



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي
Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED
كلية العلوم الطبيعية والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا
Département de Biologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Biodiversité et Environnement

THEME

*Utilisation des produits d'abeille dans des
régions sahariennes*

Présenté par les étudiantes :

* BOURAS Amna

* LAKEHAL Hadda

Devant le jury composé de :

Promotrice : Dr. BEN AMOR Safia Ecole Supérieure d'Agriculture Saharienne à El Oued
Présidente : Dr. GHARIB Amina Université Echahid Hamma Lakdhar à EL OUED
Examinatrice : Dr. SERRAYE Aicha Université Echahid Hamma Lakdhar à EL OUED

Soutenu le :27 Mai 2025

Année universitaire :2024/2025

Résumé

L'apiculture prend de plus en plus d'importance dans l'économie rurale en Algérie, notamment grâce à l'intérêt croissant pour les produits apicoles tels que le miel de miellat. Ce travail a été entrepris pour examiner les propriétés physico-chimiques et biologiques d'un échantillon de miel de miellat produit par *Apis mellifera intermissa*. Les résultats des évaluations physico-chimiques ont démontré que l'échantillon étudié est de bonne qualité : pH légèrement acide ($4,46 \pm 0,04$), faible humidité ($16,90 \pm 0,06$ %), conductivité élevée ($0,906 \pm 0,001$ mS/cm) et teinte sombre ($150 \pm 0,84$ mm Pfund), ce qui témoigne d'une richesse minérale caractéristique du miel de miellat.

L'analyse des substances antioxydantes a révélé une forte concentration de polyphénols totaux ($285 \pm 0,008$ mg EAG/100 g) et une présence significative de flavonoïdes, ce qui confère au miel un pouvoir antioxydant considérable, corroboré par les essais DPPH et FRAP.

L'analyse de l'activité anti-inflammatoire, fondée sur la dénaturation des protéines, a révélé une inhibition notable, comparable à celle de l'aspirine.

Pour finir, le miel de miellat a prouvé son efficacité antibactérienne contre différentes souches pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*.

Ces observations attestent du potentiel curatif du miel de miellat, notamment pour ses effets antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiens, et mettent l'accent sur l'importance de promouvoir ce produit apicole dans les secteurs de la santé et de la nutrition.

Mots clé : Miel de miellat, *Apis mellifera intermissa*, Analyse physico-chimique, Dosage des antioxydants, Activités biologiques.

Summary

Beekeeping is becoming increasingly important in the rural economy of Algeria, thanks in particular to the growing interest in beekeeping products such as honeydew honey. This work was undertaken to examine the physico-chemical and biological properties of a sample of honeydew honey produced by *Apis mellifera intermissa*.

The results of the physico-chemical evaluations showed that the sample studied was of good quality: slightly acidic pH (4.46 ± 0.04), low humidity ($16.90 \pm 0.06\%$), high conductivity (0.906 ± 0.001 mS/cm) and dark hue (150 ± 0.84 mm Pfund), indicating a mineral richness characteristic of honeydew honey.

Analysis of antioxidant substances revealed a high concentration of total polyphenols (285 ± 0.008 mg EAG/100 g) and a significant presence of flavonoids, giving honey considerable antioxidant power, corroborated by DPPH and FRAP tests.

Analysis of anti-inflammatory activity, based on protein denaturation, revealed significant inhibition, comparable to that of aspirin.

Finally, honeydew honey proved its antibacterial efficacy against various pathogenic strains such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*.

These observations attest to the curative potential of honeydew honey, particularly for its antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial effects, and highlight the importance of promoting this beekeeping product in the health and nutrition sectors.

Key words: Honeydew honey, *Apis mellifera intermissa*, Physicochemical analysis, Antioxidant assay, Biological activities.

ملخص

أصبحت تربية النحل ذات أهمية متزايدة في الاقتصاد الريفي في الجزائر، وذلك بفضل الاهتمام المتزايد بمنتجات تربية النحل مثل عسل النحل. تم القيام بهذا العمل لفحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لعينة من عسل النحل الذي تنتجه أبيس ميليفيرا إنترميسا.

أظهرت نتائج التقييمات الفيزيائية والكيميائية أن العينة المدروسة كانت ذات نوعية جيدة: درجة حموضة حمضية طفيفة (0.04 ± 4.46)، ورطوبة منخفضة ($16.90 \pm 0.06\%$)، وموصلية عالية (0.906 ± 0.001 مللي ثانية/سم) ودرجة لون داكنة (150 ± 0.84 ملم بوند)، مما يشير إلى ثراء معدني مميز لعسل الندى.

كشفت تحليل المواد المضادة للأكسدة عن وجود تركيز عالٍ من البوليفينول الكلي (285 ± 0.008) مجم EAG/100 جم (وجود كبير للفلافونويد، مما يعطي العسل قوة كبيرة مضادة للأكسدة، وهو ما أكدته اختبارات DPPH و FRAP. كشفت تحليل النشاط المضاد للالتهابات، استناداً إلى تَمَسَخ البروتين، عن تثبيط كبير يضاهي نشاط الأسبرين.

وأخيراً، أثبت عسل النحل فعاليته المضادة للبكتيريا ضد سلالات ممرضة مختلفة مثل المكورات العنقودية الذهبية، والإشريكية القولونية، والعصيات الرقيقة والزائفة الزنجارية.

وتشهد هذه الملاحظات على الإمكانيات العلاجية لعسل النحل، لا سيما تأثيراته المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات والمضادة للميكروبات، وتسلط الضوء على أهمية الترويج لهذا المنتج الذي يُستخدم في تربية النحل في قطاعي الصحة والتغذية.

الكلمات المفتاحية: عسل النحل، أبيس ميليفيرا إنترميسا، التحليل الفيزيائي الكيميائي، اختبار مضادات الأكسدة، الأنشطة البيولوجية.

Remerciement

Ce travail de mémoire a été réalisé au Laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à EL Oued.

Les objectifs fixés par cette étude ont été atteints grâce à l'aide et l'encouragement de nombreux collaborateurs dont les mots ne suffisent pas pour les remercier.

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre directrice de thèse, Mme **BEN AMOR Safia**, pour tout le temps qu'elle a consacré à nos travaux et pour la confiance qu'elle nous a témoignée tout au long de ce processus. Madame, vos conseils et votre soutien nous ont permis de mener à bien cette étude passionnante à vos côtés. Veuillez accepter nos sincères remerciements.*

Je remercie également :

***Madame Dr GHARIB Amina** la présidente pour nos avoir fait l'honneur de présider mon jury de mémoire. Veuillez croire cher Monsieur à notre profond respect.*

*Mes remerciements vont aussi à **Madame Dr. SERRAYE Aicha**, d'avoir eu l'amabilité d'accepter de partager sa connaissance et de faire partie de mon Jury en qualité d'examinatrice.*

*On désire aussi remercier les professeurs et le cadre administratif et les ingénieurs de laboratoires y compris **SANA** (responsable des laboratoires) **Salma, Omar, Afaf, Mouna, Sultane, et Latifa** de l'université Echahid Hamma Lakhadar El oued, qui nos ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.*

On tient à remercier vivement toutes les personnes qui ont participé au succès de notre stage et qui nous ont apportée lors de la rédaction de ce mémoire.

Enfin, on remercie tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا"

– سورة طه، الآية 114

À ceux qui, après Dieu, ont été le secret de cette réussite et ceux qui ont planté les graines de l'espoir dans mon cœur et les ont arrosées de prières et d'amour,

À ceux qui ont été la lumière dans l'obscurité des jours et le soutien dans toutes les étapes du chemin...

À *ma mère* bien-aimée, la fontaine de tendresse et l'adresse du don,

À *mon père*, qui a instillé dans mon cœur l'amour de la lutte, m'a tracé le chemin de l'ambition, la source de force et les modèles dans ma vie,

À *mes frères*, mes compagnons de route et mes premiers soutiens,

À *mon encadrant*, M. [Ben Amor Safia], Je vous remercie sincèrement pour votre encadrement et votre soutien tout au long de la réalisation de ce travail. Votre savoir et vos encouragements ont grandement contribué à sa réussite.

À *ma chère collègue* [Hadda Lakehal], une compagne dans les longues heures de travail, la détenteuse d'un mot gentil et d'un soutien sincère, ta présence a eu un impact inoubliable sur mon parcours.

À *mes amis* qui ont été ma deuxième famille, sincères dans leur amour, sincères dans leur soutien, ils ont été les meilleurs compagnons pour le voyage d'apprentissage, et ont allégé le fardeau de la route avec des rires sincères

Et à mon fiancé, le compagnon des jours à venir, qui a été à mes côtés avec son cœur, sa voix et ses prières.

AMINA

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا"

– سورة طه، الآية 144

Louange à Allah, par Sa grâce les bonnes actions s’accomplissent; et celui qui dit : « Je suis à la hauteur », l’atteindra.

Avec amour, gratitude et une profonde reconnaissance, je remercie Allah qui m’a permis aujourd’hui de voir un rêve longtemps attendu devenir une réalité dont je suis fière .

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude à :

Ma **chère mère**, dont la tendresse m’a nourrie et dont la chaleur m’a protégée. Les mots ne sauraient exprimer la place qu’elle occupe dans mon cœur. Elle rêvait de me voir réussir en ce jour... Je prie Allah de la préserver et de lui accorder santé et bien-être .

Mon **cher père**, pilier de ma vie, ma fierté et ma dignité, qui a tant sacrifié, et dont la lumière éclairait notre chemin vers la science et le savoir. Qu’Allah lui accorde longue vie, santé et sérénité .

Mes **frères** et **sœurs**, ce lien solide et ce soutien inestimable que Dieu m’a accordé dans cette vie. Leur présence à mes côtés a été d’un immense secours à toutes les étapes.

"Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma professeure encadrante, Mme [**Ben Amor Safia**], pour son accompagnement, ses conseils précieux et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Merci infiniment pour votre bienveillance et votre disponibilité".

Ma compagne de route, qui m’a soutenue dans ce parcours académique, épaule contre épaule, avec détermination, patience et persévérance : **Amina** .

HADDA

TABLE DES MATIERES

RESUME

ABSTRACT

ملخص

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE.1. Généralité 3

1.L'Abeille Mellifère (Apis mellifera) 3

1.2. Distribution géographique d'Apis mellifera 4

1.3. Importance Socio-économique et Écologique de l'Abeille..... 6

1.3.1. Rôle Prépondérant dans la Reproduction des Plantes Cultivées et Sauvages..... 6

1.3.2. La Diversité des Produits Issus de la Ruche 6

1.3.2.1. Le Pollen : Source Azotée Essentielle de la Ruche 6

1.3.2.2. La Gelée Royale : Sécrétion Nourricière des Jeunes Abeilles 7

1.3.2.3. La Propolis : Bouclier Naturel de la Ruche 7

1.3.2.4. La Cire d'Abeille : Matériau Polyvalent de la Ruche 8

1.3.2.5. Le Venin d'Abeille : Produit Minoritaire aux Applications Diverses..... 9

1.3.2.6. Le Miel : Nectar Transformé, Trésor Naturel 9

1.3.3. Fabrication du miel 10

1.3.3.1. Le travail des abeilles 10

1.3.3.2. Le travail des apiculteurs 10

PARTIE II : Miel du miellat..... 12

2.1. Introduction..... 12

2.2. Origine et Production du Miel de Miellat 12

2.3. Composition Chimique du Miel de Miellat 13

2.4. Propriétés Antioxydantes 13

2.5. Activité Antimicrobienne..... 13

2.6. Activité anti-inflammatoire	14
2.7. Activité antidiabétique	14
PARTIE III : Aspects toxicologiques et limites d'utilisation	15
3.1. Risques liés à la présence de contaminants.....	15
3.1.1. Antibiotiques.....	15
3.1.2. Pesticides.....	15
3.1.3. Métaux lourds	15
3.1.4. Risques microbiologiques (Clostridium botulinum).....	15
3.1.5. Risques allergiques	16
3.1.6. Contre-indications chez certaines populations (nourrissons, diabétiques)	16
PARTIE IV : Perspectives de valorisation du miel	17
4.1. Extraction de composés bioactifs à partir du miel	17
4.2. Développement de nouveaux produits à base de miel	17
4.2.1. Produits alimentaires fonctionnels	17
4.2.2. Produits cosmétiques et soins de la peau	18
4.2.3. Dispositifs médicaux à base de miel	18
4.3. Orientation vers la naturalité et les marchés biologiques	19
4.4. Intégration du miel dans l'industrie des aliments fonctionnels	19
4.5. Recherche actuelle et tendances futures	19

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1.Objectif du travail	20
2.Méthodologie de l'enquête sur l'utilisation des produits de la ruche	20
3. Matériels utilisés	21
3.1. Matériel biologique	21
3.1.1. L'échantillon.....	21
3.1.2. Les souches bactériennes	21
3.2. Matériel non biologique	22
4. Méthodes	22
Partie 1. Les analyses physico-chimiques	22
1.1. Le pH	22

1.2. Le taux de cendre	22
1.3. La Teneur en eau	23
1.4. La conductivité électrique.....	23
1.5. Détermination de la couleur	24
Partie 2 : Dosage des antioxydants	25
2.1. Dosage des polyphénols totaux	25
2.2. Dosage des flavonoïdes	26
Partie 3 : Les activités biologiques	26
3.1. Activité antioxydante	26
3.1.1. Test de DPPH.....	26
3.1.2. FRAP.....	27
3.1.3. Activité anti-inflammatoire in vitro	27
3.1.4. Activité antibactérienne	28
4. Analyses statistiques	29

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

Partie I. Analyse de l'enquête d'utilisation des produits de la ruche.....	30
I.1. Méthodes d'utilisation du miel en fonction de l'âge	30
I.2. Les produits à base de miel utilisés selon l'âge.....	31
I.3. Critères d'achat du miel selon l'âge	32
I.4. Les types de miel utilisés selon les tranches d'âge.....	32
Partie II. Analyse des paramètres physico-chimiques	34
II.1. pH.....	35
II.2. Teneur en eau	35
II.3. Conductivité électrique	36
II.4. Taux de cendre	36
II.5. Intensité de la couleur	36
Partie III. Dosage des antioxydants	37
III.1. Teneur en polyphénols.....	37
III.2. Teneur en flavonoïdes	38
Partie IV : Propriétés biologiques	40
IV.1. Activité antioxydante	40

IV.1.1. DPPH	40
IV.1.2. FRAP	41
IV.2. Activité antiinflammatoire	41
IV.3. Activité antibactérienne	42
DISCUSSIONS GENERALE	45
CONCLUSION GENERALE.....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Anatomie et biologie d'une abeille (Lequet, 2010)	3
Figure I.2: Zone de distribution des espèces <i>Apis mellifera</i>	4
Figure II.1: Photo du miel analysé (Originale, 2025).....	21
Figure II.2: Les étapes d'incinération du miel (Originale ,2025)	23
Figure II.3 : Photo de pH mètre-conductimètre (Original,2025)	24
Figure II.4: Dosage des polyphénols (Originale, 2025)	26
Figure II.5 : Activité antioxydante par le test DPPH (Original, 2025)	27
Figure II.6 : Activité antibactérienne (Original,2025).	29
Figure III.1: Présentation graphique des résultats de l'enquête	34
Figure III.2 : Résultats de l'activité antibactérienne du miel de miellat	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Liste des 28 sous-espèces d'Apis mellifera décrites selon les critères morphologiques et génétiques	5
Tableau II.1: Echelle (mm Pfund) établie par l'USDA, pour la détermination de la couleur.....	24
Tableau III.1 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'échantillon du miel testé...	34

LISTE DES ABREVIATIONS

ABTS.	2,2-Azino-bis (3-ethylbenzothiozoline-6-sulfonic acid)
ALNS.	Anti-inflammatoires non stéroïdiens
ATCC.	American type collection
BSA.	Albumine sérique bovine
°C.	Degré Celsius
CAPE.	L'ester phénéthylrique de l'acide caféique
Cox.	Cylooxygénase
DPPH.	1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl
EQ.	Équivalents quercitine
Fe²⁺-TPTZ.	Le complexe ferrique
FRAP.	Ferric Reducing antioxydant power
g	gramme
GAE.	Acid Gallic Équivalent
GN.	Gélose nutritive
H3pM012040.	Acide phosphomolibdique
H3pw12040.	Complexe d'acide phosphomolibdique
LOX.	Lipoxygénase
mg.	Milligramme
µl.	Microliter
mL.	Millilitre
mm.	Millimètre
mM.	Millimolar
m/v.	Masse/volume

Na₂CO₃.	Sodium carbonate
nm.	Nanometer
PBS.	Saline Tamponné au phosphate
PH.	Potentiel of Hydrogène
RPM.	Révolutions per Minute
TCA.	Acide trichloracétique
TPTZ.	2,4,6-Tri(2-pyridyl)-s-triazin
uv.	ultraviolet

Introduction générale

Le miel, produit sucré créé par les abeilles mellifères (*Apis mellifera* étant l'espèce majoritaire), se révèle être bien plus qu'un simple édulcorant. Elle souligne le rôle crucial de l'abeille en tant que pollinisateur essentiel pour la productivité agricole à l'échelle mondiale. (Dupont et al., 2021). Parallèlement à cette fonction écologique vitale, le miel lui-même offre un potentiel de valorisation considérable. La ruche est une source de divers produits précieux, tels que le pollen, la propolis, la gelée royale et la cire (Lakhdar et al., 2016), chacun possédant des caractéristiques distinctes.

Le miel se distingue par sa composition sophistiquée, qui englobe plus de 180 composants identifiés, y compris des acides aminés, des enzymes, des protéines, des vitamines, des minéraux, des oligo-éléments, des acides organiques et des éléments phénoliques. (Mansouri et al., 2017; Belaidi et al., 2019). Cette composition nuancée est directement influencée par l'environnement floral exploité par les abeilles, notamment la variété des fleurs butinées, la période de récolte et les conditions climatiques et géographiques des régions concernées (Novak et al., 2020).

