

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Département de Biologie cellulaire et moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

THEME

*Contribution à l'étude des propriétés biologiques
de la gelée royale produite dans différentes
régions d'Algérie*

Présenté par l'étudiante:

ABID Abir

Devant le jury composé de:

Promotrice: Dr.BEN AMOR Safia

Ecole Supérieure d'Agriculture Saharienne à El Oued

Présidente: ZAÂTER Abdelmalek

Université Echahid Hamma Lakhdar à El Oued

Examinatrice : ZAÎM Siham

Université Echahid Hamma Lakhdar à El Oued

Soutenu le:18 /10/2025

Remerciement

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant qui m'a guidée sur le chemin du savoir, m'a ouvert les portes de la connaissance et m'a accordé la volonté ainsi que la force nécessaire pour mener à bien ce travail. Louange à Lui, par la grâce duquel les bonnes œuvres s'accomplissent.

J'exprime ma profonde reconnaissance à ma chère professeure, Mme Ben Amor Safia, de l'École Supérieure d'Agriculture d'El Oued, pour sa encadrement bienveillant et pour avoir accepté également de discuter ce mémoire. Je lui suis infiniment reconnaissante pour son savoir, ses précieux conseils et son soutien constant, sans lesquels ce travail n'aurait pas pu être mené à terme. Qu'elle trouve ici l'expression de mon respect et de ma gratitude les plus sincères.

Je remercie également:

Monsieur le président ZAÂTER Abdelmalek 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 l'examinatrice ZAÎM Siham, d'avoir eu l'amabilité d'accepter de partager sa connaissance et de faire partie de mon Jury en qualité d'examinatrice.

Je tiens également à remercier l'ensemble des enseignants et le personnel du laboratoire pour leur aide précieuse et pour m'avoir fourni les moyens matériels indispensables à la réalisation de la partie expérimentale de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs de la faculté, en particulier à ceux du département de Biochimie Appliquée, pour la qualité de leur enseignement, leur patience et leur générosité dans la transmission du savoir tout au long de mon parcours universitaire.

Je n'oublie pas de remercier mon amie Bouras Amina, pour son soutien, ses conseils et ses orientations, qui m'ont accompagnée à chaque étape de ce travail.

Ma gratitude s'adresse également à Mr. Tlili Mohamed Laid, pour son appui sincère et constant en toutes circonstances, dont l'impact positif a profondément marqué ce parcours.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements aux membres du jury, qui ont accepté de juger ce travail modeste, de lui consacrer leur temps précieux et de l'enrichir par leurs observations constructives. J'espère que ce mémoire sera à la hauteur de leurs attentes.

Je remercie également toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'achèvement de ce travail, et je leur exprime toute ma reconnaissance.

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم
"وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا"
-سورة طه. الآية 144-

Tout d'abord ,je rends grâce à Allah, Le Très-Haut, pour Son aide et Son appui qui m'ont permis d'achever ce travail. Je Lui demande de le rendre utile pour moi et pour les autres.

À la **mémoire de ma mère**, que Dieu ait son âme, en reconnaissance de tout ce qu'elle m'a offert
De son vivant.

À **mon cher père, Abid Laid**, que Dieu lui accorde longue vie et le récompense pour son appui et
Ses soins.

À **mes frères ,sœurs et à l'épouse de mon père** ,avec toute mon affection et ma gratitude.

À **toute ma grande et petite famille**, pour leur présence constante à mes côtés.

À **mes amies précieuses** ,pour leur aide et leurs encouragements.

Enfin, je prie Dieu que le fruit de cet effort soit un chemin vers le bienet la connaissance, une
lumière pour moi et pour tous ceux qui en bénéficieront.

ABIR

Résumé

La gelée royale est une substance fabriquée par les jeunes abeilles ouvrières (*Apis Mellifera*). cette sécrétion est riche en composés bioactifs et assure de nombreuses activités biologiques in vivo favorables à la santé.

Le but de cette étude était de comparer la composition chimique et l'effet des activités biologiques entre deux échantillons de gelée royale prélevés dans deux zones différentes (Blida et El-Oued) en Algérie.

Les résultats révèlent que la teneur en polyphénols totaux de la gelée royale de Blida (0.219 ± 0.010 mg GAE/g) est supérieure à celle d'El-Oued (0.153 ± 0.0010 mg GAE/g). De même, la teneur en flavonoïdes totaux est plus élevée à Blida (0.078 ± 0.005 mg QE/g) qu'à El-Oued (0.0563 ± 0.00047 mg QE/g).

L'activité antioxydante, évaluée par le test DPPH, est plus importante à Blida ($IC_{50} = 0.310$ mg/mL) qu'à El-Oued ($IC_{50} = 0.375$ mg/mL), tandis que selon le test FRAP, l'échantillon d'El-Oued présente une meilleure capacité réductrice ($EC_{50} = 0.102$ mg/mL contre 0.167 mg/mL).

Dans le test au β -carotène, la gelée royale de Blida montre un pouvoir inhibiteur de 85,4 % à 2 mg/mL, contre 78,9 % pour celle d'El-Oued.

Concernant l'activité anti-inflammatoire, la gelée royale de Blida ($IC_{50} = 0.9036$ mg/mL) s'est révélée plus efficace que celle d'El-Oued ($IC_{50} = 1.049$ mg/mL).

