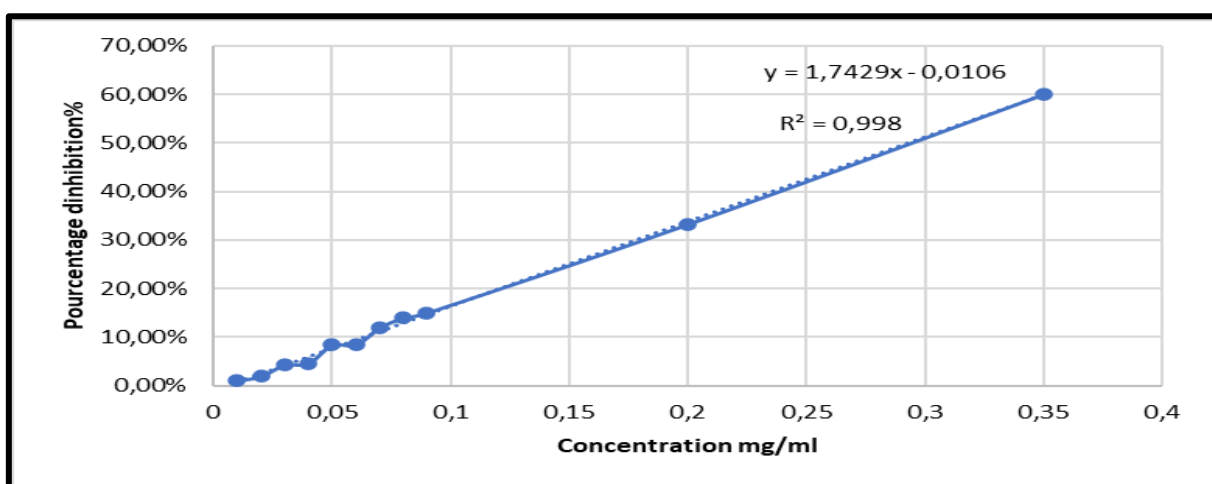
Annexe 33 : le taux en sucres réducteurs de l'extrait hydro-éthanolique de la propolis de différentes variétés

Variété	Teneur (mg EM/1g PS)
PT (Tlemcen)	7,75 ± 0,113
PM (Mostaganem)	0,52 ± 0,021 ***
PR (Relizane)	5,38 ± 0,057 ***
PTR (Tiaret)	23,64 ± 0,406 ***
PO (Oran)	2 ± 0,203 ***

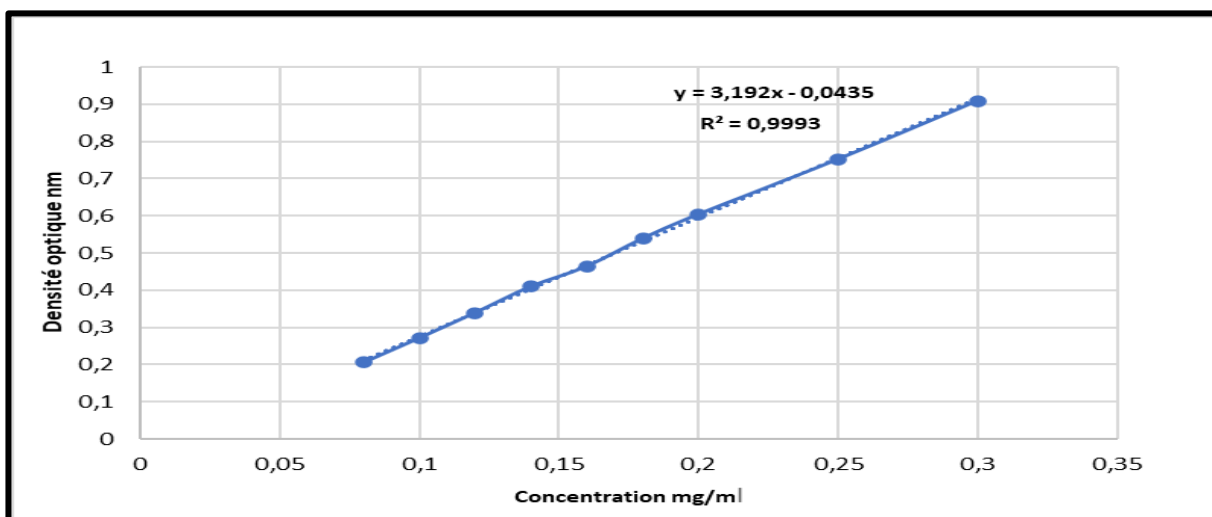
Annexe 34 : le taux en sucres réducteurs de l'extrait aqueux de la propolis de différentes variétés