Traditionnellement reconnu comme une source naturelle de sucres simples, facilement assimilables et contribuant à l'apport énergétique nécessaire à l'organisme (Slimani et al., 2012), Dans le contexte actuel de redécouverte des thérapies naturelles, le miel gagne de plus en plus d'intérêt. Considéré comme un aliment sain, doté de propriétés nutritionnelles et potentiellement curatives, il est sujet à de nombreuses recherches scientifiques qui examinent ses usages dans le domaine médical. Des études récentes suggèrent son utilité dans la prise en charge des brûlures, des troubles digestifs, des plaies infectées et chroniques, des ulcères cutanés et de certaines affections oculaires (Rossi et al., 2008; Chen et al., 2020).

Ces propriétés biologiques remarquables ; activité antibactérienne, pouvoir antioxydant, effets anti-inflammatoires, propriétés antifongiques et action protectrice sur le système gastro-hépatique (Diallo et al., 2006; Silva et al., 2018) – sont attribuées à la présence synergique de divers composés actifs, tels que le peroxyde d'hydrogène, le lysozyme, son pH spécifique, ainsi qu'une variété d'acides phénoliques et de flavonoïdes.

L'apiculture, au-delà de la production de ces précieux trésors de la ruche, constitue une activité respectueuse de l'environnement, susceptible de stimuler l'économie locale, en particulier dans les zones où les ressources en eau sont limitées, et de favoriser la pollinisation d'écosystèmes agricoles et naturels essentiels. En Algérie, comme dans de nombreuses autres régions du

monde, on observe une préférence marquée pour l'apiculture locale, où les consommateurs choisissent d'acquérir leurs produits directement auprès des apiculteurs, établissant une confiance quant à la qualité et à l'origine botanique du miel (Kamel et al., 2023).

Dans ce sens, nous nous sommes assignés différents objectifs dans cette étude.

i) Le premier objectif a concerné sur une enquête de l'utilisation des différents types du miel dans deux régions différentes.

ii) Le deuxième objectif est tester les analyses physico-chimiques du miel du miellat ; y compris la teneur en eau, le pH, la conductivité électrique, le taux de cendre et l'intensité de la couleur.

iii) Enfin le troisième objectif s'est focalisé sur la valorisation des propriétés biologiques de ce type du miel.

Cette mémoire de fin d'étude est présentée sous forme de chapitres. Elle est composée d'une introduction générale suivie par trois chapitres et terminée par une conclusion générale.

Le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique qui comporte deux parties afin d'avoir une vue générale sur le monde d'abeille mellifère et leurs importances, dans la deuxième partie une synthèse des travaux effectués sur les trois produits étudiés, leurs classifications, compositions et des propriétés physicochimiques, biologiques et palynologiques.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale qui comporte les objectifs de notre projet de mémoire, une présentation générale des sites d'étude et traite du matériel et des méthodes utilisés lors de cette étude, et le troisième présente les résultats et leur discussion en rapport avec des données bibliographiques en Algérie et à travers le monde.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE I : Généralités

1.L'Abeille Mellifère (*Apis mellifera*) :

Apis mellifera, un insecte pollinisateur présent à l'échelle mondiale, joue un rôle écologique crucial dans les environnements terrestres. Cet insecte, qui fait partie de la famille des Apidés et présente une structure sociale sophistiquée, forme des colonies organisées selon un système hiérarchique où les rôles sont distribués et spécialisés. Sa population peut compter jusqu'à 50 000 membres. L'abeille, en collaboration avec d'autres pollinisateurs, contribue de manière significative à plus de 80% des services de pollinisation essentiels à l'agriculture mondiale. (Brodschneider et *al.*, 2011). Son rôle dans la pollinisation des cultures est fondamental : en 2005, un tiers de la production alimentaire mondiale était tributaire de cette activité (Breeze et *al.*, 2011 ; Techer et *al.*, 2017). La présence d'abeilles dans les vergers et autres cultures fruitières induirait une amélioration du rendement comparativement à la pollinisation anémogame, reconnue pour son efficacité moindre (Klatt et *al.*, 2014).

L'abeille mellifère, parfois qualifiée d'abeille "domestique", est exploitée par l'humain dans le cadre de l'apiculture depuis environ sept millénaires (Crane, 1990 ; Techer, 2015). Cette espèce présente également un intérêt considérable pour l'homme en raison de sa capacité à élaborer divers produits précieux tels que le miel, la gelée royale et la cire, ainsi qu'à collecter le pollen et la propolis. Le miel, en particulier, est produit par deux espèces d'abeilles élevées par l'homme dans des ruches modernes à cadres amovibles : l'abeille domestique *Apis mellifera* et l'abeille orientale *Apis cerana* (Crane, 1999).

Figure

re

I.1:

Anat

omie

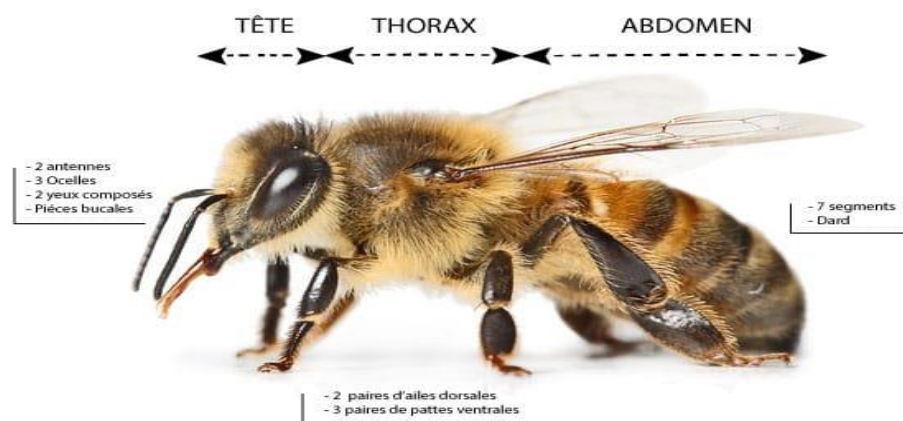
et

biolo

gie

d'un

e



abeille (Lequet, 2010)

1.2. Distribution géographique d'*Apis mellifera*

L'espèce d'abeille la plus répandue dans le monde est *Apis mellifera*, qui s'étend depuis le point sud des savanes africaines, passant par la méditerranée jusqu'à atteindre la limite de son expansion en Europe du nord et en Scandinavie du sud. Une telle variété d'habitat, de conditions climatiques et de flore, a permis l'apparition de nombreuses sous espèces ou races géographiques qui sont interfécondes, chacune avec ses caractéristiques morphologiques et physiologiques adaptées à chaque région (Charpentier, 2003).

Cette espèce est absente naturellement du continent américain, de l'Est asiatique et en Océanie, l'abeille mellifère y a été massivement importée et elle est maintenant présente sur quasiment toute la planète ; son aire d'expansion naturelle s'arrête à l'Europe du Nord (jusqu'à la Scandinavie incluse) (Aymé, 2014). Les populations d'*Apis mellifera* ont divergé par leur éloignement géographique mais aussi de l'occupation de niches très différentes entraînant des adaptations locales. L'alternance des périodes de glaciations et de réchauffements climatiques a contribué à l'isolement géographique de certaines populations (Techer, 2015).

Plusieurs études morphométriques, physiologiques, comportementales et génétiques, montrent que les sous espèces de l'abeille domestique se répartissent en cinq lignées évolutives : A (africaine), M (ouest méditerranéenne), C (nord-méditerranéenne), O (Turquie et Caucase) et la lignée Y (Yéménite) (Magnus et *al.*, 2014).

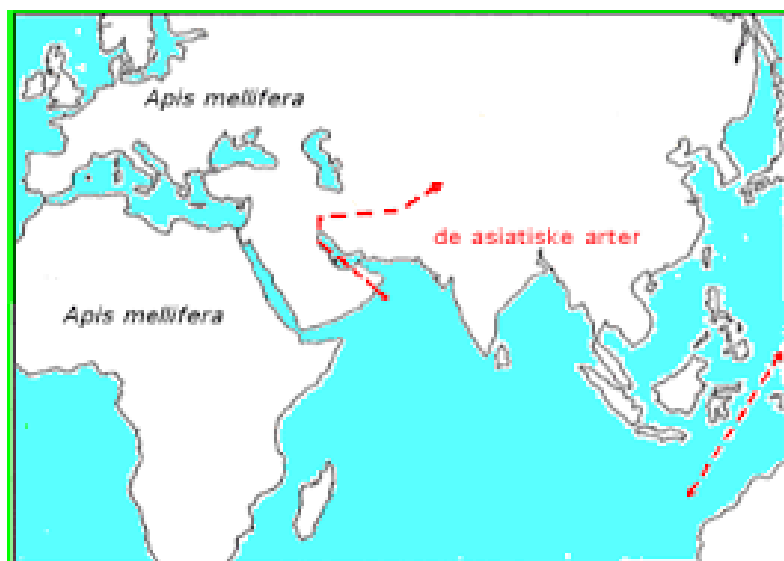


Figure I.2 : Zone de distribution des espèces *Apis mellifera*

La distinction entre ces lignées a d'abord été faite par les caractères morphologiques par Ruttner (1988) (Ruttner, 1988) puis a été confirmée par des études génétiques utilisant l'ADN mitochondrial (Migue et *al.*, 2007). Au total, on dénombre actuellement 28 sous-espèces (ou races) d'*A. mellifera* (Meixner et *al.*, 2013).

Au Nord de l'Afrique, la sous espèce *Apis mellifera intermissa* est naturellement présente dans la région marocaine, tunisienne et algérienne, alors que *A. mellifera. sahariensis* se retrouve dans le Sud-Ouest de l'Algérie et le Maroc (Shaibi et *al.*, 2010).

Tableau I.1 : Liste des 28 sous-espèces d'*Apis mellifera* décrites selon les critères morphologiques et génétiques

Répartition	Espèce	La lignée évolutive		Descripteurs / Auteurs
		Le plan morphologique	Le plan génétique	
Afrique du nord-est	<i>A. m. intermissa</i>	M	A	(Maa, 1953)
	<i>A. m. sahariensis</i>	M/A	A	(Baldensperger, 1932)
	<i>A. m. simensis</i>	A	A/Y	(Meixner et al., 2011)
Afrique tropicale	<i>A. m. adansonii</i>	A	A	(Latreille, 1804)
	<i>A. m. capensis</i>	A	A	(Eschscholtz, 1822)
	<i>A. m. jemenitica</i>	A	A	(Ruttner, 1976)
	<i>A. m. lamarckii</i>	A	A/Y/Z	(Cockerell, 1906)
	<i>A. m. litorea</i>	A	Z	(Smith, 1961)
	<i>A. m. monticola</i>	A	A	(Smith, 1961)
	<i>A. m. scutellata</i>	A	A	(Lepeletier de Saint Fargeau, 1836)
	<i>A. m. unicolor</i>	A	A	(Latreille, 1804)
Ouest de la Méditerranée	<i>A. m. iberiensis</i>	M	M/A	(Skorikov, 1929; renamed by Engel 1999)
	<i>A. m. mellifera</i>	M	M	(Linnaeus, 1758)
Méditerranée centrale	<i>A. m. carnica</i>	C	C	(Pollmann, 1879)
Europe du Sud-Ouest	<i>A. m. carpatica</i>	-	-	(Foti et al., 1965)
	<i>A. m. cecropia</i>	C	C	(Kiesenwetter, 1860)
	<i>A. m. ligustica</i>	C	C/M	(Spinola, 1806)
	<i>A. m. macedonica</i>	C	C	(Ruttner, 1988)
	<i>A. m. ruttneri</i>	M/A	A	(Sheppard et al., 1997)
	<i>A. m. siciliana</i>	C/A	A	(Grassi, 1881)
Moyen Orient	<i>A. m. adami</i>	C/O	C	(Ruttner, 1975)
	<i>A. m. anatoliaca</i>	O	C/Z	(Maa, 1953)

	<i>A. m. caucasia</i>	O	C	(Pollmann, 1889)
	<i>A. m. cypria</i>	C	C/Z	(Pollmann, 1879)
	<i>A. m. meda</i>	O	Z	(Skorikov, 1929)
	<i>A. m. remipes</i>	O	-	(Gerstäcker, 1862)
	<i>A. m. syriaca</i>	A/O	Z	(Skorikov, 1929)
Asie centrale	<i>A. m. pomonella</i>	O	C/Z	(Sheppard et Meixner 2003)

1.3. Importance Socio-économique et Écologique de l'Abeille

1.3.1. Rôle Prépondérant dans la Reproduction des Plantes Cultivées et Sauvages

Les abeilles, et plus largement tous les insectes pollinisateurs, jouent un rôle écologique crucial en garantissant la reproduction des plantes pollinisées par les insectes et en participant à la préservation de la diversité végétale (Ashman *et al.*, 2004).

La pollinisation des végétaux par les abeilles revêt une importance socio-économique substantielle, étant donné qu'environ 35% de la production agricole mondiale dépend de l'action des pollinisateurs, ce qui se traduit par une augmentation des rendements agricoles (Klein *et al.*, 2007). Des études initiales menées par l'Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation en 2009 ont estimé que la pollinisation génère un chiffre d'affaires d'environ deux milliards d'euros, soit dix fois supérieur à la valeur de la production apicole directe. Il en résulte un impact considérable sur l'alimentation humaine, puisque 74% de la production mondiale de lipides et 98% des vitamines liposolubles proviennent de plantes pollinisées (Eilers *et al.*, 2011).

1.3.2. La Diversité des Produits Issus de la Ruche

La production de miel n'est pas l'unique activité des abeilles au sein de leur colonie. La ruche présente une gamme d'autres substances qui suscitent un vif intérêt, y compris la cire, le pollen, la propolis, la gelée royale et même le venin des abeilles ouvrières (Aymé, 2014).

1.3.2.1. Le Pollen : Source Azotée Essentielle de la Ruche

Le pollen constitue la seule source naturelle de composés azotés au sein d'une colonie d'abeilles. En tant que gamète mâle des plantes à fleurs, il joue un rôle clé dans la fécondation des ovules logés dans les ovaires de la plante. Contrairement à une cellule individuelle, un grain de pollen est composé de deux noyaux distincts : un noyau végétatif et un noyau reproducteur. Le pollen se manifeste sous forme de minuscules particules renfermées dans les anthères des étamines (Chefrour et *al.*, 2009).

Durant une vaste portion de l'année, les abeilles s'affairent à collecter le pollen. Un certain pourcentage de la récolte, approximativement 10%, est perdu et tombe au sol aux alentours, où l'apiculteur a la possibilité de le recueillir. Le pollen est conservé dans les alvéoles de la ruche, semblable au miel, et n'est pas notablement modifié, même s'il est souvent combiné au miel dans les mêmes alvéoles pour créer ce qu'on nomme le pain d'abeille (Goût & Jardel, 1998).

Il est considéré comme un aliment naturel riche en énergie et en éléments fonctionnels pour la consommation humaine (Silva et *al.*, 2009). De nombreuses propriétés thérapeutiques lui sont attribuées, incluant des activités antimicrobienne (Morais et *al.*, 2011), antifongique, antioxydante (Aličić et *al.*, 2014), hépatoprotectrice, chimioprotectrice et/ou chimiopréventive, ainsi que des propriétés anti-inflammatoires (Pascoal et *al.*, 2014).

1.3.2.2. La Gelée Royale : Sécrétion Nourricière des Jeunes Abeilles

La gelée royale apparaît comme une matière gélatineuse, de teinte nacré et de goût acidulé, élaborée par les abeilles nourricières encore jeunes. De leur éclosion à la phase nymphale, ces abeilles produisent et distribuent la gelée royale au sein de leur colonie (Jean-Prost, Médori & Le Conte, 2005). Cette production est assurée par des glandes spécialisées localisées de chaque côté de la tête de l'abeille (Daniele & Casabianca, 2012).

Les investigations scientifiques mettant en évidence les avantages de la gelée royale pour la santé humaine sont encore relativement limitées. Des effets physiologiques et pharmacologiques ont été observés chez les mammifères lors de quelques expérimentations *in vitro* et *in vivo*, tels que des actions vasodilatatrices, hypotensives, hypocholestérolémiantes et anti-inflammatoires (Fujii, 1995 ; Daniele & Casabianca, 2012). Il a été démontré que la gelée royale exerce un impact positif sur la production d'œstrogènes chez les femmes en période de ménopause (Suzuki et *al.*, 2008). Son action sur les ostéoblastes favorise également l'amélioration du métabolisme osseux en régulant positivement l'expression génétique du procollagène de type I. Dans ce contexte, elle pourrait être envisagée comme un complément

alimentaire offrant une nouvelle perspective pour la prévention de l'ostéoporose (Kushima, 1973 ; Narita *et al.*, 2006).

1.3.2.3. La Propolis : Bouclier Naturel de la Ruche

Le terme propolis, d'étymologie grecque, signifie "devant la cité" (Ravazzi, Breffort & Vielfaure, 2003). La propolis est un matériau résineux que collectent les abeilles à partir des bourgeons et des sécrétions de différentes essences d'arbres et de végétaux. Cette matière est par la suite mélangée avec du pollen et des enzymes produites par les abeilles. (Lu, Chen & Chou, 2005).

La coloration de la propolis varie en fonction de l'origine florale et de l'âge de la colonie, pouvant présenter des teintes allant du vert au rouge ou au brun foncé (Marcucci, 1995 ; SFORCIN *et al.*, 2001). Elle joue un rôle multifonctionnel au sein de la ruche en tant que matériau de construction, d'entretien et de défense (Burdock, 1998).

La propolis possède de nombreuses caractéristiques biologiques et pharmacologiques qui ont été minutieusement étudiées dans des modèles cellulaires et animaliers, la présentant comme un authentique « trésor thérapeutique de la ruche » (Münstedt & Bogdanov, 2009). Elle manifeste une activité antibiotique notable. La présence de molécules aromatiques et de flavonoïdes lui confère une action bactériostatique, bactéricide, fongicide et antivirale (Cedikova *et al.*, 2014). La propolis est utilisée comme un agent cicatrisant et anesthésiant local, pour soigner des troubles respiratoires comme le rhume ou l'angine, mais aussi en dentisterie (application locale pour les aphtes, prévention contre les caries et gingivites...).