Cette différence de concentration inhibitrice suggère que la gelée royale de Blida pourrait avoir un pouvoir anti-inflammatoire plus élevé.

Il est à noter que, bien qu'efficace, elle reste moins active que le diclofénac sodique ($IC_{50} = 0.3012$ mg/mL), utilisé comme anti-inflammatoire de référence.

Enfin, les tests antibactériens ont montré une inhibition significative de la croissance bactérienne de *Staphylococcus aureus*, avec des zones d'inhibition de 20.67 mm pour Blida et 16.83 mm pour El-Oued, inférieures à celle de la gentamicine (27.5 mm).

Ces résultats démontrent que l'origine géographique influence la composition chimique et les activités biologiques de la gelée royale, et mettent en évidence l'intérêt de ce produit naturel comme source potentielle de composés bioactifs et de nutriments bénéfiques pour la santé humaine.

Mots-clés: Gelée royale, polyphénols , flavonoïdes, activité antioxydante, activité anti-inflammatoire, activité antibactérienne, *Apis Mellifera*, Blida, El-Oued.

الملخص

يُعدّ غذاء الملكات مادة تُفرزها شغالات النحل الفتية، (*Apis Mellifera*). وتتميز هذه الإفرازات بغناها بالمركّبات النشطة بيولوجيًا، كما تمتلك العديد من الأنشطة الحيوية داخل الكائن الحي المفيدة للصحة.

هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة التركيب الكيميائي وتأثير الأنشطة البيولوجية بين عينتين من غذاء الملكات جُمعتا من منطقتين مختلفتين (البلدية والوادي) في الجزائر.

أظهرت النتائج أن محتوى البوليفينولات الكلي في غذاء الملكات من البلدية (0.219 ± 0.010 mg GAE/g) أعلى من ذلك المسجل في عينة الوادي (0.153 ± 0.0010 mg GAE/g). وبالمثل، فإن محتوى الفلافونويدات الكلي كان أكبر في البلدية (0.078 ± 0.005 mg QE/g) مقارنة بالوادي (0.0563 ± 0.00047 mg QE/g).

كانت الفعالية المضادة للأكسدة المقيمة باختبار DPPH، أعلى في البلدية ($IC_{50} = 0.310$ MG/ML) مقارنة بالوادي (0.375 MG/ML)، بينما أظهرت عينة الوادي قدرة اختزالية أعلى في اختبار FRAP ($EC_{50} = 0.102$ MG/ML) مقابل 0.167 MG/ML.

وفي اختبار β -carotène، أظهرت عينة البلدية قدرة تثبيطية بلغت 85.4% عند تركيز 2 MG/ML، مقابل 78.9% لعينة الوادي.

أما بالنسبة إلى النشاط المضاد للالتهاب، فقد بينت النتائج أن غذاء الملكات من البلدية ($IC_{50} = 0.9036$ MG/ML) أكثر فعالية من عينة الوادي ($IC_{50} = 1.049$ MG/ML). وتشير هذه الفروق في التركيز المثبط إلى أن عينة البلدية قد تمتلك قدرة مضادة للالتهاب أعلى.

ومع ذلك، تبقى فعاليتها أقل من الديكلوفيناك الصوديومي ($IC_{50} = 0.3012$ MG/ML)، وهو مضاد التهاب أقوى يُستخدم كمرجع.

أما الاختبارات المضادة للبكتيريا، فقد أظهرت تثبيطًا ملحوظًا للنمو البكتيري لبكتيريا STAPHYLOCOCCUS AUREUS، حيث بلغت مناطق التثبيط (20.67 مم لعينة البلدية و 16.83 مم لعينة الوادي)، وهي أقل من تلك المسجلة عند استخدام الجنتاميسين (27.5 مم).

تُظهر هذه النتائج أن الأصل الجغرافي يؤثر على التركيب الكيميائي والأنشطة البيولوجية لغذاء الملكات، مما يؤكد أهمية هذا المنتج الطبيعي كمصدر محتمل للمركّبات النشطة بيولوجيًا والمغذيات المفيدة للصحة الإنسانية.

الكلمات المفتاحية: غذاء الملكات، البوليفينولات، الفلافونويدات، مضاد أكسدة، مضاد التهاب، مضاد بكتيري، البلدية، الوادي.

Abstract

Royal jelly is a substance produced by young worker bees (*Apis Mellifera*). This secretion is rich in bioactive compounds and provides numerous in vivo biological activities that are beneficial to health. The aim of this study was to compare the chemical composition and biological activity effects of two royal jelly samples collected from two different areas (Blida and El-Oued) in Algeria.

The results reveal that the total polyphenol content of royal jelly from Blida (0.219 ± 0.010 mg GAE/g) is higher than that of El-Oued (0.153 ± 0.0010 mg GAE/g).

Similarly, the total flavonoid content is higher in Blida (0.078 ± 0.005 mg QE/g) than in El-Oued (0.0563 ± 0.00047 mg QE/g).