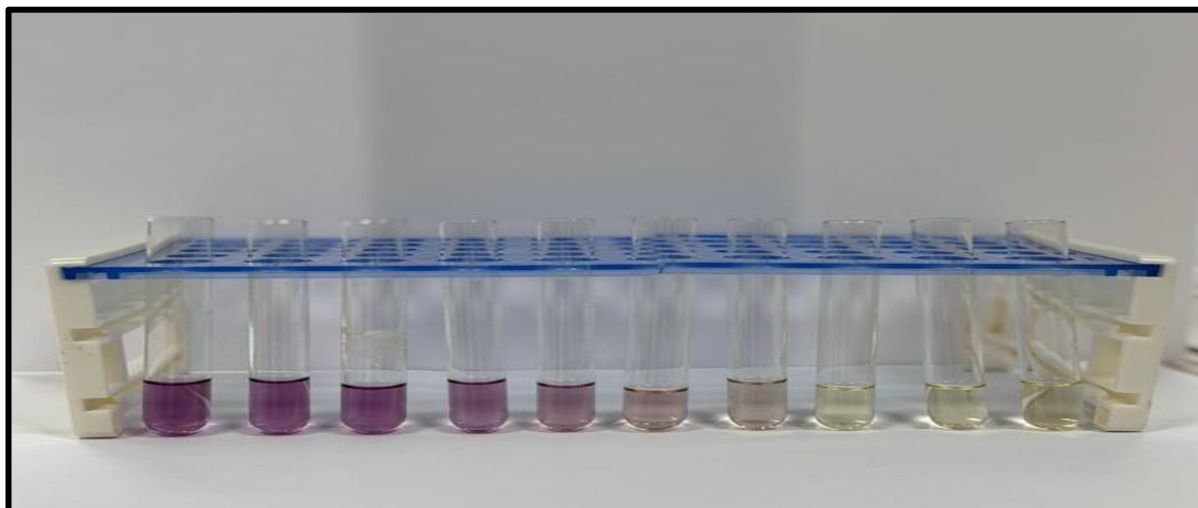
Annexe 35 : Pourcentage d'inhibition de DPPH en fonctions des différentes concentrations utilisés d'acide ascorbique



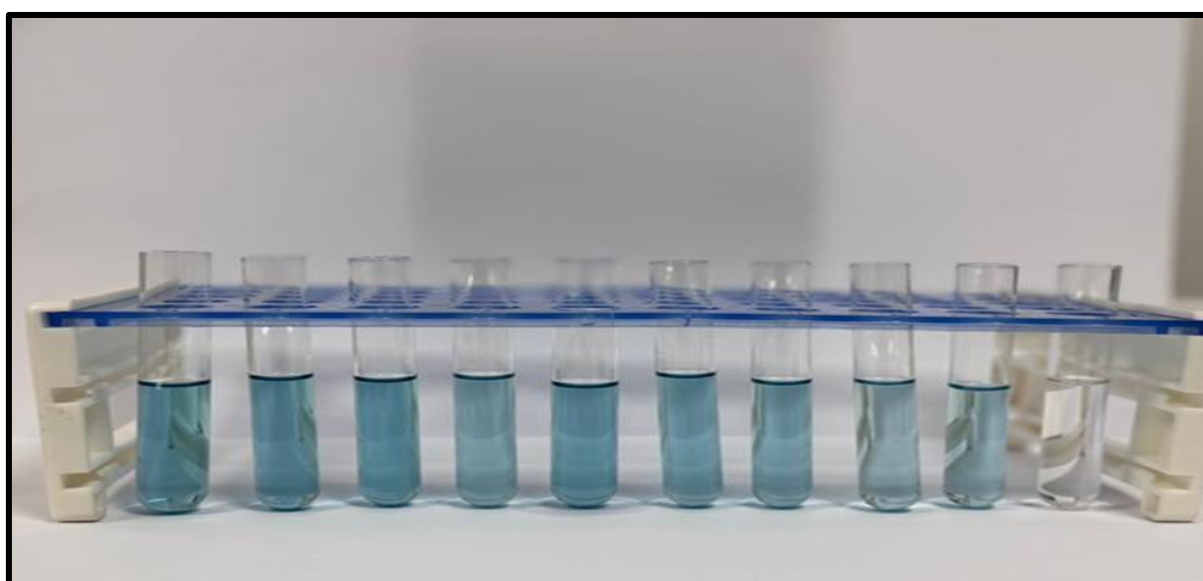
Annexe 36 : Pourcentage d'inhibition de ABTS en fonctions des différentes concentrations utilisés de trolox



Annexe 37 : Courbe d'étalonnage de capacité antioxydante totale (CAT) de l'acide ascorbique



Annexe 38 : Gamme d'étalonnage de DPPH de l'acide ascorbique



Annexe 39 : Gamme d'étalonnage de ABTS de Trolox



Annexe 40: Gamme d'étalonnage de CAT de l'acide ascorbique