Au cours de la dernière décennie, la recherche scientifique s'est intensifiée sur l'étude de la propolis et de son impact potentiel dans le contexte du cancer. L'acide caféique, l'ester phénéthylique de l'acide caféique (CAPE), l'artépilline C (acide 3,5-diprénylique-4-hydroxycinnamique), et d'autres constituants de la propolis sont fréquemment cités dans la littérature comme des substances antitumorales et des agents immunomodulateurs (Watanabe *et al.*, 2011 ; Chan, Cheung & Sze, 2013).

1.3.2.4. La Cire d'Abeille : Matériau Polyvalent de la Ruche

La cire est une sécrétion lipidique générée par les glandes cirières des ouvrières encore jeunes. Elle se compose d'environ 71% d'esters, 40% d'acides gras libres, 12% d'hydrocarbures, 3% d'eau et divers autres éléments. (Kameda & Tamada, 2009).

Sa résistance à l'hydrolyse et à l'oxydation naturelle est remarquable, et elle est complètement insoluble dans l'eau. Elle ne peut pas être dégradée par les acides et les enzymes digestives des animaux (Muller & Hepburn, 1994).

La cire d'abeille est largement utilisée dans le domaine de la cosmétologie pour ses vertus purifiantes, nourrissantes et adoucissantes pour l'épiderme. Elle est experte dans le soin des brûlures, gerçures, plaies et vergetures, possédant des vertus de cicatrisation et anti-inflammation, tout en promouvant également la fonction intestinale. On l'utilise également en rhumatologie sous forme de patch et en dentisterie pour la fabrication d'empreintes et de moules dentaires. Son emploi est avantageux pour la production de suppositoires et donne un fini lustré à certaines formes pharmaceutiques orales. (Fournier, 2009).

1.3.2.5. Le Venin d'Abeille : Produit Minoritaire aux Applications Diverses

Le venin constitue un produit secondaire de la ruche. En effet, la collecte d'un gramme de venin requiert environ 10 000 abeilles (Bradbear, 2010). Il est élaboré au niveau de la glande acide de l'appareil vulnérant (Perumal Samy *et al.*, 2006). La glande alcaline ou glande de Dufour pourrait également jouer un rôle dans la production de venin (Jean-Prost *et al.*, 2005). Il est à noter que les mâles (faux-bourçons) sont dépourvus de dard.

La composition du venin d'abeille est principalement de l'eau, représentant environ 85% de sa masse. Il contient plusieurs autres composés, parmi lesquels on trouve des substances volatiles (phéromone d'alarme). Une piqûre d'abeille provoque habituellement une réaction locale : douleur, démangeaison, gonflement et pourrait conduire à une toxicité systémique de quelques heures à plusieurs mois après l'événement. C'est donc une substance qui peut être dangereuse, surtout en cas de réaction allergique. Il est aussi employé dans la gestion des maladies rhumatismales et de l'arthrite, pour la désensibilisation des personnes allergiques aux piqûres d'abeilles, et il manifeste des propriétés antimicrobiennes et antitumorales. (Perumal Samy *et al.*, 2006).

1.3.2.6. Le Miel : Nectar Transformé, Trésor Naturel

Le miel, tel que défini par le Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, 2001), est la substance sucrée naturelle produite par les abeilles de l'espèce *Apis mellifera* à partir du nectar des fleurs, ou des sécrétions provenant de parties vivantes des plantes, ou des excréments laissés sur celles-ci par des insectes suceurs. Les abeilles mellifères recueillent ces substances sucrées naturelles, qu'elles transforment grâce à l'ajout de matières spécifiques. Celles-ci sont par la suite déposées, déshydratées, conservées et laissées mûrir dans les rayons

de la ruche. (Buba, 2013). Le terme "miel" ne peut être employé pour désigner des produits obtenus en nourrissant les abeilles avec du sucre industriel, ni pour des produits sucrés provenant d'insectes autres que l'abeille mellifère (Marchenay, 1988 ; Blanc, 2010).

Il est essentiel de différencier les miels provenant d'espèces liées à l'abeille domestique, comme *Apis cerana* et *Apis dorsata*, ou encore ceux produits par des abeilles mélipones ou des bourdons, étant donné que leur teneur en sucres varie considérablement. (Joshi et al., 2000).

Le miel est donc un produit intégralement naturel. L'intervention humaine dans son élaboration est inexistante. Le rôle de l'apiculteur consiste à offrir aux abeilles des conditions environnementales propices, puis à récolter le miel, en veillant à sa qualité et à sa conservation optimale (Lequet, 2010).

1.3.3. Fabrication du miel

1.3.3.1. Le travail des abeilles

Le processus de fabrication du miel dure environ 45 jours. Il commence par la collecte du nectar des fleurs qui est réalisée par les abeilles ouvrières adultes où chaque abeille développe une fonction spécifique. Ce travail réalisé par les butineuses nécessite entre 20 et 50 voyages d'environ 15 minutes chacun par jour, sur un rayon d'action moyen se situant entre 500 mètres et 2 kilomètres selon les conditions climatiques, la nature du sol et surtout la diversité floristique. Les abeilles survolent ainsi les fleurs pour en extraire et obtenir le nectar, grâce à leurs longues langues (Bhuiyan et al., 2002).

Une fois arrivée à la ruche, la butineuse transmet le nectar ingéré aux ouvrières, qui le régurgitent encore puis le passent à d'autres abeilles. Que ce soit du nectar ou du miellat, les abeilles y ajoutent par un passage de jabot à jabot de la salive qui le fluidifie et l'enrichit en enzymes (invertases) et catalyseurs biochimiques à l'origine de l'hydrolyse du saccharose en glucose et en fructose (Ouchemoukh, 2012).

La teneur en eau du liquide sucré s'abaisse aussi progressivement jusqu'à atteindre environ 18 % et s'enrichit en même temps en sucres gastriques et en substances salivaires. Il est ensuite déposé dans des alvéoles qui seront operculées par une couche de cire afin d'assurer sa conservation (Alvarez, 2010).

1.3.3.2. Le travail des apiculteurs

La récolte du miel peut se pratiquer dès la fin de la miellée quand la ruche est devenue très lourde. L'apiculteur retire les cadres de miel. Il ne laisse que les provisions nécessaires pour que les abeilles puissent nourrir les jeunes larves et éventuellement passer l'hiver suivant (Irlande, 2010).

Le miel est extrait des cellules par la force centrifuge et séparé ensuite de ses impuretés par une épuration qui s'effectue généralement par filtration, centrifugation, ou décantation. Les rayons récoltés sont transportés à la miellerie pour être extraits de suite, pendant que le miel est encore chaud. La miellerie est un local propre, sec, bien ventilé avec possibilité de chauffage et de déshumidification. Il devra posséder une source d'eau si possible chaude et être inaccessible aux abeilles. Ce local doit être aménagé de façon à faciliter le travail de l'apiculteur au maximum. L'outillage minimum comprend un extracteur en inox, des seaux inox ou en plastique alimentaire, un bac à désoperculer, un maturateur inox ; des éponges et chiffons pour nettoyer les bavures de mie (Hoyet, 2005).

PARTIE II : Miel du miellat

2.1. Introduction

Le miel de miellat, généralement moins populaire que le miel floral, constitue un produit apicole d'une grande valeur tant sur le plan nutritionnel que médical. Il est collecté par les abeilles non pas à partir du nectar des fleurs, mais grâce aux sécrétions sucrées produites par certains homoptères, comme les pucerons, qui se nourrissent de la sève des arbres. Ces sécrétions, pleines de glucides et autres nutriments, sont par la suite métamorphosées en miel par les abeilles à l'intérieur de la ruche. Le miel de miellat est généralement plus sombre, moins sucré et plus riche en minéraux que le miel issu des fleurs. Grâce à sa structure complexe, elle possède des caractéristiques antioxydantes et antimicrobiennes particulièrement intéressantes, lui assurant une position privilégiée dans le domaine de la médecine naturelle et de la nutrition fonctionnelle. Les sapins, les pins et certains feuillus tels que les chênes sont des producteurs fréquents de miellat, en particulier dans les zones tempérées. Dans plusieurs zones d'Europe telles que l'Allemagne, la Turquie et la Grèce, ce miel est particulièrement prisé et souvent favorisé par rapport au miel floral en raison de ses propriétés gustatives et thérapeutiques. Grabek-Lejko *et al.*, 2024 ; Seeburger *et al.*, 2020)

2.2. Origine et Production du Miel de Miellat

La fabrication du miel de miellat découle d'une interaction complexe entre les végétaux, les insectes qui têtent la sève (tels que les pucerons ou les cochenilles) et les abeilles. Les insectes consomment la sève brute des arbres qui, étant pauvre en nutriments, les pousse à excréter l'excédent de sucre sous forme de miellat. Les abeilles collectent ces sécrétions déposées sur les feuilles ou l'écorce et les acheminent vers la ruche. Cette activité est souvent plus intense durant l'été ou le début de l'automne, période à laquelle les colonies d'insectes qui se nourrissent de sève atteignent leur apogée (Oddo *et al.*, 2004). La qualité du miel de miellat est fortement influencée par les types d'arbres forestiers présents, les

conditions climatiques et le degré d'infestation par les insectes. À la différence du miel de nectar, qui peut être affecté par la floraison locale, le miel de miellat présente une stabilité chimique plus grande, ce qui en fait un article pertinent pour l'analyse comparative (Bogdanov, 2009).

2.3. Composition Chimique du Miel de Miellat

Le miel de miellat a une composition spécifique qui le différencie du miel floral. Il est riche en sucres complexes comme le mélezitose et le raffinose, qui sont absents ou présents en faible quantité dans les miels floraux. Il inclut aussi une concentration plus importante de minéraux tels que le potassium, le calcium, le magnésium et le fer. La richesse en minéraux se manifeste par une forte conductivité électrique (>0.8 mS/cm), l'un des paramètres clés pour la vérification de l'authenticité du miel de miellat. Sa teneur en eau est habituellement plus basse que celle des miels floraux, ce qui renforce sa stabilité microbiologique. Il a un pH légèrement supérieur (4.5 à 5.5) et une viscosité accrue, due à la présence d'oligosaccharides. On trouve également des acides phénoliques, des flavonoïdes, des enzymes (glucose oxydase, diastase) ainsi que des substances volatiles qui lui confèrent son odeur distinctive. Ces facteurs participent à ses caractéristiques fonctionnelles. (Recklies et *al.*, 2021 ; Utzeri et *al.*, 2018).

2.4. Propriétés Antioxydantes

La littérature scientifique fait amplement état des propriétés antioxydantes du miel de miellat. Ces propriétés sont essentiellement attribuées à sa forte concentration en flavonoïdes et composés phénoliques, qui ont un rôle de neutralisateurs de radicaux libres. Ces composés sont efficaces pour prévenir le stress oxydatif, qui joue un rôle dans le vieillissement des cellules et de nombreuses maladies chroniques comme le cancer, le diabète ou encore les affections cardiovasculaires. De nombreuses recherches ont démontré que le miel provenant du miellat a une capacité antioxydante plus élevée que de nombreux types de miel floraux, surtout lorsqu'il est récolté en altitude, où la densité phénolique est plus importante. Des analyses comme le DPPH, FRAP ou ABTS ont démontré le lien entre la concentration en polyphénols et la capacité antioxydante du miel de miellat. C'est pourquoi ce miel est considéré comme un complément nutritif de choix dans les régimes riches en antioxydants (Bouhala et *al.*, 2018 ; Neupane et *al.*, 2013).

2.5. Activité Antimicrobienne

Le miel de miellat exerce une activité antimicrobienne remarquable, notamment contre les bactéries pathogènes comme *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, ou encore *Pseudomonas aeruginosa*. Cette propriété est liée à plusieurs facteurs : sa faible activité en eau, son pH acide, sa forte osmolarité, et la présence de peroxyde d'hydrogène produit par la glucose oxydase. À cela s'ajoutent les composés phénoliques et flavonoïdes qui possèdent des effets bactériostatiques et bactéricides. Des études ont également démontré que le miel de miellat pouvait freiner la prolifération de champignons tels que *Candida albicans*. Son action antimicrobienne lui donne une importance notable en matière de cicatrisation des plaies et de prévention des infections, surtout dans le milieu hospitalier. Des pansements imprégnés de miel sont déjà employés par certains établissements hospitaliers en Europe pour soigner les ulcères et brûlures infectées (Kuncic, M et *al.*, 2012 ; Brudzynski, K. et *al.*, 2011 ; Molan, P.C. 2001).

2.6. Activité antiinflammatoire

Le miel de miellat a fait preuve d'une capacité notable à diminuer les indicateurs inflammatoires dans plusieurs modèles expérimentaux. D'après la recherche de Tomás-Barberán et *al.* (2006), les miels à forte concentration en polyphénols, comme ceux dérivés du miellat, freinent la production de cytokines pro-inflammatoires telles que le TNF- α , l'IL-1 β et l'IL-6, tout en stimulant l'expression des enzymes antioxydantes (SOD, catalase). Ce dispositif pourrait réduire les lésions oxydatives provoquées par une inflammation de longue durée.

Une recherche supplémentaire réalisée par Majtan (2011) a aussi souligné les propriétés anti-inflammatoires du miel de miellat en montrant une diminution notable de l'œdème induit chez des modèles murins, suggérant un impact comparable à celui des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), sans toutefois les effets indésirables gastro-intestinaux associés.

2.7. Activité antidiabétique

En ce qui concerne l'action antidiabétique, le miel de miellat pourrait constituer une option naturelle attrayante pour la gestion du diabète de type 2. Le miel de miellat, à l'opposé du miel floral, possède un indice glycémique inférieur et une composition plus riche en antioxydants. Cela pourrait favoriser la tolérance au glucose et diminuer le stress oxydatif lié à l'hyperglycémie persistante.

Selon une étude réalisée par Erejuwa et *al.* (2010), l'introduction de miel dans l'alimentation de rats diabétiques induits par la streptozotocine a entraîné une baisse notable du taux de sucre

dans le sang, un renforcement de la sensibilité à l'insuline, ainsi qu'une diminution des niveaux de peroxydation lipidique au niveau du pancréas et du foie.

PARTIE III : Aspects toxicologiques et limites d'utilisation

3.1. Risques liés à la présence de contaminants

3.1.1. Antibiotiques

On peut détecter la présence de résidus d'antibiotiques dans le miel, surtout dans les pays où l'utilisation de ces substances dans les apicultures n'est pas rigoureusement surveillée. Le miel peut être contaminé par des substances comme la streptomycine, la tylosine ou le chloramphénicol qui représentent un danger pour la santé humaine, notamment en provoquant des allergies ou en contribuant au développement de résistances aux antimicrobiens. Il s'agit également d'un problème réglementaire, car les résidus en question dépassent souvent les seuils maximaux autorisés par les organismes de santé (Beretta et *al.*, 2005).

3.1.2. Pesticides

Les abeilles récoltent le nectar de plantes traitées avec différents pesticides systémiques, comme les néonicotinoïdes ou les organophosphorés. Ces composés peuvent se trouver dans le miel et s'accumuler, créant un potentiel danger toxique pour l'être humain, notamment sur une longue période, en tant qu'interférents endocriniens ou neurotoxiques. La présence de ces substances dans les ruchers nuit également à la qualité du miel et à la pérennité des colonies (Bogdanov, 2006).

3.1.3. Métaux lourds

Dans diverses zones industrielles ou à proximité de routes à grande circulation, les abeilles peuvent être confrontées à des métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd) ou le mercure (Hg). Selon Khan et *al.* (2007), ces polluants peuvent être présents dans le miel et posent un danger de toxicité chronique pour le foie, les reins et le système nerveux de la personne qui le consomme.

3.1.4. Risques microbiologiques (*Clostridium botulinum*)

Le miel peut renfermer des spores de *Clostridium botulinum*, un micro-organisme pathogène à l'origine du botulisme chez les nourrissons. Ces spores sont souvent sans danger pour les adultes en bonne santé, mais peuvent se multiplier dans le système digestif encore immature des bébés de moins de 12 mois, ce qui peut provoquer une paralysie sévère voire un décès. Par conséquent, l'usage du miel est déconseillé chez les nourrissons en raison de ce danger rare mais sérieux (Nevas et *al.*, 2002).

3.1.5. Risques allergiques

Bien que cela soit inhabituel, certaines personnes sensibles peuvent réagir allergiquement au miel, notamment en raison de la présence de résidus de pollen, de propolis, de cire d'abeille ou même de venin d'abeille dans le produit final. Les symptômes peuvent varier de simples démangeaisons à des réactions anaphylactiques plus sévères. Il est donc conseillé d'exercer une vigilance particulière chez les individus allergiques aux produits apicoles (Rossi et *al.*, 2011).

3.1.6. Contre-indications chez certaines populations (nourrissons, diabétiques)

L'interdiction du miel chez les bébés est due au danger de botulisme (voir 4.2). Pour les personnes atteintes de diabète, l'apport en miel doit être contrôlé à cause de sa richesse en glucides simples (fructose et glucose), malgré son indice glycémique relativement modéré. D'après certaines recherches, le miel, en particulier celui d'acacia, pourrait être plus facilement assimilé que le sucre raffiné, bien qu'il faille surveiller son utilisation (Erejuwa et *al.*, 2012).

PARTIE IV : Perspectives de valorisation du miel

4.1. Extraction de composés bioactifs à partir du miel

Le miel renferme une variété de composés bioactifs tels que les flavonoïdes (quercétine, apigénine), les acides phénoliques (acide caféique, acide férulique), des enzymes et des vitamines. On peut isoler et purifier ces composés en utilisant des méthodes modernes comme l'extraction par ultrasons, la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC), ou encore l'extraction par des solvants respectueux de l'environnement. Plusieurs recherches (Alvarez-Suarez et *al.*, 2010) ont démontré que ces extraits présentent une activité antioxydante et antibactérienne significative.

4.2. Développement de nouveaux produits à base de miel

Grâce à ses multiples caractéristiques biologiques et sa composition riche en sucres naturels, enzymes, acides organiques et composés phénoliques, le miel est de plus en plus prisé dans la création de nouveaux produits fonctionnels destinés aux domaines de l'alimentation, de la santé, de la cosmétique et du bien-être. Grâce à sa multifonctionnalité, cet ingrédient naturel est privilégié pour satisfaire les attentes des consommateurs actuels en recherche de produits « clean label », exempt d'additifs artificiels, bioactifs et soucieux de la santé.