Antioxidant activity, assessed by the DPPH assay, was higher in Blida ($IC_{50} = 0.310$ mg/mL) than in El-Oued (0.375 mg/mL), while according to the FRAP assay, the El-Oued sample exhibited a better reducing capacity ($EC_{50} = 0.102$ mg/mL versus 0.167 mg/mL).

In the β -carotene assay, royal jelly from Blida showed an inhibitory power of 85.4% at 2 mg/mL, compared to 78.9% for royal jelly from El-Oued.

Regarding anti-inflammatory activity, royal jelly from Blida ($IC_{50} = 0.9036$ mg/mL) was more effective than royal jelly from El-Oued ($IC_{50} = 1.049$ mg/mL).

This difference in inhibitory concentration suggests that royal jelly from Blida may have greater anti-inflammatory activity.

It should be noted that, although effective, it remains less active than diclofenac sodium ($IC_{50} = 0.3012$ mg/mL), used as the standard anti-inflammatory.

Finally, antibacterial tests showed significant inhibition of *Staphylococcus aureus* bacterial growth, with inhibition zones of 20.67 mm for Blida and 16.83 mm for El-Oued, lower than that of gentamicin (27.5 mm).

These results demonstrate that geographic origin influences the chemical composition and biological activities of royal jelly, and highlight the value of this natural product as a potential source of bioactive compounds and nutrients beneficial to human health.

Keywords: Royal jelly, polyphenol, flavonoid, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, antibacterial activity, *Apis Mellifera*, Blida, El-Oued

Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUME

ملخص

ABSTRACT

LISTE DES TABLEAUX

LIST DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

PARTIE I:Revue Bibliographiques

CHAPITRE I: L'ABEILLE DOMESTIQUE, ORGANISATION ET FONCTIONS ESSENTIELLES	3
1. Généralités.....	3
2. Classification des abeilles	3
3. Taxonomie de l'abeille mellifère.....	4
4. La morphologie de l'abeille	5
La tête	5
Le thorax	5
L'abdomen	6
5. Les castes d'abeille	6
La reine	7
Les ouvrières	7
Les faux-bourçons	8
6. Importance socio-économique et écologique de l'abeille.....	8
Rôle essentiel dans la reproduction des plantes cultivées et sauvages	8
La diversité des produits apicoles.....	9
CHAPITRE II: COMPOSITIONS ET BIENFAITS DE LA GELEE ROYALE.....	12
1. Définition	12
2. Origine	12
3. Composition chimique	12
4. Méthodes analytiques de référence appliquées à la gelée royale	14
5. Récolte de la gelée royale	14
6. L'utilisation traditionnelle de la gelée royale	15
7. La conservation et la qualité de la gelée royale	16
8. Propriétés de la gelée royale	16
Propriétés antioxydantes	16
Activité immunostimulante	17
Effets anti-inflammatoires	18

Activité métabolique (hypocholestérolémiant et hypoglycémiant)	19
Effets neuroprotecteurs et cognitifs	19
Propriétés antimicrobiennes et cicatrisantes	20
Propriétés hormonales et revitalisantes.....	21

PARTIE II :Matériels et Méthodes

1. Objectif du travail.....	23
2. Présentation des zones d'étude	23
3. Matériel biologique.....	23
Les échantillons étudiés	23
Souches bactériennes	24
4. Dosage des composés phénoliques	24
Dosage des polyphénols.....	24
Dosage des flavonoïdes.....	25
5. Activité Antioxydante.....	26
Test DPPH.....	26
Test FRAP	27
β-carotène.....	28
6. Activité anti-inflammatoire	29
7. L'activité antibactérienne.....	30
8. Analyses statistiques	31

PARTIE III:Résultats et Discussion

1. Résultat	32
Résultat des dosages.....	32
Résultat de l'activité antioxydant.....	33
Analyse par les tests DPPH et FRAP	33
β-carotène test.....	34
Résultat de l'activité anti-inflammatoire	34
Résultat de l'activité anti bactérienne.....	35
Résulta d'analyses statistique	36
2. Discussion	39
Conclusion.....	43
Références	

Liste des tableaux

TABLEAU I.1: COMPOSITION CHIMIQUES DE LA GELEE ROYALE (XUE ET AL., 2017; GHOSH & JUNG, 2024).....	26
TABLEAU III.1: TENEURS EN COMPOSES PHENOLIQUES TOTAUX (TPC) ET FLAVONOÏDES TOTAUX (TFC) DE LA GELEE ROYALE PROVENANT DE BLIDA ET D'EL-OUED	47
TABLEAU III.2: ACTIVITE ANTIOXYDANTE DE LA GELEE ROYALE SELON LES TESTS DPPH ET FRAP	47
TABLEAU III.3: EFFET INHIBITEUR DE LA GELEE ROYALE DE BLIDA ET D'EL-OUED SUR L'OXYDATION DU B-CAROTENE, COMPARE AUX STANDARDS DE REFERENCE (BHT ET TROLOX), APRES 120 MINUTES D'INCUBATION	48
TABLEAU III.4: ACTIVITE ANTI-INFLAMMATOIRE EXPRIMEE EN VALEURS D'IC ₅₀ (MG/ML).....	49
TABLEAU III.5: COMPARAISON DE L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE DE LA GENTAMICINE ET DES GELEES ROYALES (BLIDA ET EL-OUED) SUR DES SOUCHES DE REFERENCE (ATCC)	49

List des figures

PARTIE I:REVUE BIBLIOGRAPHIQUES

FIGURE I.1: MORPHOLOGIE D'APIS MELLIFERA (HTTPS://WWW.PINTEREST.COM/PIN/197525133630376143/).....	17
FIGURE I.2: ANATOMIE DE L'ABEILLE (HTTPS://ABEILLESINTER.WEEBLY.COM/VOIAGE-AU-CENTRE-DE-LABEILLE.HTML),.....	19
FIGURE I.3: LES TROIS CASTES D'ABEILLE (RIVA,2017).....	21

PARTIE II:MATERIELS ET METHODES

FIGURE II.1:PHOTO DES ECHANTILLONS DE LA GELEE ROYALE ETUDIEES (ORIGINALE,2025).....	37
FIGURE II.2:DOSAGE DE POLYPHENOLS (ORIGINALE,2025).....	38
FIGURE II.3:DOSAGE DES FLAVONOÏDES(ORIGINALE,2025)	39
FIGURE II.4:TEST DPPH DES ECHANTILLONS TESTES(ORIGINALE,2025)	40
FIGURE II.5:TEST FRAP DES ECHANTILLONS ETUDIEES(ORIGINALE,2025).....	41
FIGURE II.6:ACTIVITE ANTIBACTERIENNE DES ECHANTILLONS TESTES (ORIGINALE,2025)	43

PARTIE III: RESULTATS ET DISCUSSION

FIGURE III.1:COURBE D'ETALONNAGE DE L'ACIDE GALLIQUE POUR LA QUANTIFICATION DES POLYPHENOLS TOTAUX	46
FIGURE III.2:COURBE D'ETALONNAGE DE LA QUERCETINE POUR LA QUANTIFICATION DES FLAVONOÏDES TOTAUX.	46
FIGURE III.3:CARTE DE CHALEUR DES CORRELATIONS ENTRE LA TENEUR TOTALE EN COMPOSES PHENOLIQUES (TPC),LATENEUR TOTALE EN FLAVONOÏDES (TFC) ET LES ACTIVITES ANTIOXYDANTES(DPPH,FRAP)	50
FIGURE III.4:ACTIVITE ANTIOXYDANTE AU B-CAROTENE (%D'INHIBITION A 120MIN)DES STANDARDS ET DES EXTRAITS DE GELEE ROYALE.....	51
FIGURE III.5: CHORD DIAGRAM –VISUALISATION DES INTERACTIONS ENTRE LE TPC, LE TFC ET L'ACTIVITE ANTI- INFLAMMATOIRE(BSA)	52
FIGURE III.6: COMPARISON DE L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE DE LA GENTAMICINE ET DE LA GELEE ROYALE (BLIDA,EL-OUED)CONTRE DIFFERENTE SSOUCHES BACTERIENNES (ZONES D'INHIBITION,MM).	53

Liste des abréviations

Abréviation	Terme complet
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANOVA	Analyse de la variance
ATCC	American Type Culture Collection
BHT	Butylhydroxytoluène
BSA	Albumine sérique bovine(<i>Bovine Serum Albumin</i>)
BDNF	Facteur neuro trophique dérivé du cerveau (<i>Brain-Derived Neurotrophic Factor</i>)
CI₅₀/IC₅₀	Concentration inhibitrice à 50% (<i>Inhibitory Concentration 50</i>)
COX-2	Cyclooxygénase-2
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
EC₅₀	Concentration efficace à 50% (<i>Effective Concentration</i> 50)
ERO	Espèces réactives de l'oxygène
ERN	Espèces réactives de l'azote
ET	Écart-type
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
FTIR	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
GAE	Gallic Acid Equivalents
GC-MS	Gas Chromatography–Mass Spectrometry
GPx	Glutathion peroxydase
HbA1c	Hémoglobine glyquée
HDL-C	Lipo protéines de haute densité–Cholestérol
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IL-1β	Interleukine-1bêta
IL-6	Interleukine-6
IL-10	Interleukine-10
iNOS	Oxyde nitrique synthase inductible
LDL-C	Lipoprotéines de basse densité –Cholestérol
LC-MS/MS	Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry
MDA	Malondialdéhyde
MRJP	Major Royal Jelly Proteins
NF-κB	Facteur nucléaire kappa B
RMN	Résonance magnétique nucléaire
SOD	Superoxyde dismutase
TPC	Total Phenolic Content(Teneur en composés phénoliques totaux)
TFC	Total Flavonoid Content (Teneur en flavonoïdes totaux)
TNF-α	Tumor Necrosis Factor alpha
UPLC	Ultra Performance Liquid Chromatography
UV-VIS	Spectroscopie ultra violette-visible
10-HDA	Acide10-hydroxy-2-décénoïque
10-HDAA	Acide10-hydroxydecanoïque