4.2.1. Produits alimentaires fonctionnels

Dans le domaine de l'agroalimentaire, le miel est ajouté à une multitude de produits alimentaires sains grâce à son pouvoir sucrant naturel, sa forte teneur en antioxydants et ses attributs prébiotiques. On l'utilise dans :

Barres énergétiques et en-cas protéinés, particulièrement destinés aux athlètes, où il sert simultanément de liant, d'édulcorant naturel et de fournisseur d'énergie à diffusion rapide.

Des boissons fonctionnelles comme les infusions froides, les thés glacés, les jus enrichis ou encore le kombucha au miel, couramment reliées à des extraits de plantes ou de superaliments.

Produits laitiers enrichis (yaourts, kéfirs, desserts lactés) incorporant du miel en tant que source d'antioxydants naturels et de conservateur biologique.

Aliments panifiés, comme les pains à grains entiers ou les biscuits diététiques, où le miel favorise l'humidité, la longévité et les caractéristiques organoleptiques.

Ces usages sont soutenus par les vertus antibactériennes et antioxydantes du miel, qui contribuent à une conservation naturelle prolongée du produit, tout en offrant une valeur nutritive supplémentaire (Viuda-Martos et *al.*, 2008).

4.2.2. Produits cosmétiques et soins de la peau

Dans le domaine de la cosmétique, le miel est incorporé dans l'élaboration de crèmes pour l'hydratation, de masques, d'exfoliants, de baumes à lèvres et de gels nettoyants. Les raisons de ses bienfaits pour la peau se trouvent dans :

Ses propriétés humectantes : il absorbe et conserve l'eau à l'intérieur des cellules de la peau.

Son action antibactérienne est bénéfique contre l'acné ou les légères infections cutanées.

Sa capacité à réduire l'inflammation et à favoriser la régénération, bénéfique pour la guérison et l'atténuation des rougeurs.

De nombreux produits de beauté combinent le miel à d'autres ingrédients naturels tels que le beurre de karité, l'aloé vera ou les huiles essentielles, dans une approche de formulation délicate et respectueuse de la peau. Des types de miels particuliers tels que le miel de manuka ou le miel de thym sont particulièrement valorisés pour leurs bienfaits thérapeutiques reconnus sur la peau (Irish et *al.*, 2011).

4.2.3. Dispositifs médicaux à base de miel

L'un des progrès les plus avant-gardistes touche à l'utilisation du miel dans les équipements médicaux, notamment les bandages actifs destinés à traiter les blessures infectées, les ulcères de longue durée ou encore les brûlures. Le miel thérapeutique, stérilisé par irradiation, est employé pour : Accélérer la guérison des tissus.

Maintenir un environnement humide et antibactérien propice à la régénération, réduire l'inflammation et soulager la douleur.

Des entreprises comme Medihoney et Revamil ont élaboré des bandages infusés de miel purifié, salués dans les publications médicales pour leur action efficace contre des germes résistants tels que *Staphylococcus aureus* (y compris MRSA) et *Pseudomonas aeruginosa* (Molan, 2009).

4.3. Orientation vers la naturalité et les marchés biologiques

L'augmentation de la demande pour des produits naturels, bio et durables incite les fabricants à innover avec des compositions basées sur le miel. Le consommateur perçoit ce produit comme authentique, naturel et provenant d'un artisanat traditionnel. Il traite de préoccupations contemporaines comme : l'élimination des ingrédients artificiels,

La recherche de remèdes naturels pour la santé de tous les jours,

L'évaluation des produits apicoles dans le cadre d'une démarche d'économie circulaire.

4.4. Intégration du miel dans l'industrie des aliments fonctionnels

Le miel, grâce à ses vertus antioxydantes et prébiotiques, est incorporé comme élément fonctionnel dans des produits fortifiés tels que les yaourts, les céréales et les suppléments nutritionnels. Il non seulement optimise la valeur nutritive, mais aussi la durée de conservation et l'attrait gustatif des aliments. Sa haute teneur en enzymes et minéraux lui attribue un rôle dans l'harmonisation du microbiote intestinal (Viuda-Martos *et al.*, 2008).

4.5. Recherche actuelle et tendances futures

Les recherches en cours se concentrent sur la caractérisation de diverses sortes de miel grâce à des techniques comme la spectroscopie, le codage ADN ou l'analyse métabolomique. Les recherches examinent aussi ses impacts dans la prévention des affections chroniques, le contrôle de la glycémie, ainsi que sa possibilité d'être utilisé comme composant pharmaceutique. On note une augmentation de l'intérêt pour les miels atypiques (miel de miellat, miel d'arbousier, etc.) et l'établissement de standards internationaux de qualité. (Alvarez-Suarez *et al.*, 2014).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1.Objectif du travail

Ce travail a été effectué dans les laboratoires pédagogiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Echahid Hamma Lakhder El Oued.

Un échantillon du miel a été étudié en analysant ses caractéristiques physico-chimiques et leurs teneurs en antioxydants afin de valoriser la corrélation de ces paramètres avec les propriétés biologiques y compris l'activité antioxydante, anti-inflammatoire et l'étude de l'effet antibactérien contre des souches pathogènes.

2.Méthodologie de l'enquête sur l'utilisation des produits de la ruche

Pour examiner les comportements d'achat et les opinions sur les produits apicoles, une étude descriptive a été réalisée grâce à un questionnaire organisé. Cette étude avait pour but de collecter des informations qualitatives et quantitatives d'un groupe diversifié de participants, classés en trois catégories d'âge : 15-20 ans, 20-30 ans et plus de 30 ans. Le questionnaire a été dispensé soit sur internet, soit en face à face, selon la facilité d'accès pour les participants.

Le questionnaire incluait des questions à choix multiple et semi-ouvert, structurées en diverses sections :

- ✓ Modes d'emploi du miel (dans l'alimentation, la médecine, les cosmétiques, etc.)
- ✓ Produits dérivés du miel employés (miel brut, nectar, gelée royale, etc.)
- ✓ Critères d'acquisition (qualité, coût, provenance, présentation)
- ✓ Variétés de miel consommées (monofloral, multifloral, brut, industriel, etc.)

Les réponses ont été classées en fonction de l'âge des répondants pour discerner les tendances d'utilisation spécifiques à chaque génération. Par la suite, l'étude s'est concentrée sur la fréquence, le type et le but d'utilisation des produits apicoles, tout en prenant en compte des éléments tels que l'accessibilité financière, la prise de conscience des avantages thérapeutiques du miel et les goûts personnels.

Les données recueillies ont été traitées statistiquement à l'aide d'outils descriptifs (pourcentages, fréquences, graphiques), permettant de dégager des tendances générales ainsi que

des différences significatives entre les groupes d'âge. Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et figures pour une meilleure lisibilité et interprétation.

3. Matériels utilisés

3.1. Matériel biologique

3.1.1. L'échantillon

Le miel étudié est de type de miellat a été produit par la race d'abeille mellifère *Apis intermissa mellifera*

L'échantillon a été collecté dans la période du printemps de l'an 2024, conservé à 4 °C jusqu'à l'analyse.



Figure II.1. Photo du miel analysé (Originale, 2025)

3.1.2. Les souches bactériennes

Toutes les souches bactériennes utilisées dans cette étude sont de référence American Type Culture Collection (ATCC). Au total, quatre bactéries pathogènes ont été testées dont quatre bactéries à Gram négatifs (*Escherichia coli* ATCC 25922 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 42532). Gram-positifs (*Bacillus subtilis* ATCC 10845, *Staphylococcus aureus* ATCC 65403) et Toutes les souches ont été cultivées sur Gélose nutritif (GN) à 37°C pendant 24h avant tout test antibactérien.

3.2. Matériel non biologique

Les équipements et les produits chimiques utilisés dans ce travail ont été mentionnés dans l'annexe 1.

4. Méthodes

Partie 1. Les analyses physico-chimiques

1.1. Le pH

Le potentiel hydrogène d'une solution de divers produits est mesuré en utilisant un pH mètre. La même solution préalablement préparée a été employée afin de mesurer le pH. La mesure a été réalisée une fois que la valeur du pH s'est stabilisée, sur la solution à une température de 20°C.

5g de miel/pollen/propolis sont pesés et dissous dans de l'eau distillée. Ensuite, on verse la solution dans une fiole jaugée de 50ml et on les complète jusqu'au niveau déterminé par la jauge. La solution de miel, de pollen ou de propolis est versée dans un bécher propre. On mesure le pH en plongeant l'électrode du pH-mètre dans la solution de miel à une température de 20 °C.

1.2. Le taux de cendre

La quantité de cendres du miel / pollen / propolis fait référence au résidu qui est issu de l'incinération du miel afin d'obtenir tous les cations (dont l'ammonium) sous forme de carbonates et d'autres sels minéraux anhydres, et qui est exprimée en pourcentage de poids.

Placer les creusets vides dans l'incinérateur à une température de 625 °C pendant quelques minutes, puis dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'ils refroidissent complètement. Cuire à l'incinérateur pendant 40 minutes à une température de 625°C jusqu'à ce que les cendres soient formées.

La calcination sera maintenue tant que la différence entre deux pesées successives effectuées à 30 minutes d'intervalle ne dépasse pas 1mg.

Peser une fois refroidi dans un dessiccateur pendant une durée de 20 minutes (Annexe).



Figure II.2: Les étapes d'incinération du miel (Originale ,2025)

1.3. La Teneur en eau

Le niveau d'humidité est un indicateur de qualité qui nous renseigne sur la stabilité du produit apicole face à la fermentation et à la cristallisation. La Commission internationale du miel a établi une méthode harmonisée qui a été utilisée pour évaluer la teneur en eau du miel liquéfié, basée sur la mesure de son indice de réfraction.

Une spatule a été utilisée pour étaler une goutte de miel sur la surface du prisme du réfractomètre et obtenir une couche mince. La réfraction a été mesurée à une température de 20°C. Il est indispensable d'ajuster la lecture pour diminuer l'indice de réfraction à zéro. Si la mesure est effectuée à une température différente, il est indispensable d'ajuster la lecture. Si la mesure est réalisée au-dessus de 20°C, la correction s'ajoute ; sinon, elle se soustrait, avec un coefficient de correction de 0,00023 pour chaque degré Celsius. Les résultats obtenus ont été transformés en pourcentage d'eau en se basant sur le tableau de Chataway.

1.4. La conductivité électrique

Les mesures de conductivité électrique s'effectuent à une température de 20°C dans une solution aqueuse contenant 20% (m/v) par rapport à la substance sèche du miel.

Remplissez un bécher de 50 ml avec 10 g de produit, puis procédez à sa dissolution avec un peu d'eau distillée.

Transférez le produit dans un flacon de 50 ml et complétez avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre la marque. Ensuite, la solution est transférée dans un autre bécher qui se trouve dans un bain de

Marié maintenu à 20°C. Avant de procéder à la mesure, il est indispensable de nettoyer la cuve du conductimètre avec de l'eau distillée. Une fois qu'on a atteint la température souhaitée, on plonge la cellule du conductimètre dans le bécher afin de mesurer la conductivité électrique.

La lecture est effectuée directement après que la cellule du conductimètre a été plongée dans la solution. On exprime le résultat en milli siemens par centimètre (mS/cm).



Figure II.3 : Photo de pH mètre-conductimètre (Original,2025)

1.5. Détermination de la couleur

La teinte du miel a été réalisée en chauffant une solution à parts égales jusqu'à 50 degrés, jusqu'à ce que les sucres soient entièrement dissous. L'absorbance a été évaluée à 635 nm et les valeurs correspondantes ont été catégorisées selon l'échelle de Pfund (White et *al.* 1984).

Tableau II.1: Echelle (mm Pfund) établie par l'USDA, pour la détermination de la couleur

Couleur	Unité PFUND en mm
Blanc eau	0 - 8mm
Extra blanc	8 - 16mm
Blanc	16 - 34mm
Ambré extra clair	35 - 50mm
Ambré clair	51 - 84mm

Ambré	85 - 114mm
Foncé	115 - 140mm

Partie 2 : Dosage des antioxydants

2.1. Dosage des polyphénols totaux

Nous avons employé la technique colorimétrique de Folin-Ciocalteu, en y apportant quelques modifications, afin d'évaluer les niveaux de composés phénoliques totaux. C'est une méthode spectrophotométrique qui emploie le réactif de Folin-Ciocalteu. Il s'agit d'un mélange de complexes d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), tous deux de couleur jaune, créant un complexe molybdène-tungstène bleu (Pontis et al. 2014).

On a mélangé un gramme de miel à 10 ml d'eau distillée, puis on a procédé à la filtration du mélange en utilisant un papier Watman n°1. Nous avons combiné 0,5 ml de la solution produite (0.1g/1ml) avec 2,5 ml du réactif Folin-Ciocalteu (0.2 N), puis nous avons laissé incuber pendant cinq minutes à une température de 22°C.

Par la suite, on a intégré 2 ml de carbonate de sodium présentant une concentration de 75 g/l (Na_2CO_3) au mélange. L'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 760 nm après une incubation de deux heures à température ambiante et dans le noir. En se basant sur l'équation de la droite de régression linéaire issue de la courbe d'étalonnage pour l'acide gallique (0-200 mg/l), il est possible d'évaluer la concentration totale de polyphénols dans le miel en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par 100 grammes (mg GAE/100 g) (Meda et al. 2005).

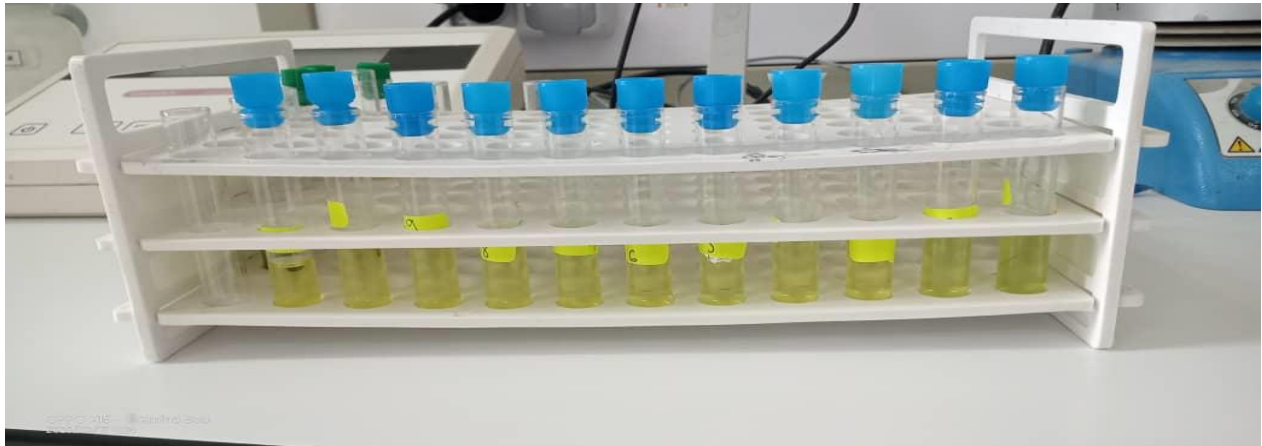


Figure II.4 : Dosage des polyphénols (Originale, 2025)

2.2. Dosage des flavonoïdes

On a incorporé 5 ml de la solution de miel (0,01g/1ml) à une solution d'aluminium chloré à 2% diluée dans le méthanol. Le mélange a subi une stérilisation à température ambiante pendant une période de 30 minutes. L'absorbance à 415 nm est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS de haute réputation. En se basant sur la courbe d'étalonnage linéaire de la quercétine (0-50 mg/l), nous avons déterminé le taux de flavonoïdes. Les résultats sont présentés en mg d'équivalent de quercétine pour 100 g de miel (Özkök, D'arcy, et Sorkun 2010).

Partie 3 : Les activités biologiques

3.1. Activité antioxydante

3.1.1. Test de DPPH

On combine 1 ml de la solution de DPPH dans le méthanol (0.024mg/ml) avec 1 ml de la solution du produit examiné à diverses concentrations. Le mélange obtenu a été remué à l'aide d'un vortex, puis laissé à température ambiante pendant une heure. Ensuite, nous avons évalué l'absorbance à 517 nm en la comparant à un échantillon témoin ne contenant que la solution de DPPH. Les informations ont été présentées en termes de pourcentage d'inhibition du radical DPPH (Ferreira et *al.* 2009). Le IC50 correspond à la concentration requise en mg/ml de la solution pour réduire de moitié l'activité colorimétrique du DPPH. Par ailleurs, il est nécessaire

d'avoir une concentration suffisante de l'échantillon pour diminuer de 50% l'absorbance de la



solution témoin contenant du méthanol et du DPPH.

Figure II.5 : Activité antioxydante par le test DPPH (Original, 2025)

3.1.2. FRAP

Afin de déterminer l'activité antioxydante des miels, le test de FRAP est utilisé selon le protocole décrit par Molyneux (2004). Ce test consiste à réduire le complexe ferrique (Fe^{3+} - TPTZ) en sa forme ferreuse (Fe^{2+} - TPTZ) et par conséquent, une couleur bleu-violet se forme avec un maximum d'absorbance à 593 nm (Beretta et *al.*, 2005). La solution de FRAP est un mélange de 3 composés : l'acétate de sodium (300 mM), TPTZ (10 mM) dissout dans 40 mM d'HCl et FeCl_3 (20 mM). Un volume de 500 μl de la solution de miel de différentes concentrations a été mélangé avec 750 μl de réactif du FRAP.

Après homogénéisation et incubation pendant 5 min à 37 °C, la lecture des absorbances est faite à 593 nm. Les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par 100 g de miel.

3.2. Activité anti-inflammatoire in vitro

D'après Chandra et ses collègues (Chandra et *al.* 2012), nous avons opté pour la méthode de dénaturation de l'albumine d'œuf avec quelques ajustements afin de tester son effet anti-

inflammatoire. Nous avons combiné 0,4 ml d'albumine d'œuf (obtenue à partir d'œufs de poule frais) avec 0,8 ml de PBS (solution saline tamponnée au phosphate, pH6,4) et 2 ml de chaque produit à des concentrations différentes, ainsi qu'un même volume d'eau distillée comme contrôle.