Introduction Générale

Depuis des milliers d'années, l'abeille domestique (*Apis mellifera*) est essentielle à la vie des humains. En favorisant la pollinisation des plantes cultivées, elle contribue effectivement à la production de fruits, de légumes et d'autres cultures essentielles à notre alimentation quotidienne. Les abeilles manifestent une activité incessante, et leur fonction de pollinisateurs s'avère essentielle pour l'environnement naturel et notre alimentation. En allant de fleur en fleur, les abeilles permettent la reproduction des plantes à fleurs et donc la production de fruits, de légumes et de graines dont nous avons besoin pour une alimentation diversifiée et équilibrée. Par ailleurs, son action contribue à maintenir l'équilibre des écosystèmes naturels. En effet, en encourageant la variété des espèces végétales et en permettant la reproduction de nombreuses plantes, il contribue à l'équilibre écologique général. L'apiculture est particulière car elle est basée sur une relation entre les abeilles et l'apiculteur, une dualité indispensable au fonctionnement de l'apiculture. En effet, d'une part, cette dernière garantit la production de divers produits apicoles essentiels, notamment le miel, la cire, la propolis, le pollen, le venin, et principalement la gelée royale. Par ailleurs, elle est essentielle sur le plan écologique et agronomique en contribuant activement à la pollinisation des plantes cultivées et sauvages. Cette contribution à la pollinisation est essentielle pour la biodiversité et la survie des écosystèmes (Ashman et al., 2004; Klein et al., 2007). Il faut savoir que la production agricole mondiale dépend à 35% des pollinisateurs. Donc, l'abeille est indispensable à la sécurité alimentaire et à la biodiversité (Eilers et al., 2011).

La gelée royale, substance naturelle produite par les abeilles ouvrières, attire de plus en plus l'attention des chercheurs et des praticiens de la santé en raison de sa composition chimique complexe et de ses diverses propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. La gelée royale est sécrétée par les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des jeunes ouvrières de la colonie. C'est un aliment particulier, consommé uniquement par la reine de la colonie, ce qui explique sa longévité et sa capacité de reproduction exceptionnelles, comme l'ont montré Guo et al. en 2021. Des recherches récentes, telles que celles de Martinello & Mutinelli (2021), El-Sayed et al. (2025), et Botezan et al. (2023), ont révélé que ledit élément a plusieurs effets positifs sur la santé. En effet, il a été observé qu'il possède des propriétés antioxydantes, immunomodulatrices, anti-inflammatoires, hypoglycémiantes, hypocholestérolémiantes et neuroprotectrices, ainsi qu'une activité antimicrobienne et cicatrisante. Les résultats ci-dessus montrent que ce produit possède des propriétés intrinsèques qui lui donnent un potentiel important en tant que complément alimentaire et sur le plan thérapeutique.

Cependant, il est important de souligner que la qualité et l'efficacité de la gelée royale dépendent de plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, on peut citer l'origine florale et géographique de la gelée royale, ainsi que les méthodes de récolte et de conservation utilisées. Ces éléments ont été identifiés comme des éléments déterminants par des études récentes menées par Mazzei et ses collègues en 2020, ainsi que par Moudjari et Rabia en 2023. Dans le cadre de cette étude, l'objectif principal est d'établir une comparaison détaillée entre deux échantillons de gelée royale provenant de régions distinctes en Algérie, à savoir Blida et El-Oued. Cette comparaison vise à analyser et à mettre en évidence les liens entre la composition biochimique de ces échantillons et leurs différentes propriétés biologiques. Plus spécifiquement, L'étude portera surtout sur l'évaluation des effets antioxydants, anti-inflammatoires et antibactériens de ces deux sortes de gelée royale.

Pour arriver à ces objectifs, cet travail est divisé en trois grands parties:

- ✓ **PARTIE I :** Ce chapitre vise à rassembler et à synthétiser les connaissances actuelles sur l'abeille domestique, *Apis mellifera*. Différents aspects y sont traités, tels que son organisation intraruche, sa morphologie spécifique, et l'impact majeur de ses activités sur les écosystèmes et l'économie. La gelée royale, produite par les abeilles ouvrières pour nourrir les larves d'abeilles et la reine, est intéressante à plusieurs égards. En effet, son identification précise, son origine naturelle, sa composition chimique complète, les méthodes analytiques utilisées pour son étude, les diverses techniques de collecte et de conservation utilisées, les nombreuses propriétés biologiques qui lui sont attribuées sont d'un intérêt particulier.
- ✓ **PARTIE II :** Ce chapitre présente le but de l'étude, les échantillons étudiés, les bactéries utilisées et les différentes méthodes expérimentales appliquées. Les méthodes pour mesurer les polyphénols et flavonoïdes, tester l'activité antioxydante (DPPH, FRAP, β -carotène), évaluer l'activité anti-inflammatoire et antibactérienne, ainsi que les analyses statistiques utilisées sont expliquées en détail.
- ✓ **PARTIE III :** Ce chapitre montre les résultats des analyses chimiques et biologiques des échantillons de gelée royale, en soulignant les différences selon leur lieu d'origine. Ces résultats sont ensuite comparés aux études précédentes pour montrer la valeur biologique et thérapeutique possible de la gelée royale étudiée.