Par la suite, le mélange a été porté à 37 °C pendant 15 minutes et immédiatement placé dans un bain-marie à 70 °C pendant cinq minutes. Une fois refroidi, il a été centrifugé à une vitesse de 3000 rpm durant 10 minutes.

L'absorbance a été mesurée à 660 nm. L'acide acétylsalicylique a été utilisé comme médicament de référence.

L'acide acétylsalicylique a été utilisé comme médicament de référence, et pour calculer le pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines, nous utilisons la formule suivante

Pour calculer le pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines, nous utilisons la formule suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = ((\text{Absorbance de contrôle} - \text{Absorbance de solution}) / \text{Absorbance de contrôle}) \times 100$$

3.3. Activité antibactérienne

Selon Baydar et *al.* (Baydar, Özkan, et Sağdıç 2004), l'activité antibactérienne des échantillons de miel étudiés est évaluée en utilisant la méthode décrite. On réalise ce test en diffusant des disques stériles dans la gélose nutritive.

En utilisant une anse de platine, on a prélevé quelques colonies de souches cibles, bien séparées, à partir d'une culture fraîche de 18 à 24 heures sur un milieu gélosé (GN). Ensuite, elles ont été déchargées dans de l'eau physiologique et homogénéisées à l'aide d'un revêtement rotatif. Par la suite, on a standardisé la suspension bactérienne à 0,5 Mc Ferland (EQ105UFC/mL).

Chaque souche a été inoculée avec un volume de 1ml dans les boîtes de pétri coulées de milieu gélosé Muller Hinton avec une épaisseur de 4mm. On récupère l'excès en utilisant une micropipette, puis on laisse sécher les boîtes pendant 15 minutes. Des disques en papier wattman stériles de 5 mm de diamètre seront remplis de 20 μ l de chaque échantillon, tandis que les disques témoins seront remplis d'eau distillée pour les témoins négatifs.

Les disques sont déposés à la surface d'un milieuensemencé (étalé) par une suspension microbienne ayant une densité optique de 0,5 Mc Ferland en utilisant une pince.

On met les boîtes de Pétri au réfrigérateur à une température de 4 °C pendant trois heures afin de préparer la diffusion. Après une incubation de 18 à 24 heures, on mesurera le diamètre de chaque zone d'inhibition en mm et on le notera. Il est possible de prendre les mesures en utilisant une règle sur le fond de la boîte sans retirer le couvercle. À mesure que la zone d'inhibition augmente, le germe devient plus vulnérable.

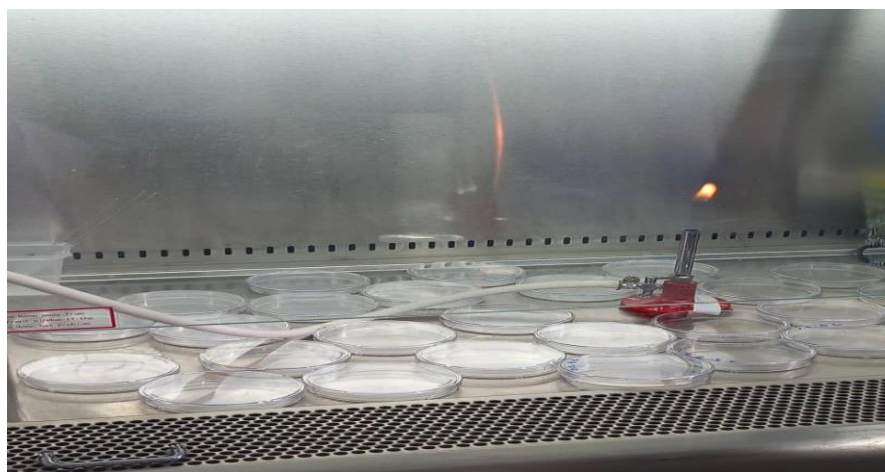


Figure II.8: Activité antibactérienne (Original,2025)

4. Analyses statistiques

Les statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Graph Pad Prism Version 5.00. Trois répétitions ont été réalisées pour toutes les méthodes et les résultats ont été exprimés par leur moyenne \pm standard déviation (SD). On a réalisé l'analyse statistique en utilisant One-way ANOVA, puis on a utilisé le test de Tukey's pour les comparaisons multiples et pour évaluer les

différences significatives entre les groupes ($p < 0,05$) en utilisant le logiciel Graph Pad Prism Version 5.00.

CHAPITRE III : RESULTATS AND DISCUSSION

Partie I. Analyse de l'enquête d'utilisation des produits de la ruche

Les résultats de l'enquête d'utilisation des produits de la ruche ont été montés dans la figure III.1

I.1. Méthodes d'utilisation du miel en fonction de l'âge

L'étude des pratiques d'usage du miel selon l'âge met en évidence une transformation significative des préférences et de la compréhension des consommateurs au fil de leur vieillissement. On a pris en compte trois catégories d'âge : de 15 à 20 ans, de 20 à 30 ans, et au-delà de 30 ans. Chaque individu démontre des habitudes de consommation distinctes qui reflètent à la fois des préférences culturelles, un style de vie et un degré d'attention variable aux caractéristiques biologiques du miel.

Pour les individus âgés de 15 à 20 ans, le miel est essentiellement utilisé à des fins alimentaires, ce qui reflète une consommation primaire, souvent associée au plaisir gustatif, à l'habitude alimentaire (comme les tartines ou les boissons sucrées) ou encore à l'influence de la famille. Cette tranche révèle aussi une utilisation médicale non négligeable, attestant d'une certaine compréhension des vertus du miel contre les affections courantes (toux, maux de gorge), mais un emploi moins répandu pour des raisons esthétiques ou gastronomiques élaborées (comme dans les pâtisseries). Ceci peut être dû à un accès restreint à des produits de beauté naturels ou à un investissement moindre dans la préparation culinaire.

Une transformation est en cours chez les individus âgés de 20 à 30 ans. Cette catégorie d'âge montre une hausse significative de l'utilisation thérapeutique du miel, qui devient la méthode prépondérante. Cette évolution est due à une compréhension accrue des propriétés thérapeutiques du miel, notamment ses effets antibactériens, cicatrisants et antioxydants. Ces connaissances sont renforcées par l'accès à des ressources en matière de santé naturelle, la promotion des médecines alternatives, ou encore les bénéfices attendus sur le système immunitaire. On observe également une augmentation marquée de l'utilisation cosmétique, ce qui pourrait être lié à un engouement grandissant pour les soins naturels de la peau et des cheveux parmi les jeunes adultes. Toutefois, la consommation alimentaire diminue considérablement au sein de ce groupe, possiblement du fait d'une diversification des régimes alimentaires ou d'une quête de sucre plus restreinte.

Finalement, pour les individus de plus de 30 ans, les observations suggèrent une stabilisation, voire une augmentation de l'utilisation médicinale du miel, reflétant une conviction renforcée

dans ses propriétés curatives. L'utilisation cosmétique reste importante, indiquant une persistance dans les habitudes de soins naturels. Toutefois, l'usage du miel dans l'alimentation continue de diminuer, ce qui pourrait être dû à des préoccupations alimentaires ou au remplacement du miel par d'autres types de sucraants. L'utilisation du miel en pâtisserie est marginale dans toutes les catégories d'âge, suggérant que cet ingrédient n'est pas souvent considéré comme central en cuisine, probablement à cause de son prix ou d'un manque d'intégration dans les recettes classiques.

I.2. Les produits à base de miel utilisés selon l'âge

L'étude des résultats concernant la consommation de produits à base de miel selon l'âge révèle des goûts variés en termes d'usage de produits dérivés du miel, selon la phase de vie des consommateurs. Ce genre d'information est essentiel pour saisir l'influence de l'âge sur les comportements d'achat et d'utilisation des produits apicoles transformés.

Parmi les jeunes de 15 à 20 ans, on remarque une préférence fréquente pour les versions les plus simples et accessibles du miel, telles que le miel pur en pot ou encore les bonbons au miel. Ces décisions peuvent être déterminées par la familiarité, l'attrait du goût sucré et la simplicité d'utilisation. À ce stade, l'emploi de produits transformés tels que les crèmes cosmétiques à base de miel ou les sirops médicinaux est encore restreint, peut-être dû au fait d'un accès financier limité ou d'une méconnaissance de ces produits.

Au sein de la tranche d'âge 20-30 ans, on remarque une variété croissante de produits utilisés. Outre le miel brut, les jeunes adultes montrent un intérêt croissant pour les produits fonctionnels tels que les sirops thérapeutiques à base de miel, les pommades ou crèmes de beauté, et même des formulations nutritives (pollen, propolis, gelée royale). Cette évolution est due à une quête de bien-être, d'alternatives naturelles et à une plus grande capacité financière leur offrant la possibilité de se procurer des produits de meilleure qualité. Comme cette tranche d'âge est généralement caractérisée par un intérêt croissant pour la santé, l'apparence et l'alimentation, l'utilisation de produits spécifiques à base de miel s'avère plus stratégique et ciblée.

Parmi les personnes de plus de 30 ans, l'attrait pour les produits thérapeutiques et de bien-être continue de se renforcer. Il semble que cette population favorise les produits dotés de vertus médicinales avérées, notamment pour renforcer le système immunitaire, soigner les problèmes respiratoires ou préserver la tonicité. Ainsi, on observe une consommation constante de gelée royale, de propolis, ou encore de mélanges contenant du miel et des plantes médicinales. Simultanément, l'emploi de cosmétiques naturels contenant du miel se perpétue

ou connaît une légère hausse, indiquant un penchant grandissant pour les produits doux, bio et hypoallergéniques. L'emploi du miel en tant qu'ingrédient alimentaire brut est désormais secondaire, cédant la place à une approche fonctionnelle et spécifique des produits de la ruche.

I.3. Critères d'achat du miel selon l'âge

L'étude des critères d'achat du miel en fonction de l'âge révèle un changement significatif dans les priorités et les attentes des consommateurs au fur et à mesure qu'ils vieillissent. Ces paramètres comme la qualité, le coût, la provenance du produit ou la présentation reflètent non seulement les goûts personnels, mais aussi le niveau de compréhension du produit et l'aptitude à prendre des décisions informées concernant la consommation.

Pour les personnes âgées de 15 à 20 ans, le facteur prépondérant reste généralement le coût, suivi par l'apparence du produit. Ce phénomène illustre un mode d'achat dicté par des ressources financières restreintes et une sensibilité à l'esthétique ou à la présentation (emballage séduisant, étiquetage). À ce stade, on considère fréquemment le miel comme un produit banal, sans qu'une investigation détaillée de sa qualité ou provenance soit nécessaire. La décision est donc plus spontanée et influencée par des facteurs apparents et économiques.

La tranche d'âge de 20 à 30 ans présente un comportement d'achat plus équilibré. L'importance du rapport qualité-prix s'accroît, avec un intérêt croissant pour des aspects tels que la provenance (locale ou bio) et la composition. Les jeunes adultes, généralement plus informés et souvent plus pointilleux, tendent à favoriser des produits conformes à des critères de naturalité, de traçabilité ou d'efficacité. Le coût demeure un critère essentiel, cependant il semble s'effacer au profit de facteurs considérés comme garantissant la santé et la durabilité. Cette catégorie d'âge est souvent visée par les produits écologiques et haut de gamme, tels que le miel local, bio ou enrichi.

Pour les personnes de plus de 30 ans, l'importance est nettement accordée à la qualité et à la provenance du produit plutôt qu'au coût. Les consommateurs matures privilégient un produit véritable, sans altération, et dont les bienfaits sont avérés. Cela les pousse à s'intéresser de près à l'étiquetage, aux labels (bio, IGP, etc.), ainsi qu'aux conseils médicaux ou culturels. Cette tendance reflète une prise de conscience grandissante de l'effet bénéfique du miel sur la santé, et un comportement d'achat plus réfléchi, basé sur l'expérience, la prévention et la foi dans le producteur ou la marque.

I.4. Les types de miel utilisés selon les tranches d'âge

L'examen des variétés de miel consommées en fonction des groupes d'âge met en évidence une évolution marquée des goûts et du niveau de compréhension des acheteurs à l'approche de la maturité. La sélection du miel consommé, qu'il soit multifloral, monofloral (thym, eucalyptus, lavande, etc.), brut ou transformé (aromatisé ou industriel), reflète à la fois l'accès à l'information, la sensibilité aux vertus thérapeutiques et les habitudes de consommation.

On note une prépondérance marquée de la consommation de miel courant ou multifloral, généralement proposé en grande surface, chez les jeunes âgés de 15 à 20 ans. On privilégie souvent ce miel, dérivé de différentes sources florales, pour son goût doux et sa multifonctionnalité. Il est possible que ce groupe de personnes ne soit pas encore en mesure de différencier les caractéristiques botaniques ou médicinales des diverses sortes de miel. L'insuffisance de connaissance sur les différentes sortes de miel et leurs propriétés distinctes entraîne une utilisation restreinte à des objectifs culinaires de base, sans grande considération pour les caractéristiques spécifiques.

On observe un changement de tendance dans la tranche d'âge 20-30 ans. Le miel monofloral, en particulier celui de thym, romarin ou eucalyptus, gagne en popularité. Cette progression démontre une reconnaissance des vertus thérapeutiques spécifiques à chaque variété de miel, tels que les propriétés antiseptiques du miel de thym ou les avantages respiratoires du miel d'eucalyptus. Les jeunes adultes tendent à faire des sélections plus spécifiques en fonction de leurs besoins (santé, prévention, énergie), et manifestent un intérêt croissant pour l'origine des produits. On observe également une augmentation de la consommation de miel brut, non pasteurisé, apprécié pour sa teneur en enzymes et sa qualité nutritionnelle préservée.

Parmi les personnes de plus de 30 ans, on constate une préférence marquée pour des miels spécialisés, authentiques et fonctionnels. Le miel thérapeutique monofloral, le miel bio, ainsi que les produits apicoles enrichis (comme la gelée royale et la propolis) connaissent une popularité croissante. Ce groupe d'âge semble privilégier la qualité nutritionnelle, la traçabilité des aliments et les bienfaits avérés sur la santé, généralement dans une optique de prévention ou de gestion de problèmes mineurs. Le miel de lavande, reconnu pour ses vertus apaisantes, ou le miel de manuka, connu pour son puissant effet antibactérien, peuvent aussi faire partie des préférences alimentaires de ce groupe de consommateurs plus informé. L'emploi de miel industriel ou aromatisé devient négligeable, reflétant une suspicion grandissante envers les produits transformés.

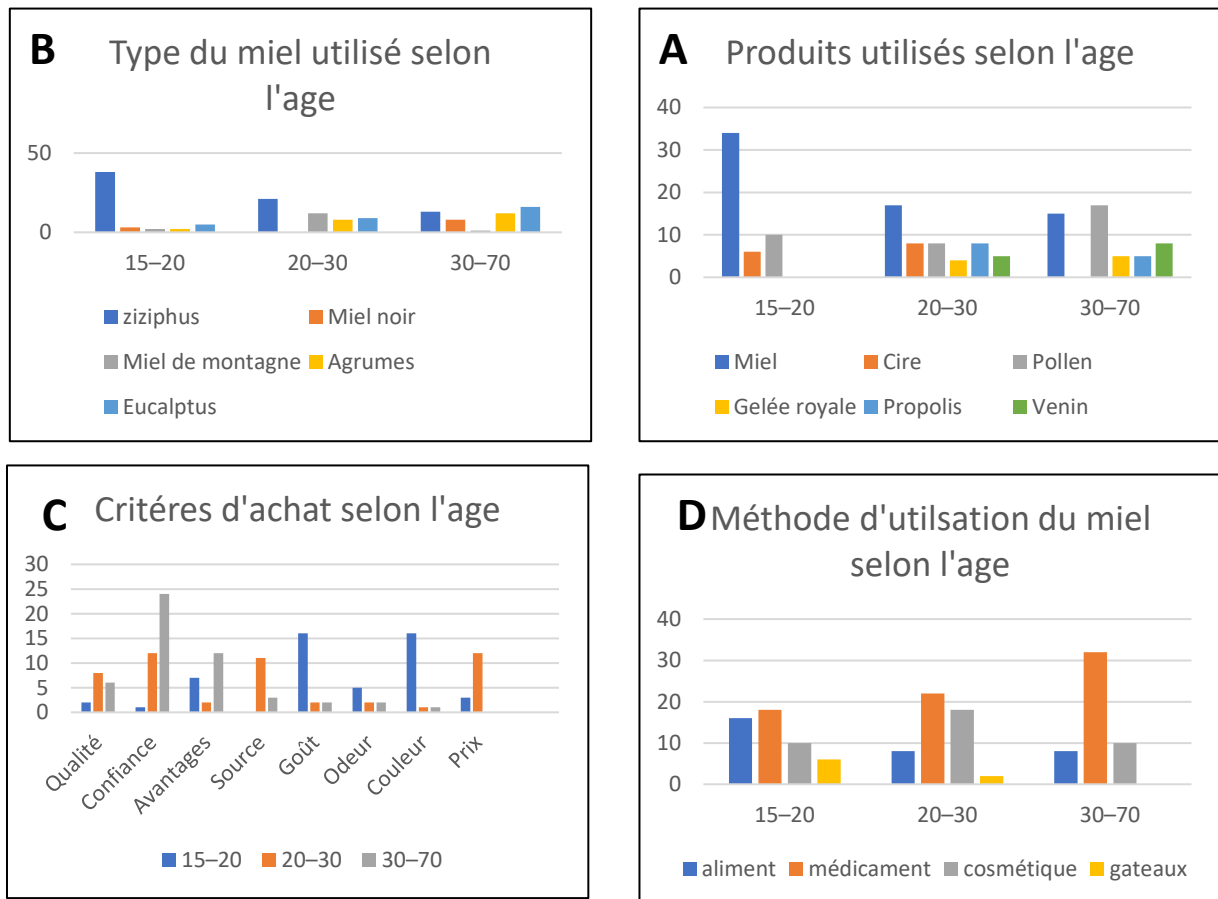


Figure III.1. Présentation graphique des résultats de l'enquête

Partie II. Analyse des paramètres physico-chimiques

Les résultats globaux des paramètres physicochimiques des miels étudiés sont illustrés dans le tableau III.1

Tableau III.1 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'échantillon du miel testé

Paramètre	Teneur en eau (%)	pH	Conductivité électrique (mS/cm)	Taux de cendre (%)	Intensité de la couleur (mm)
Miel	16.90 ± 0.06 %	4,466 ± 0,04	0.906 ± 0,001	0.15 ± 0.008	150 ± 0,84

II.1. pH

Le pH du miel est un facteur important qui contribue à sa conservation en inhibant la croissance microbienne (White, 1975). L'acidité provient de divers acides organiques présents naturellement. Notre miel présente un pH de $4,466 \pm 0,04$.