PARTIE I: Revue bibliographiques

Chapire I:L'abeille domestique ,organisation et fonctions essentielles

1. Généralités

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) constitue un insecte social classé dans l'ordre des Hyménoptères et rattaché à la famille des Apidés. Depuis des millénaires, elle tient une place primordiale dans l'existence humaine, tant par les produits qu'elle procure (miel, cire, gelée royale, propolis, pollen, venin) que par son rôle écologique fondamental, notamment en matière de pollinisation. Par le biais de cette activité, les abeilles participent directement à la reproduction d'un vaste ensemble de plantes tant cultivées que sauvages, contribuant ainsi à la préservation de la biodiversité ainsi qu'à la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale.

D'un point de vue biologique, l'abeille constitue un insecte holométabole, dont le cycle de développement se décompose en quatre phases distinctes : œuf, larve, nymphe et adulte. Elle se distingue par une organisation sociale hautement développée, fondée sur une division rigoureuse du travail entre trois castes : la reine, les ouvrières et les mâles. Cette organisation confère à la colonie le statut d'un véritable «super-organisme », apte à survivre et à prospérer grâce à la coopération de l'ensemble de ses membres.

L'importance économique de l'abeille ne se limite pas à l'exploitation des produits de la ruche, employés en alimentation, en médecine traditionnelle et dans l'industrie, mais s'étend également à sa valeur agronomique: la pollinisation effectuée par les abeilles contribue à l'amélioration tant qualitative que quantitative des récoltes. Néanmoins, les populations d'abeilles se trouvent actuellement exposées à de multiples menaces, parmi lesquelles figurent l'emploi intensif des pesticides, les maladies et parasites (tels que *Varroa destructor*), la dégradation des habitats naturels ainsi que les conséquences du changement climatique.

2. Classification des abeilles

Les abeilles représentent un groupe d'insectes appartenant à l'ordre des Hymenoptera et relevant de la super-famille des Apoidea. Cette dernière embrasse six familles, cent trente genres et plus de vingt mille espèces, dont la majorité présente un comportement solitaire, à l'exception d'une famille, les Apidés. Les quatre espèces principales les plus notoires sont les suivantes :

- ✓ *Apis florea*, désignée sous le nom «abeille naine », présente une taille de neuf à dix millimètres. Son habitat s'étend à l'Inde, à la Malaisie, ainsi qu'aux îles de Java et de Bornéo, situées en Indonésie.
- ✓ *Apis dorsata*, désignée sous le nom «abeille géante », présente une taille pouvant atteindre vingt-cinq millimètres. Elle s'étend sur une vaste étendue de.
- ✓ L'Asie du Sud-Est (comprenant l'Inde, le sud de la Chine, les Philippines et l'archipel indonésien).
- ✓ *Apis cerana* (dix à onze millimètres). Son habitat naturel se situe en Asie du Sud et de l'Est.
- ✓ *Apis mellifera*, issue d'Afrique, aurait migré vers l'Europe postérieurement à la dernière période glaciaire et aurait été introduite sur d'autres continents, tels que l'Amérique et l'Australie, par l'intervention humaine.

3. Taxonomie de l'abeille mellifère

Règne: Animalia

Embranchement: Arthropoda

Sous-embranchement: Mandibulata

Classe: Hexapoda

Super Ordre : Hymenopteroidea

Ordre: Hymenoptera(Hymenoptères)

Sous Ordre : Aculeata

Genre: Apis

Espèce: *Apis mellifera*

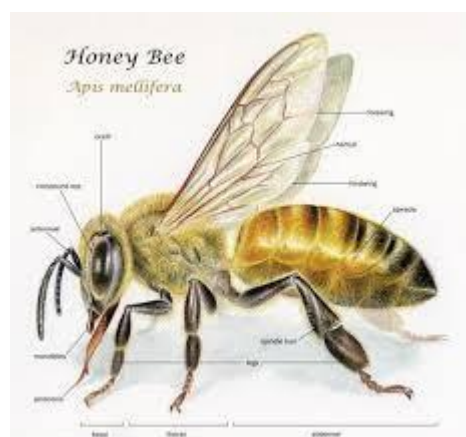


Figure I. 1:Morphologie d'*Apis mellifera*
(<https://www.pinterest.com/pin/197525133630376143/>)

4. La morphologie de l'abeille

Le corps de l'abeille, insecte de l'ordre des hyménoptères, est composé de trois parties distinctes appelées tagmes. Ces tagmes sont la tête, qui abrite les organes sensoriels et la bouche, le thorax, qui porte les pattes et les ailes, et enfin l'abdomen, qui contient les principaux organes internes tels que le tube digestif et les glandes productrices de venin. Dans le corps humain, on peut observer la présence de différents systèmes essentiels à son bon fonctionnement. Parmi ceux-ci, on distingue le système circulatoire, chargé de faire circuler le sang à travers les vaisseaux sanguins, le système nerveux, responsable de la transmission des informations à travers le corps, le système respiratoire, qui permet la respiration et l'oxygénation du sang, ainsi que le système digestif, qui assure la digestion des aliments et l'absorption des nutriments. Ces différents systèmes interagissent de manière complexe pour garantir les fonctions vitales de l'organisme.

La tête

La tête héberge les principaux organes sensoriels ainsi que les pièces buccales. Les antennes, dotées d'une forte concentration de récepteurs sensoriels, permettent la perception des stimuli olfactifs, gustatifs, tactiles et vibratoires. Les yeux composés, caractérisés par leur taille importante, rendent possible une vision panoramique et la détection des mouvements, tandis que les trois ocelles (yeux simples) évaluent l'intensité lumineuse. L'appareil buccal est de type lécheur-suceur : il comprend des mandibules robustes utilisées pour malaxer la cire et défendre la colonie, ainsi qu'une langue (glosse) allongée qui facilite l'aspiration du nectar.

Le thorax

Le thorax représente la portion du corps dédiée à la locomotion. L'organisme étudié possède trois paires de pattes et deux paires d'ailes membraneuses. Chaque paire de pattes remplit une fonction spécifique : les pattes antérieures interviennent dans le nettoyage des antennes, les pattes médianes assurent principalement la locomotion et les pattes postérieures sont pourvues de corbeilles à pollen (corbicules), essentielles au transport des produits de la récolte. Le couplage des ailes antérieures et postérieures, rendu possible par la présence de petites structures en forme de crochets nommées « hamuli », autorise un mouvement de battement synchrone et efficient.

L'abdomen

L'abdomen, partie du corps située entre le thorax et le bassin, est composé de plusieurs segments distincts qui renferment une variété d'organes essentiels pour le bon fonctionnement du système digestif, reproducteur et endocrinien. Ces segments abritent également des glandes spécifiques qui jouent un rôle crucial dans divers processus physiologiques. Chez l'ouvrière, on peut observer différentes glandes spécialisées dans la production de substances essentielles à la colonie. Tout d'abord, il y a les glandes cirières qui sont responsables de la production de cire, nécessaire à la construction des alvéoles. Ensuite, on trouve les glandes hypopharyngiennes qui sécrètent la précieuse gelée royale, aliment exclusif de la reine et des larves. Enfin, il est important de mentionner la poche à venin qui est reliée à une aiguillon fonctionnelle, permettant à l'ouvrière de se défendre en cas de danger. Chez la reine, l'abdomen est caractérisé par sa longueur qui lui permet de pondre des œufs. En effet, l'ovipositeur de la reine a subi des transformations pour devenir un appareil spécialisé dans la ponte des œufs. En revanche, contrairement à la femelle de l'abeille, le mâle ou faux-bourdon se distingue par un abdomen trapu qui est dépourvu de dard, l'organe de défense que l'on retrouve chez la femelle.

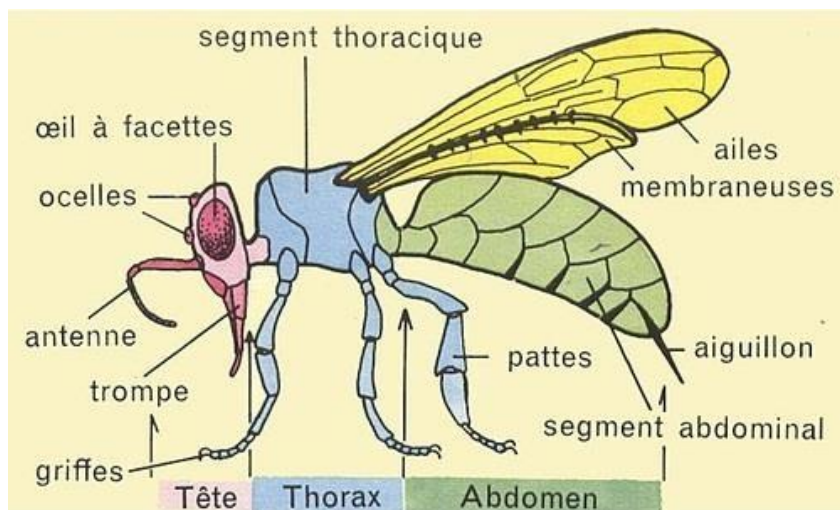


Figure I.2: Anatomie de l'abeille (<https://abeillesinter.weebly.com/voyage-au-centre-de-labeille.html>)

5. Les castes d'abeille

La colonie des abeilles domestiques est structurée selon un système de castes, reflétant une division du travail particulièrement spécialisée. Chaque caste se distingue par des caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales spécifiques,

garantissant ainsi la cohésion et la durabilité de la colonie. On identifie essentiellement trois castes : la reine, les ouvrières et les mâles (faux-bourçons).

La reine

La reine représente la seule femelle pleinement fertile au sein de la colonie. Elle se caractérise par un abdomen allongé hébergeant un appareil reproducteur développé, adapté à l'imposition. Son rôle primordial consiste à mettre les œufs (jusqu'à mille cinq cents à deux mille œufs par jour en période de miellée) et à élaborer des phéromones royales, lesquelles assurent le maintien de la cohésion sociale et inhibent le développement ovarien des ouvrières. La reine ne contribue ni à l'approvisionnement alimentaire, ni à l'édification des rayons, ni à la protection de la colonie. Sa longévité est de 3 à 5 ans, ce qui est nettement supérieur à celle des autres castes.

Les ouvrières

Les ouvrières sont des femelles stériles, dont la morphologie est adaptée à l'exécution des diverses tâches nécessaires au fonctionnement de la colonie. Leur morphologie se caractérise par diverses singularités :

- ✓ Présence de corbeilles à pollen (corbiculae) sur les pattes postérieures, permettant le transport du pollen.
- ✓ Les glandes hypopharyngiennes sont responsables de la sécrétion de gelée royale, substance nutritive essentielle au développement larvaire et au maintien de la reine.
- ✓ Glandes spécialisées dans la biosynthèse de la cire.
- ✓ L'aiguillon, couplé à une glande à venin, sert à la défense de la ruche.