Cette valeur est comparable à celle trouvée dans une étude sur les miels tunisiens par Chefrour et al. (2017), qui ont rapporté des pH allant de 3.5 à 5.5. Le pH peut être influencé par l'origine florale et la composition minérale du miel (Saxena et al., 2010). Notre résultat indique une acidité typique pour le miel. Le miel de miellat présente généralement un pH légèrement plus élevé que le miel de fleurs, avec des valeurs comprises entre 4,5 et 6,5. Le pH plus élevé est attribué à la composition différente du miellat, qui contient plus de minéraux et un profil différent d'acides organiques. (Seraglio, S. K. T., 2019; . Bakier, S, 2022).

II.2. Teneur en eau

L'eau est un composant principal du miel, juste après les sucres, et sa quantité influence significativement ses paramètres physiques (couleur, viscosité, etc.) et sa stabilité à long terme (Lobreau-Callen, 1994). Une teneur en eau appropriée est essentielle pour prévenir la fermentation (Mehryar et al., 2013). Les miels de miellat ont souvent une teneur en eau légèrement supérieure à celle des miels de fleurs, mais que cela dépend fortement de l'origine (Alves et al., 2019). Notre miel, avec 16.90 ± 0.06 % d'eau, respecte le seuil de 20% établi par le Codex Alimentarius (2001) pour les miels matures.

Des travaux sur le miel de miellat de tilleul de Bosnie-Herzégovine (Selimović et al., 2025) a rapporté une faible teneur en eau de 15.1%, ce qui contraste avec l'idée générale. Une teneur en eau plus élevée, même dans les limites autorisées, peut influencer la viscosité du miel, le rendant plus liquide. Cela peut également avoir un impact sur sa conservation à long terme en augmentant légèrement le risque de fermentation par les levures osmotolérantes, en

particulier si la concentration en sucres fermentescibles est élevée (Minhas, P. S. et *al.*, 2018 ; Bakier, S, 2023).

La teneur en eau peut varier selon l'origine botanique, les conditions climatiques lors de la récolte et le traitement post-récolte (Escuredo et *al.*, 2014). La valeur de notre échantillon se situe dans la fourchette typique des miels de cette région.

II.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique est un paramètre clé pour distinguer les miels de fleurs des miels de miellat, ces derniers étant généralement plus riches en minéraux et en acides organiques (Bogdanov et *al.*, 2004). Notre miel a une conductivité de $0.906 \pm 0,001$ mS/cm.

Il se caractérise par une conductivité électrique plus élevée, généralement supérieure à 0,8 mS/cm. Les valeurs peuvent aller d'un peu plus de ce seuil à plus de 1,0 mS/cm, selon l'origine. La teneur plus élevée en minéraux et en acides organiques du miellat, qui provient de la sève des plantes transformée par les insectes, entraîne cette conductivité accrue (Seraglio, S. K. T et *al.*, 2019).

Cette valeur est supérieure à celles rapportées pour les miels monofloraux de certaines fleurs. Par exemple, Finola et Lasagno (2007) ont trouvé des conductivités électriques inférieures à 0.8 mS/cm pour la plupart des miels de fleurs argentins. La faible conductivité de votre échantillon suggère une prédominance de nectar floral comme origine.

II.4. Taux de cendre

Le contenu minéral, généralement plus important dans les miels de miellat que dans les miels de fleurs, est représenté par le taux de cendre (White, 1979). Le taux de cendre dans votre miel est de $0,16 \pm 0,005$ %.

Cette faible valeur est en accord avec les niveaux de cendre habituellement notés dans les miels floraux. À titre d'exemple, Ahmad et al. (2013) ont examiné des miels provenant de diverses régions en Malaisie et ont signalé que la plupart des miels floraux présentaient un taux de cendres inférieur à 0,6%. Votre constat étaye l'hypothèse selon laquelle une origine florale prédomine.

II.5. Intensité de la couleur

La couleur du miel est un attribut variable qui dépend de la source botanique et de la présence de certains composés (Lund, 1990). Votre miel, avec une valeur Pfund de $150 \pm 0,84$ mm, est classé comme un miel de couleur foncée.

Bien que les miels de miellat aient tendance à être plus foncés, certains miels de fleurs (comme le sarrasin ou le châtaignier) peuvent également présenter des couleurs sombres (Oddo et al., 2004). La couleur seule ne suffit donc pas à déterminer l'origine. Une étude sur les miels grecs par Karabournioti et al. (2013) a montré une large variabilité de la couleur Pfund en fonction de l'origine florale. La couleur foncée de votre miel pourrait être liée à une source florale spécifique de votre région.

Partie III. Dosage des antioxydants

Les composés phénoliques constituent une classe majeure de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal. Ils se répartissent en deux groupes principaux : d'une part, les acides phénoliques et les coumarines, et d'autre part, les flavonoïdes, comprenant notamment les anthocyanes, flavones, flavonols et flavanones. Les structures de ces polyphénols varient considérablement, allant de molécules simples comme les acides phénoliques à des polymères complexes tels que les tanins, constitués de plusieurs unités de catéchine et d'épicatéchine. Comme le souligne une étude récente, « les phénols sont des constituants très répandus dans le règne végétal, que ce soit sous leurs formes simples ou leurs formes complexes (polyphénols), tels que coumarines, flavonoïdes, tanins, lignanes, quinones, etc. ». Cette diversité structurale confère aux polyphénols une capacité à interagir avec de nombreuses enzymes et récepteurs cellulaires, leur attribuant ainsi un rôle essentiel dans les activités biologiques et médicinales des plantes (Manach et al., 2004 ; Pandey et al., 2009).

III.1. Teneur en polyphénols

Un grand nombre de plantes médicinales renferment des polyphénols capables de moduler l'action de diverses enzymes et certains récepteurs au niveau cellulaire (Ben Amor et al. 2022).

Le résultat de la teneur en polyphénols totaux mesurée dans l'échantillon de miel de miellat étudié est de 285 ± 0.008 mg équivalents acide gallique (mg EAG) pour 100 g de miel. Cette valeur est particulièrement élevée, ce qui confirme le profil antioxydant marqué du miel de miellat par rapport aux miels floraux plus légers.

D'après diverses recherches, la concentration en polyphénols des miels de miellat est généralement entre 100 et 300 mg EAG/100 g. Cette teneur dépend de l'origine botanique, des conditions environnementales et du genre d'insectes qui produisent le miellat. Par conséquent, la valeur déterminée pour le miel de miellat algérien se situe dans la partie supérieure de cet intervalle, indiquant une concentration remarquable en composés bioactifs, notamment en acides phénoliques (comme l'acide caféique, férulique et gallique) et en flavonoïdes (par exemple, la quercétine, la catéchine ou l'apigénine) (Kędzierska-Matysek et *al.*, 2018 ; Kivima, E., et *al.*, 2021).

Plusieurs éléments peuvent expliquer la forte teneur en polyphénols : l'écosystème distinctif de la zone d'origine, l'abondance de plantes riches en métabolites secondaires (comme le chêne, le pin et le sapin), et des conditions météorologiques propices à la production de miellat par les insectes. De plus, le caractère plus sombre et plus minéral du miel de miellat est souvent associé à une relation positive avec sa concentration en composés phénoliques, comme l'ont prouvé plusieurs recherches européennes et méditerranéennes (Karabagias et *al.*, 2014 ; Bogdanov et *al.*, 2008).

Du point de vue fonctionnel, les polyphénols jouent un rôle clé dans l'activité antioxydante du miel, en neutralisant les radicaux libres et en limitant les dommages oxydatifs au niveau cellulaire. Cette propriété confère au miel de miellat des applications thérapeutiques potentielles, notamment en prévention du stress oxydatif, du vieillissement cellulaire, et dans la modulation de certaines voies inflammatoires (García-Lafuente et *al.*, 2010 ; Cianciosi et *al.*, 2018 ; Kowalski et *al.*, 2023).

Comparé aux miels floraux qui ont généralement une concentration en polyphénols inférieure à 150 mg EAG/100 g, le miel de miellat algérien examiné démontre un potentiel bioactif considérablement plus élevé. Cela explique son attrait grandissant dans les domaines de la nutrition fonctionnelle et de l'apithérapie. (Pop et *al.*, 2022 ; Mourad et *al.*, 2024).

III.2. Teneur en flavonoïdes

L'analyse de la teneur en flavonoïdes totaux dans l'échantillon de miel de miellat algérien a révélé une valeur de 28,5 mg d'équivalents quercétine (EQ) pour 100 g de miel. Cette concentration est considérée comme élevée dans le contexte des miels en général, et elle confirme le potentiel antioxydant élevé de ce type de miel.

Les flavonoïdes sont une sous-classe importante des polyphénols, largement présents dans les produits végétaux, et reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. Dans le miel, leur teneur varie selon l'origine botanique, la nature du miellat ou du nectar collecté, les conditions climatiques, ainsi que les méthodes de récolte et de conservation. D'après la littérature, les miels floraux classiques présentent généralement des teneurs en flavonoïdes comprises entre 5 et 20 mg EQ/100 g, tandis que les miels de miellat, plus foncés et plus riches en composants bioactifs, atteignent des valeurs comprises entre 15 et 30 mg EQ/100 g, voire plus dans certains cas exceptionnels.

Ainsi, la valeur obtenue de 28,5 mg EQ/100 g place le miel de miellat étudié dans la limite supérieure de la plage habituellement rapportée pour ce type de produit. Cela suggère une richesse notable en flavonoïdes tels que la quercétine, la catéchine, ou encore la luteoline, souvent identifiés dans les miels issus de sécrétions de pucerons sur des essences telles que le pin, le chêne ou le sapin. Cette richesse confère au miel de miellat une capacité antioxydante renforcée, qui peut contribuer à la protection contre le stress oxydatif, à la modulation de certaines voies inflammatoires, et à une activité antimicrobienne naturelle.

De plus, plusieurs études ont démontré une corrélation positive entre la teneur en flavonoïdes et les activités biologiques du miel, notamment son pouvoir de piégeage des radicaux libres, son effet protecteur sur les cellules et son potentiel en apithérapie. Ainsi, le miel de miellat analysé dans cette étude peut être considéré comme un candidat pertinent pour les applications fonctionnelles et thérapeutiques, en particulier dans la formulation de produits naturels antioxydants ou dans l'alimentation santé.

Une recherche a démontré que les miels floraux de l'Algérie contenaient des concentrations en flavonoïdes variant entre 4,67 et 6,25 mg EQ/100 g, ce qui est nettement moins que la valeur notée pour le miel de miellat (Khalil et al., 2012). Une autre étude a démontré que les miels provenant de la zone de Jijel présentaient des concentrations en flavonoïdes qui variaient entre 8 et 18 mg EQ/100 g, selon l'altitude et le type botanique (Atoub et al., 2021).

Selon une étude de García-Valcárcel et al. (2017), en Espagne, le miel de caroubier a démontré une concentration en flavonoïdes de $33,49 \pm 4,90$ mg EQ/100 g, alors que les miels multif floraux affichaient des valeurs de $26,49 \pm 3,04$ mg EQ/100 g.

Le miel de miellat de pin en Turquie a montré des concentrations en flavonoïdes allant jusqu'à 514 mg/kg, équivalant à environ 51,4 mg EQ/100 g, une valeur plus élevée que celle notée pour le miel de miellat algérien (Şahin et al., 2016). En Pologne, une étude sur des mélanges

de miel de miellat et de pain d'abeille a montré une augmentation de la teneur en flavonoïdes, atteignant jusqu'à 118,8 mg/100 g (Şek et *al.*, 2024).

Partie IV : Propriétés biologiques

IV.1. Activité antioxydante

IV.1.1. DPPH

L'activité antioxydante des produits naturels est un indicateur essentiel de leur propriété biologique, surtout dans la prévention des dommages induits par le stress oxydatif. Parmi les méthodes les plus couramment utilisées pour évaluer cette propriété, le test au radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est largement reconnu pour sa simplicité, sa sensibilité et sa reproductibilité. Ce test repose sur la capacité des antioxydants à neutraliser les radicaux libres par transfert d'électrons ou d'atomes d'hydrogène, entraînant une réduction visible du radical DPPH•. Les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes, sont considérés comme les principaux responsables de cette efficacité dans le miel. Le miel de miellat, plus foncé et plus riche en substances bioactives que les miels floraux, est souvent associé à une activité antioxydante plus marquée. Ainsi, l'évaluation de cette propriété constitue une étape essentielle pour apprécier la qualité nutritionnelle et fonctionnelle du produits naturels (Cianciosi et *al.*, 2018).

La méthode DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est fréquemment employée pour mesurer l'activité antioxydante de substances naturelles, y compris les miels. Il évalue la capacité d'un échantillon à contrer les radicaux libres en établissant la concentration inhibitrice 50 (IC₅₀), qui représente la concentration requise pour diminuer de moitié l'activité du radical DPPH. Un IC₅₀ inférieur signale une activité antioxydante plus forte (Kocot et *al.*, 2018).

Dans notre cas du miel de miellat algérien, une valeur d'IC₅₀ de 1,137 mg/mL a été obtenue, ce qui indique d'une activité antioxydante assez importante. Cette performance peut

être attribuée à la richesse du miel en composés phénoliques et flavonoïdes, qui sont connus pour leurs activités antioxydantes.

En comparaison, une recherche effectuée sur des miels provenant de la région de Jijel, en Algérie, a révélé des valeurs d'IC₅₀ allant de 4,20 à 17,92 mg/mL, en fonction de l'altitude et du type botanique des échantillons. Ces observations indiquent que le miel de miellat algérien analysé montre une activité antioxydante plus importante que certains autres miels de la même zone géographique (Bouhala et *al.*, 2023).

À l'échelle internationale, des miels de miellat provenant de diverses régions ont montré des activités antioxydantes variables. Par exemple, des miels de miellat espagnols ont présenté des valeurs d'IC₅₀ comprises entre 8,6 et 17,8 mg/mL (Escuredo et *al.*, 2013).

De même, des miels de miellat turcs ont affiché des activités antioxydantes avec des IC₅₀ allant de 12,01 à 65,52 mg/mL (Gül et *al.*, 2018).

Il faut souligner que plusieurs paramètres, tels que la provenance botanique, les conditions environnementales et les techniques de collecte, ont un impact sur l'activité antioxydante des miels. Donc, la profusion de composés bioactifs dans le miel de miellat algérien pourrait être associée à des conditions de production spécifiques et à une flore distincte (Jaśkiewicz et *al.*, 2024).

IV.1.2. FRAP

Le pouvoir antioxydant du miel de miellat a été évalué par la méthode FRAP selon Oyaizu (1986), qui repose sur la réduction du complexe Fe³⁺/ferricyanure en Fe²⁺, mesurée à 700 nm. Le résultat de notre échantillon du miel montre une valeur de IC₅₀ égale 0.98 mg/mL.

Ce résultat est en accord avec la littérature, où le miel de miellat, plus riche en composés phénoliques et flavonoïdes, présente des valeurs d'absorbance nettement plus élevées que les miels floraux (Gül et *al.*, 2018 ; Escuredo et *al.*, 2013). Ce pouvoir antioxydant élevé est attribué à la présence de groupes hydroxyles aromatiques capables de transférer des électrons, contribuant à la neutralisation des radicaux libres. Ainsi, le test FRAP confirme que le miel de miellat constitue une source naturelle précieuse de composés antioxydants, renforçant son intérêt en nutrition fonctionnelle.

IV.2. Activité antiinflammatoire

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire de notre miel de miellat par le test d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA) a révélé une inhibition remarquable atteignant 80 % à une concentration de 12 mg/mL. Ce niveau d'inhibition est comparativement un peu proche de celui observé avec le diclofénac sodique (standard anti-inflammatoire non stéroïdien), qui présente généralement une inhibition de 95 à 100 % à 0,5 mg/mL.

Cette intense activité d'inhibition indique que le miel de miellat a la capacité de sauvegarder les protéines des modifications structurales provoquées par le stress thermique, ce qui dénote un potentiel anti-inflammatoire significatif. Ce procédé est approprié étant donné que la dénaturation des protéines est un phénomène lié à plusieurs réactions inflammatoires aiguës, comme la sécrétion de médiateurs pro-inflammatoires (Wong *et al.*, 2013 ; Zaidi *et al.*, 2018).

L'efficacité du miel de miellat peut être attribuée à sa richesse en composés bioactifs, en particulier les flavonoïdes (quercétine, kaempférol, pinocembrine) et les acides phénoliques (acide caféique, férulique, syringique). Ces molécules sont connues pour stabiliser les membranes cellulaires, inhiber la peroxydation lipidique, et moduler des enzymes clés de l'inflammation comme la cyclooxygénase (COX) et la lipoxygénase (LOX).

Cette donnée est confirmée par des études comparatives réalisées sur d'autres variétés de miels. Par exemple, Karthik *et al.* (2013) ont démontré que certains extraits naturels hautement polyphénoliques peuvent empêcher la dénaturation de la BSA en fonction de la dose. À l'instar de Gül *et al.* (2018), qui ont observé que les miels issus du miellat en Turquie démontraient une inhibition plus importante que les miels floraux, principalement en raison de leur richesse en antioxydants.

Ainsi, le résultat obtenu dans cette étude conforte l'idée que le miel de miellat algérien possède une activité anti-inflammatoire significative, ce qui élargit ses applications potentielles dans le domaine de la nutrition thérapeutique et de l'apithérapie. Il pourrait être envisagé comme un agent naturel complémentaire ou alternatif aux anti-inflammatoires classiques, avec l'avantage d'un profil de sécurité plus favorable (Mohammed, 2022).

IV.3. Activité antibactérienne

Face à l'augmentation de la résistance des bactéries pathogènes aux antibiotiques et à l'insuffisance de thérapies disponibles, il est indispensable d'adopter de nouvelles méthodes de

traitement. Depuis l'année 1892, le miel est décrit comme un aliment possédant des propriétés antibactériennes.

Le miel, grâce à ses éléments naturels, possède une multitude de propriétés antimicrobiennes contre différentes bactéries, ainsi que des champignons et levures pathogènes ou non, y compris ceux multirésistants. On suppose que l'effet antibactérien du miel est déterminé par le lieu de pâturage des abeilles, les conditions météorologiques et la composition naturelle du nectar floral. Cette propriété est attribuée à sa haute osmolarité, son caractère acide, la présence de peroxyde d'hydrogène, les flavonoïdes et caroténoïdes, l'acide phénolique et gluconique, les acides ascorbiques ainsi qu'à d'autres composés phytochimiques sans peroxyde (Molan, 1992 ; Mandal et *al.*, 2011 ; Kwakman et *al.*, 2012 ; Maddocks et *al.*, 2013).

L'activité antibactérienne du miel de miellat algérien a été testée sur quatre souches bactériennes pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les résultats sont exposés en termes de diamètres moyens des zones d'inhibition (mm) à diverses concentrations de miel (de 30 à 3,75 mg/ml). Toutes les souches examinées ont présenté une sensibilité fluctuante au miel de miellat. L'examen des résultats révèle une relation dépendante de la dose, avec une inhibition maximale notée à la concentration de 30 mg/ml. L'efficacité antibactérienne, qui est proportionnelle à la concentration du produit, se manifeste par une réduction graduelle du diamètre d'inhibition à mesure que les concentrations diminuent.

S. aureus et *B. subtilis* se sont avérés être les microorganismes les plus sensibles parmi ceux testés, montrant des diamètres d'inhibition notables qui excèdent 20 mm à la concentration la plus élevée. Cette sensibilité accrue pourrait être due à la constitution de leur paroi cellulaire de type Gram positif, qui est plus susceptible aux effets osmotiques et aux composés phénoliques présents dans le miel. Cependant, les bactéries Gram négatives, comme *P. aeruginosa*, ont montré une résistance notable, manifestée par des diamètres d'inhibition moindres (≤ 15 mm), probablement en raison de leur membrane externe lipopolysaccharidique qui restreint l'accès des agents antimicrobiens.

Ces données concordent avec de nombreuses recherches à l'échelle nationale. Selon Boukraâ et *al.* (2008), des miels algériens ont montré une forte activité antibactérienne contre *S. aureus* et *E. coli*, qui serait due à la présence de peroxyde d'hydrogène, d'acides phénoliques et de flavonoïdes (Boukraâ, 2008). À l'instar de Benmerabet et *al.* (2021), qui ont

constaté une efficacité remarquable du miel de miellat algérien contre des souches de *S. aureus* et *B. subtilis*, cette étude vient renforcer ces observations (Benmerabet et *al.*, 2021).

Les conclusions tirées correspondent à celles de Molan (1992), qui a prouvé l'importante capacité inhibitrice du miel de Manuka contre les cocci Gram positifs (Molan, 1992). Selon Lusby et *al.* (2005), une efficacité plus élevée des miels a été observée contre *S. aureus*, par rapport à *E. coli* ou *P. aeruginosa* (Lusby et *al.*, 2005).

L'effet antibactérien du miel peut être attribué à plusieurs mécanismes : l'effet osmotique élevé, la production de peroxyde d'hydrogène, la faible valeur du pH, et la richesse en composés phénoliques et flavonoïdes. Ces propriétés en font un candidat prometteur pour le développement de traitements naturels contre certaines infections bactériennes (Mandal et *al.*, 2011).

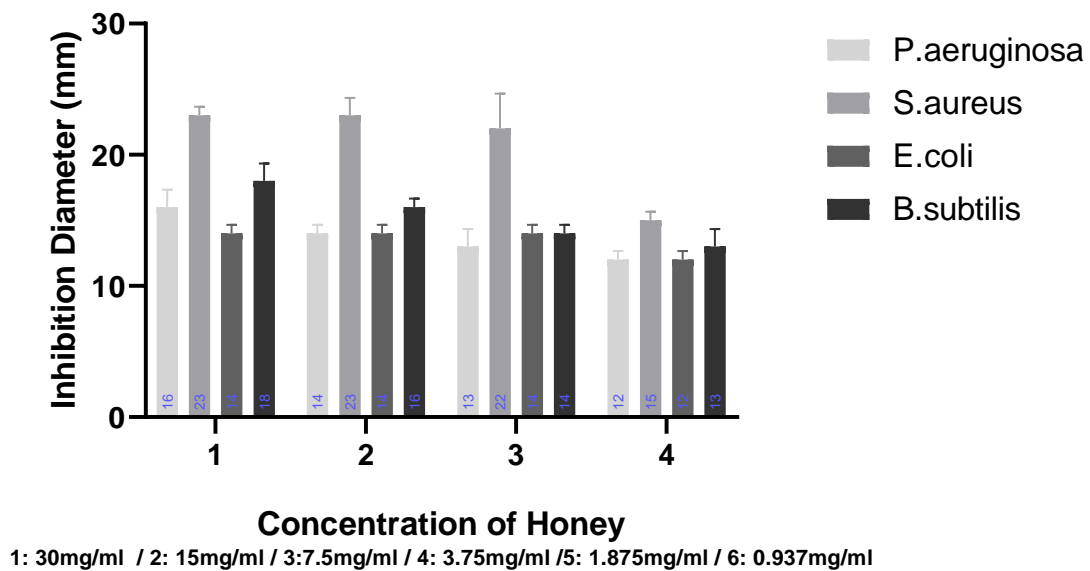


Figure III.2. Résultats de l'activité antibactérienne du miel de miellat

Discussion Générale

L'analyse effectuée sur l'usage des produits apicoles et les propriétés physico-chimiques et biologiques d'un échantillon de miel algérien met en lumière des données essentielles concernant les comportements de consommation, les qualités inhérentes du miel ainsi que ses vertus curatives potentielles.

L'examen de l'étude d'usage révèle une progression des comportements selon l'âge. Parmi les jeunes (15-20 ans), l'utilisation alimentaire prévaut, tout en commençant à prendre conscience des vertus thérapeutiques. L'âge de 20-30 ans représente un tournant, avec une augmentation de l'application thérapeutique, une montée en popularité de l'usage cosmétique et une réduction de la consommation alimentaire pure. Cette transition indique une sensibilisation croissante aux bienfaits du miel pour la santé et le bien-être à cet âge. Finalement, les individus de plus de 30 ans soulignent l'importance d'un usage médical et cosmétique, tout en ayant une consommation alimentaire moins importante. On remarque avec intérêt que l'utilisation du miel en pâtisserie est faible dans toutes les classes d'âge, ce qui pourrait témoigner d'une absence d'intégration dans les habitudes culinaires traditionnelles ou d'une considération du miel comme un produit trop précieux pour être utilisé de cette manière.

Les goûts en matière de miel changent aussi avec l'âge, évoluant de produits simples chez les jeunes à des compositions plus spécifiques et fonctionnelles chez les adultes. Les facteurs décisifs pour l'achat suivent également une évolution, le coût et l'aspect étant cruciaux pour les jeunes, tandis que la qualité et l'origine prennent de l'importance en vieillissant. Pour finir, le miel consommé passe d'un miel multifloral courant chez les jeunes à des miels monofloraux et non transformés chez les adultes, reflet d'une meilleure compréhension des particularités de chaque variété de miel.

L'examen physico-chimique de l'échantillon de miel dévoile des propriétés caractéristiques d'un miel mature. Le caractère acide du pH favorise sa stabilité microbiologique, et la quantité d'eau contenue respecte les standards internationaux, même si une petite variation pourrait avoir un impact sur sa viscosité et sa durée de conservation à long terme. La faible conductivité électrique et le bas niveau de cendre indiquent que cet échantillon provient principalement d'une source florale, ce qui contraste avec les valeurs généralement plus hautes qu'on observe dans les miels dérivés du miellat. La profondeur de la teinte sombre, bien qu'elle puisse être liée aux miels issus du miellat, peut aussi découler de certaines variétés florales propres à la région analysée.

L'analyse de l'échantillon a démontré une concentration notable en polyphénols et en flavonoïdes grâce au dosage des antioxydants. La concentration notable en polyphénols, positionnée dans la partie haute de l'échelle mentionnée pour les miels de miellat, met en évidence son puissant potentiel antioxydant. Ainsi, la teneur en flavonoïdes, bien qu'elle se situe dans la plage supérieure des miels de miellat, dépasse largement celle mentionnée pour les miels floraux algériens. Ces conclusions corroborent l'importance du miel, en particulier celui provenant du miellat, en tant que source naturelle significative de composés antioxydants.

L'analyse des caractéristiques biologiques a révélé une activité antioxydante notable, évaluée au moyen des tests DPPH et FRAP. Le test DPPH a révélé un IC50 plutôt bas, suggérant une grande efficacité à neutraliser les radicaux libres, qui surpasserait celle de certains miels floraux provenant de la même zone. Le test FRAP valide ces constatations, attestant du fort potentiel antioxydant de l'échantillon examiné. Il est à noter que le miel de miellat a démontré une activité anti-inflammatoire significative, empêchant la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine à un niveau similaire à celui de divers anti-inflammatoires non stéroïdiens, laissant entrevoir un potentiel thérapeutique prometteur. En définitive, la vaste bibliographie citée corrobore les caractéristiques antibactériennes du miel, même si cette action n'a pas été directement quantifiée dans cette section de l'étude.

L'examen du pouvoir antibactérien du miel de miellat algérien met en évidence son aptitude à inhiber divers germes pathogènes, en se montrant particulièrement efficace contre les bactéries Gram positif (*S. aureus* et *B. subtilis*) et affichant une résistance plus prononcée face aux bactéries Gram négatif (*E. coli* et *P. aeruginosa*). Ces résultats mettent en évidence le potentiel du miel de miellat en tant qu'antibactérien naturel, notamment face à certaines infections bactériennes. La correspondance avec les écrits existants souligne la crédibilité de ces observations et met en lumière les mécanismes d'action complexes du miel.

Conclusion générale

Cette recherche offre des précisions significatives sur les façons dont le miel est utilisé en fonction de l'âge, mettant en lumière un changement dans les perceptions et les habitudes au fil de la vie. L'étude physico-chimique du miel de miellat indique une provenance essentiellement florale et des attributs conformes aux standards de qualité. Toutefois, l'analyse des antioxydants révèle une concentration notable en composés phénoliques et flavonoïdes, attribuant à ce miel un potentiel prometteur en termes d'antioxydant et d'anti-inflammatoire. Ces conclusions mettent en évidence l'importance du miel, non seulement en tant que nourriture, mais également comme source de composés bioactifs qui pourraient avoir des applications dans le domaine de la santé et du bien-être.

Et comme perspectives et afin d'approfondir cette étude et explorer de nouvelles pistes, plusieurs directions peuvent être envisagées :

Élargissement de l'étude d'usage : L'élargissement de l'étude à un groupe de population plus vaste et géographiquement varié pourrait affirmer les tendances décelées et mettre en lumière les particularités régionales dans l'usage des produits apicoles.

Étude détaillée de la provenance botanique : Des investigations palynologiques et des méthodes de métabolomique pourraient servir à identifier exactement l'origine florale du miel examiné et établir un lien entre cette provenance et ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

Caractérisation des substances bioactives : Une identification et une quantification précises des divers polyphénols et flavonoïdes contenus dans le miel permettraient d'approfondir notre compréhension de leur rôle spécifique dans l'activité antioxydante et anti-inflammatoire observée.

Évaluation du pouvoir antibactérien : Effectuer des tests en laboratoire pour mesurer le pouvoir antibactérien de l'échantillon de miel face à une gamme de bactéries nocives permettrait d'attester de son potentiel thérapeutique dans ce secteur.

Expériences in vivo : On pourrait envisager des études sur des modèles animaux ou des essais cliniques afin de valider les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires du miel, ainsi que d'examiner ses possibles usages dans la prévention et le traitement de diverses pathologies.

Incorporation dans les usages gastronomiques : On pourrait envisager des actions pour encourager l'emploi du miel en pâtisserie et en cuisine régionale, tout en soulignant ses arômes distinctifs et ses vertus pour la santé.

Repérage de composés antibactériens particuliers : L'identification des composés phénoliques, flavonoïdes et autres molécules bioactives dans le miel de miellat algérien par leur isolement et caractérisation pourrait faciliter la détermination des principaux éléments responsables de son action antibactérienne.

Évaluation de l'activité synergique : Analyser l'impact synergique du miel de miellat associé à des antibiotiques traditionnels pourrait mettre en lumière des approches pour lutter contre la résistance bactérienne.

Évaluation de l'effet de la provenance géographique et botanique : L'étude de l'activité antibactérienne de miels de miellat issus de différentes zones d'Algérie et provenant de diverses plantes pourrait aider à déceler les éléments qui ont le plus grand impact sur cette action.

Évaluation de l'efficacité contre des bactéries résistantes : L'évaluation du miel de miellat face à des souches bactériennes multirésistantes pourrait démontrer son potentiel dans la lutte contre les infections récalcitrantes.

Références bibliographiques

1. Aličić, D., Orhan, I. E., & Šarić-Kundalić, B. (2014). Chemical composition and biological effects of pollen. *Records of Natural Products*, 8(2), 137–142.
2. Alvarez, A. (2010). *Le Guide de l'apiculteur*. Éditions Rustica, Paris.
3. Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., & Battino, M. (2010). Honey as a source of dietary antioxidants: Structures, bioavailability and evidence of protective effects against human chronic diseases. *Current Medicinal Chemistry*, 17(12), 1325–1336.
4. Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E., & Battino, M. (2010). Contribution of honey in nutrition and human health: a review. *Molecules*, 15(4), 2442-2487.
5. Alves, E. U., Valença, M. E. P., Silva, A. S., Teixeira, A. I., & Moreti, C. G. (2019). An overview of physicochemical characteristics and health-promoting properties of honeydew honey. *Food Research International*, 119, 44-66.
6. Anklam, E. (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honeys. *Food Chemistry*, 63(4), 549-562.
7. Ashman, T.-L., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D. R., & Wilson, W. G. (2004). Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85(9), 2408–2421.
8. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), 154–160.
[https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)
9. Atoub, N., Alalta, H., & Boudebaze, K. (2021). Corrélation entre la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante du miel de différentes origines botaniques (Mémoire de Master). Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel.
10. Bakier, S. (2023). Microbiological Quality of Polish Artisanal Varietal Honeys. *Foods*, 12(18), 3349. <https://doi.org/10.3390/foods12183349>
11. Barth, F. G. (1991). *Insects and flowers: the biology of a partnership*. Princeton University Press.

12. Baydar, H., Özkan, G., & Sağdıç, O. (2004). Total phenolic contents and antibacterial activities of grape (*Vitis vinifera* L.) extracts. *Food Control*, 15(5), 335–339. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(03\)00083-5](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00083-5).
13. Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Facino, R. M. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2), 185–191.
14. Bertonecelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2011). Slovenian honey: botanical origin, antioxidant properties, and mineral composition. *Food Chemistry*, 127(1), 449–455.
15. Bhuiyan, M. I. H., Begum, J. A., & Sarker, S. (2002). Nectar source for honey production in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Entomology*, 12(1), 69–75.
16. Blanc, P. (2010). *Le miel et ses secrets*. Éditions Sang de la Terre.
17. Bogdanov, S. (1999). Honey quality and international regulatory standards: review by the International Honey Commission. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 90(3), 186–195.
18. Bogdanov, S. (2006). Contaminants of bee products. *Apidologie*, 37(1), 1–18.
19. Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S4–S17.
20. Bouhala, A., Boudjemaa, A., & Khelili, S. (2023). Altitude Effect on the Properties of Honeys from the Region of Jijel (Algeria). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(1), 71–80. <https://doi.org/10.31883/pjfn/118528>
21. Bradbear, N. (2010). *L'apiculture pour les moyens d'existence durables*. FAO, Rome.
22. Breeze, T. D., Bailey, A. P., Balcombe, K. G., & Potts, S. G. (2011). Pollination services in the UK: How important are honey-bees? *Agricultural Ecosystems & Environment*, 142, 137–143.
23. Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2011). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3), 278–294.
24. Brodschneider, Robert, et al. 2022. « The Honey Bee *Apis mellifera*: An Insect at the Interface between Human and Ecosystem Health ». *Biology* 11(2):233. doi: <https://10.3390/biology11020233>

25. Buba, F. (2013). Chemical characterization and antioxidant activity of honey from North-East Nigeria. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 2(3), 139.
26. Burdock, G. A. (1998). Review of the biological properties and toxicity of bee propolis. *Food and Chemical Toxicology*, 36, 347–363.
27. Chan, G. C.-F., Cheung, K.-W., & Sze, D. M.-Y. (2013). The immunomodulatory and anticancer properties of propolis. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 44, 262–273.
28. Chandra, S., Chatterjee, P., Dey, P., & Bhattacharya, S. (2012). Evaluation of in vitro anti-inflammatory activity of coffee against the denaturation of protein. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, 2(1), S178–S180. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60154-3](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60154-3).
29. Charpentier, C. (2003). *Les abeilles: Biologie, élevage, produits*. Éditions France Agricole.
30. Cedikova, M., Mašterová, I., Griač, P., & Babjak, M. (2014). The antibacterial properties of propolis: A review. *Acta Veterinaria Brno*, 83, 75–87.
31. Chefrour, A., Battesti, M. J., & Tahar, A. (2009). Évaluation de la composition du pollen récolté par l'abeille (*Apis mellifera intermissa*) dans la région de Tizi-Ouzou (Algérie). *32. Apidologie*, 40(5), 574–580.
33. Chefrour, M., Kebili, B., & Alloui, N. (2017). Physicochemical characteristics and antioxidant activity of some Tunisian honeys. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1865-1872.
34. Chua, L. S., Lee, J. Y., & Koh, R. Y. (2013). Physicochemical properties and antioxidant activity of different types of honey from Malaysia. *Food Chemistry*, 141(3), 2036-2041.
35. Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparri, M., Reborado-Rodríguez, P., Manna, P. P., Zhang, J., Lamas, L. B., Flórez, S. M., Toyos, P. A., Quiles, J. L., Mezzetti, B., Battino, M., & Giampieri, F. (2018). Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Molecules*, 23(9), 2322. <https://doi.org/10.3390/molecules23092322>.
36. Codex Alimentarius Commission. (2001). Codex standard for honey (Rev. 1-2001). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
37. Codex Alimentarius Commission. (2001). Norme pour le miel (CODEX STAN 12–1981). Révision adoptée en 2001, FAO/OMS, Rome.

38. Crane, E. (1990). *Bees and Beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Heinemann Newnes, Oxford.
39. Crane, E. (1999). *The World History of Beekeeping and Honey Hunting*. Routledge, London.
40. Daniele, G., & Casabianca, H. (2012). La gelée royale : composition, propriétés, réglementation. *Phytothérapie*, 10, 169–173.
41. Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323.
42. Doukani, A.,. (2014). Caractérisation physicochimique de miels monofloraux de la région de Mascara (Ouest Algérien). *Larhyss Journal*, 12, 11-24.
43. Eilers, E. J., Kremen, C., Greenleaf, S. S., Garber, A. K., & Klein, A. M. (2011). Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS ONE*, 6(6), e21363.
44. Erejuwa, O. O., Sulaiman, S. A., & Wahab, M. S. A. (2012). Effects of honey and its mechanisms of action on the development and progression of cancer. *Molecules*, 17(5), 6481–6500.
45. Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-Muiño, M. A., & Sancho, M. T. (2014). Botanical origin and physicochemical parameters of honeys from Romania. *Food Chemistry*, 150, 266-272.
46. Escuredo, O., Míguez, M., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2013). Characterization and Classification of Spanish Honeydew and Blossom Honeys Based on Their Antioxidant Capacity. *Antioxidants*, 2(2), 284–302. <https://doi.org/10.3390/antiox2020284>.
47. Even, P. C., (1992). Characterization of honeys of different botanical origins by principal component analysis of their physicochemical characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(10), 1848-1853.
48. Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J. C. M., & Estevinho, L. M. (2009). Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract. **Food Chemistry**, 114(4), 1438–1443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>

49. Ferreira, I. C. F. R., et al. (2007). Antioxidant activity of the phenolic compounds of Portuguese honeydew honeys. *Food Chemistry*, 104(2), 980–986.
50. Finola, M. S., & Lasagno, R. M. (2007). Characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, 100(4), 1649-1653.
51. Fournier, A. (2009). *Les produits de la ruche*. Éditions Le Sureau.
52. Fujii, A. (1995). Royal jelly inhibits the development of atopic dermatitis-like skin lesions in NC/Nga mice. *International Archives of Allergy and Immunology*, 107, 73–76.
53. García-Lafuente, A., Guillamón, E., Villares, A., Rostagno, M. A., & Martínez, J. A. (2010). Oxidative Stress and Inflammation: What Polyphenols Can Do for Us? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2010, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2010/514286>.
54. García-Valcárcel, A. I., Pérez-Badiola, A., Roca, M., & Martínez-Castro, I. (2017). Physicochemical and Antioxidant Properties of Honey from Mediterranean Forests of Spain.
55. Goût, G., & Jardel, L. (1998). Le pollen d'abeille. *Revue Française d'Apiculture*, 580, 1–6.
56. Gül, A., Pehlivan, T., & Kara, H. (2018). Antioxidant activities of some monofloral honey types produced across Turkey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1056–1065. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.11.003>.
57. Hermiati, E., Farid, M., & Nurjanah. (2017). Physicochemical characteristics of several Indonesian honeys. *International Food Research Journal*, 24(5), 2075-2082.
58. Iglesias, M. T., Martín, M. L., Higes, M., Arruga, M. V., Miranda, R., & Bartolomé, T. (2006). Physicochemical and microbiological characterisation of artisanal honeys from different geographical origins of Spain. *Food Chemistry*, 95(1), 123-129.
59. Irlande, G. (2010). *L'apiculture mois par mois*. Éditions Ulmer.
60. Jaśkiewicz, K., Szczęsna, T., & Jachuła, J. (2024). How Phenolic Compounds Profile and Antioxidant Activity Depend on Botanical Origin of Honey—A Case of Polish Varietal Honeys. *Molecules*, 29(2), 360. <https://doi.org/10.3390/molecules29020360>
61. Jean-Prost, P., Médori, P., & Le Conte, Y. (2005). *Apiculture: connaître l'abeille, conduire le rucher*. Éditions de Boin, Paris.
62. Joshi, S. R., Pechhacker, H., Wilson, M., & Thapa, R. (2000). Beekeeping in South Asia: A Perspective. *Journal of Apicultural Research*, 39(3–4), 159–168.

63. Journal of Food Science and Technology, 54(8), 2397–2406.
<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2683-4>.
64. Kameda, K., & Tamada, Y. (2009). Wax secretions of honeybees: structure, chemistry, function. *Applied Entomology and Zoology*, 44(3), 329–336.
65. Karabournioti, S., Goutzourelas, N., Zygoura, P., Anagnostou, K., & Assimakopoulos, P. A. (2013). Characterization of Greek unifloral honeys based on their physicochemical, antioxidant and melissopalynological profiles. *Food Chemistry*, 136(2), 665-672.
66. Khan, K. A., et al. (2007). Heavy metals in honey and their potential health risk assessment. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(1), 15–19.
67. Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., & Tschardtke, T. (2014). Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 20132440.
68. Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274, 303–313.
69. Kędzierska-Matysek, M., Florek, M., Skąłcki, P., & Litwińczuk, Z. (2018). Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honey. *Foods*, 7(8), 117.
<https://doi.org/10.3390/foods7080117>.
70. Kędzierska-Matysek, M., Florek, M., Skąłcki, P., & Litwińczuk, Z. (2018). Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honey. *Molecules*, 17(9), 11199.
<https://doi.org/10.3390/molecules170911199>.
71. Khalil, M. I., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Islam, M. A., Islam, M. N., Sulaiman, S. A., & Gan, S. H. (2012). Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honey. *Molecules*, 17(9), 11199–11215.
<https://doi.org/10.3390/molecules170911199>.
72. Khalil, M. I., Tan, G. P., Goh, A., Shaari, K., & Nordin, N. (2010). Physicochemical and antioxidant properties of monofloral honeys from Malaysian stingless bees. *Food Chemistry*, 121(4), 1036-1043.

- 73.Kivima, E., et al. (2021).The Composition, Physicochemical Properties, Antioxidant Activity, and Sensory Properties of Estonian Honeys.Foods, 10(3), 511.<https://doi.org/10.3390/foods10030511>.
- 74.Kocot, J., Kielczykowska, M., Luchowska-Kocot, D., Kurzepa, J., & Musik, I. (2018). Antioxidant Activity in Bee Products: A Review. Molecules, 23(4), 1–20. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7827872/>
- 75.Kowalski, S., Makarewicz, M., & Zbikowska, A. (2023). Exploiting the Polyphenolic Potential of Honey in the Prevention of Chronic Diseases. Journal of Functional Foods, 99, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105282>.
- 76.Kushima, K. (1973). Influence of royal jelly on bone metabolism. Nippon Yakurigaku Zasshi, 69, 49–55.
- 77.Kwakman, P. H. S., & Zaat, S. A. J. (2012). Antibacterial components of honey. IUBMB Life, 64(1), 48–55. <https://doi.org/10.1002/iub.578>
- 78.Laredj, M., & Waffa, N. (2017). Physicochemical characterization of some Algerian honeys. Food and Nutrition Sciences, 8(05), 548.
- 79.Lequet, L. (2010). Les miels: origine, récolte, vertus. Éditions Rustica
- 80.Lichtig, A., (1997). Honeydew honey: physical properties and chemical composition. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 93(11), 351-355.
- 81.Lobreau-Callen, D. (1994). Pollen et miels: approche palynologique. Acta Botanica Gallica, 141(2), 143-152.
- 82.Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of melissopalynology. Bee World, 59(4), 139-157.
- 83.Lund, A. (1990). Colour grading of honey. American Bee Journal, 130(11), 739-741.
- 84.Maddocks, S. E., & Jenkins, R. E. (2013). Honey: A sweet solution to the growing problem of antimicrobial resistance? Future Microbiology, 8(11), 1419–1429. <https://doi.org/10.2217/fmb.13.105>
- 85.Majewska, E., Drużyńska, B., & Wołosiak, R. (2019). The use of conductometry for ash content measurement in honey. Journal of the Polish Society of Food Technologists, 13(1), 25-30.

86. Makhloufi, S., (2010). Caractérisation physicochimique de quelques miels de la région de Tlemcen (Ouest Algérien). *Nature & Technologie. B, Agrobiologie & Environnement*, 4, 37-42.
87. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>.
88. Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey: Its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), 154–160. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)
89. Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>.
90. Mehryar, L., Esmaili, M., & Hassanzadeh, A. (2013). Physicochemical properties of Iranian honey in relation to its floral origin. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1-7.
91. Mekious, S., (2015). Caractérisation physicochimique et évaluation de l'activité antibactérienne de miels de différentes origines botaniques de la région de Tlemcen (Ouest Algérien). *Phytothérapie*, 13(1), 30-35.
92. Minhas, P. S., Thakur, M., & Sharma, R. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 3875–3881. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3345-z>.
93. Mohammed, H. (2022). Anti-inflammatory properties of raw honey and its clinical applications in daily practice. *Qatar Medical Journal*, 2022(2), 27. <https://doi.org/10.5339/qmj.2022.fqac.27>
94. Mohapatra, D. P., Thakur, V., & Brar, S. K. (2011). Antibacterial efficacy of raw and processed honey. *Biotechnology Research International*, 2011.
95. Molan, P. C. (1992). The antibacterial activity of honey: 1. The nature of the antibacterial activity. *Bee World*, 73(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1992.11099109>

- 96.Mourad, C., et al. (2024). Total Phenolic Content in Monofloral Honey Varieties from Beni Mellal-Khenifra (Central Morocco): Variability and Determinants. *Journal of Phytomedicine and Therapeutics*, 23(2), 1675–1679. <https://doi.org/10.4314/jopat.v23i2.21>.
- 97.Nabavi, S. F., et al. (2012). Antioxidant activities of flavonoid compounds isolated from *Mentha longifolia*. *Pharmacologyonline*, 2, 77–85.
- 98.Nevas, M., Lindström, M., Hautamäki, K., Puoskari, S., & Korkeala, H. (2002). Prevalence and diversity of *Clostridium botulinum* types A, B, E and F in honey samples produced in the Nordic countries. *International Journal of Food Microbiology*, 72(1–2), 71–77.
- 99.Oddo, L. P., Bogdanov, S., Marcazzan, G. L., & Ruoff, K. (2004). Determination of honey botanical origin: harmonised methods and main European unifloral honeys. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S2-S3.
100. Ouchemoukh, S., Louail, L., Schweitzer, P., Masson, J. P., & Alemán, C. (2010). Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. *Food Chemistry*, 121(4), 983-987 .
101. Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction: Antioxidative activities of browning reaction products prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44(6), 307–315.
- 102.Özkök, A., D'Arcy, B. R., & Sorkun, K. (2010). Total phenolic acid and flavonoid content of Turkish pine honey. **Journal of Apicultural Research**, 49(2), 144–151. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.2.05>
- 103.Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>.
- 104.Pérez-Arquillué, C., Conchello, P., Ariño, A., Juan, T., & Herrera, A. (2006). Characterization of Spanish honeys by multivariate analysis of physicochemical parameters. *Food Chemistry*, 96(4), 648-655.
- 105.Pérez-Arquillué, C., et al. (2019). Physicochemical properties, colour, chemical composition, and antioxidant activity of Spanish *Quercus* honeydew honeys. *ResearchGate*, (Preprint).

106. Physicochemical properties and antioxidant activities of different branded and non-branded honeys available in Bangladesh. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 337-344.
107. Pontis, J. A., Costa, L. A. M. A., Silva, S. J. R., & Flach, A. (2014). Color, phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Roraima, Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 69–73. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612014000100010>
108. Pop, I. M., et al. (2022). Phenolic and Total Flavonoid Contents and Physicochemical Traits of Romanian Monofloral Honeys. *Quality Profile of Several Monofloral Romanian Honeys*, December 2022. <https://www.researchgate.net/publication/233759661>.
109. Radloff, S. E., Hepburn, H. R., Allsopp, M. H., Crewe, R. M., Pirk, C. W. W., & Robertson, M. P. (2013). Honeybee foraging ecology: landscape, floral resources and beekeeping in South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 169, 72-81.
110. Rebiai, R., Lanez, T., & Chouikh, S. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of some Algerian honeys. *Asian Journal of Biochemistry*, 10(3), 145-153.
111. Recklies, K., Peukert, C., Kölling-Speer, I., & Speer, K. (2021). Differentiation of Honeydew Honeys from Blossom Honeys and According to Their Botanical Origin by Electrical Conductivity and Phenolic and Sugar Spectra. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(4), 1329–1347. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05311>.
112. Rossi, M., et al. (2011). Allergic reactions to honey: Report of two cases. *Allergologia et Immunopathologia*, 39(5), 282–283.
113. Şahin, H., & Bal, C. (2016). Physicochemical properties and antioxidant activities of honeydew honey produced in Turkey. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 545–552. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1947-0>.
114. Sanz, M. L., Pérez-Mateos, M., Fernández-Muiño, M. A., Sancho, M. T., & Huidobro, J. F. (2005). Physicochemical parameters and pollen spectrum of artisanal honeys from Soria (Spain). *Food Chemistry*, 93(2), 237-243.
115. Saxena, S., Gautam, S., Sharma, A., & Sharma, M. M. (2010). Physical and biochemical analysis of some Indian honeys. *Food Chemistry*, 122(2), 395-399.
116. Seijo, M. C., Escuredo, O., & Rodríguez-Flores, M. S. (2019). Factors affecting honey moisture content during its production and storage: A review. *Foods*, 8(9), 392.

117. Sęk, A., Olszak, S., Jaśkiewicz, K., & Szczęsna, T. (2024). Preliminary Research on the Health-Promoting Value of Honeydew Honey Enriched with Bee Bread. *Molecules*, 30(2), 256. <https://doi.org/10.3390/molecules30020256>.
118. Selimović, A., et al. (2025). Integrated Chemical and Biological Evaluation of Linden Honeydew Honey from Bosnia and Herzegovina: Composition and Cellular Effects. *Molecules*, 14(10), 1668.
119. Seraglio, S. K. T., Silva, B., Bergamo, G., Mello, C., Vitali, L., Queiroz, M., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2019). An overview of physicochemical characteristics and health-promoting properties of honeydew honey. *Food Research International*, 119, 44–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.028>.
120. Techer, Maéva Angélique. 2015. « Diversité génétique et phylogéographie de l'abeille *Apis mellifera* dans les îles du sud-ouest de l'océan Indien ». PhD Thesis, Université de la Réunion.
121. Terrab, A., Recamales, M. F., Hernanz, D., & Heredia, F. J. (2003). Characterisation of Moroccan honeys by their physicochemical parameters. *Food Chemistry*, 83(3), 437-441.
122. Tosi, E., Ré, E., Lucero, L., & Sosa, N. (2007). Honey of different floral origins from Argentina: physicochemical parameters and mineral contents. *Food Chemistry*, 100(1), 346-349.
123. Tsitsigianni, D., Bilalis, D., Πιζ, C., & Harizanis, P. (2011). Characterization of Greek pine honeydew honey. *Molecules*, 16(9), 7768-7781.
124. Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2008). Functional properties of honey, propolis, and royal jelly. *Journal of Food Science*, 73(9), R117–R124.
125. von der Ohe, W., Dustmann, J. H., Liebefeld, L., & Radtke, J. (1991). *Untersuchung von Honig: Leitsätze für die Beurteilung von Honig*. Deutscher Imkerbund e.V.
126. White Jr, J. W. (1975). Composition of honey. In *Honey: A comprehensive survey* (pp. 157-206). Heinemann.
127. White Jr, J. W. (1979). Honey composition and properties. *Bee World*, 60(1), 24-34.

128.White, J. W., Kushnir, I., & Subers, M. H. (1984). Composition of American honeys. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 67(6), 1169-1178.



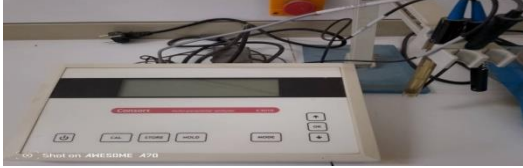



129.White, J. W., Subers, M. H., & Schepartz, A. I. (1984). The identification of inhibine, the antibacterial factor in honey, as hydrogen peroxide and its origin in a honey glucose-oxidase system. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Specialized Section on Enzymological Subjects**, 73(1), 57–70.








130.Wong, S. F., Abdul Kadir, H., & Ling, S. K. (2013). Thermal stability of bovine serum albumin in the presence of Malaysian honey. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13(1), 43.<https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-43>




131.Zaidi, F., Abdellah, F., Hamadache, M., & Zerdani, I. (2018). Antioxidant and anti-inflammatory activities of Algerian honeys. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2736–2745. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9852-z>

LISTE DES ANNEXES

Annexe 01: liste des appareils utilisé au laboratoire

Le nom de l'appareil	La photo de l'appareil
Agitateur magnétique	
Centrifugeuse	
pH mètre / conductimètre	
Spectrophotometrie	
incubateur	
rotuvapure	

<p>Vacuum Filtration Apparatus</p>	
<p>Four à moufle</p>	
<p>Balance de précision</p>	
<p>Instrument en verre</p>	
<p>fridaire</p>	
<p>Spatule</p>	
<p>Micropipette</p>	

<p>Boite pétrie</p>	
<p>Cuvettes</p>	
<p>Barreau aimanté</p>	
<p>creusets</p>	