Leur fonction se modifie avec l'avancement en âge, conformément à un polythéisme lié à l'âge :

- ✓ L'entretien des cellules et les soins apportés aux larves (jeunes ouvrières, dites «nourrices») sont à noter.
- ✓ La production de cire et l'édification des rayons sont examinées.
- ✓ La ventilation et la régulation thermique de la ruche sont prises en compte.
- ✓ Protection de la colonie (ouvrières affectées à la «garde »).
- ✓ Collecte de nectar, de pollen, de propolis et d'eau (ouvrières« butineuses»).

La longévité d'une ouvrière fluctue de quelques semaines (en période estivale) à plusieurs mois (en période hivernale).

Les faux-bourdon

Les faux-bourdons constituent la caste mâle. Leur morphologie présente des adaptations liées à la reproduction, notamment de grands yeux composés qui facilitent la localisation de la reine durant le vol nuptial, ainsi qu'un appareil reproducteur développé. À la différence des ouvrières et de la reine, les mâles sont dépourvus de dard et ne contribuent pas aux activités de la ruche. Leur fonction exclusive consiste à féconder la reine lors de l'essaimage. Leur durée de vie se limite à la saison de reproduction, après quoi ils sont éliminés par les ouvrières à l'approche de l'hiver.

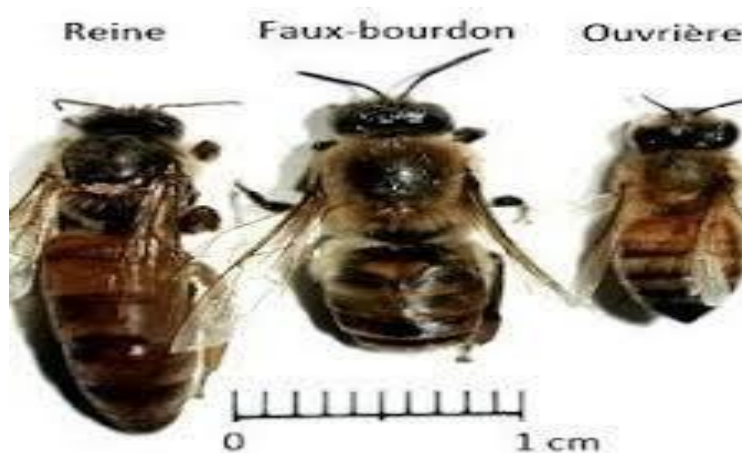


Figure I. 3:Les trois castes d'abeille(Riva,2017)

6. Importance socio-économique et écologique de l'abeille

Rôle essentiel dans la reproduction des plantes cultivées et sauvages

Les abeilles, ainsi que l'ensemble des insectes pollinisateurs, exercent une fonction écologique essentielle en assurant la reproduction des plantes entomophiles et en contribuant à la conservation de la diversité végétale (Ashman et al., 2004).

La pollinisation des plantes par les abeilles présente une importance socio-économique considérable, dans la mesure où environ 35% de la production agricole mondiale repose sur l'intervention des pollinisateurs, ce qui engendre une amélioration des rendements agricoles (Klein et al., 2007). Des recherches préliminaires réalisées en 2009 par l'Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation ont évalué que la pollinisation engendre un chiffre d'affaires avoisinant les deux milliards d'euros, ce qui représente une valeur dix fois supérieure à celle de la production apicole directe. Il en découle une incidence majeure sur la

Nutrition humaine, dans la mesure où 74 % de la production mondiale de lipides ainsi que 98% des vitamines liposolubles sont issues de plantes pollinisées (Eilers et al., 2011).

La diversité des produits apicoles

La production de miel ne constitue pas l'unique activité des abeilles au sein de leur colonie. La ruche contient une diversité d'autres substances suscitant un intérêt considérable, notamment la cire d'abeille, le pollen, la propolis, la gelée royale, et même le venin produit par les abeilles ouvrières (Ben Amor et al., 2022).

Le miel

Il convient de noter que le miel se définit comme «la substance sucrée naturelle produite par les abeilles de l'espèce *Apis mellifera* ». À partir du nectar de plantes ou des sécrétions issues de parties vivantes. Des plantes, ou des excréments, déposées sur ces dernières. Par l'action d'insectes piqueurs-suceurs, les matières florales sont collectées, transformées par combinaison avec des substances spécifiques, puis déposées, déshydratées, stockées et laissées à maturation. « Dans les rayons de la ruche. » (Hermanns et al., 2020).

Le nectar floral constitue une solution aqueuse sucrée, habituellement concentrée à environ 30%, élaborée par des glandes spécialisées désignées sous le nom de nectaires. Celles-ci se situent principalement à l'intérieur des fleurs, mais peuvent également être localisées à l'extérieur, notamment au niveau des nectaires extra floraux. La composition en sucres du nectar diffère selon l'espèce végétale : certaines sécrètent des sucres simples tels que le glucose, le fructose, le galactose, le maltose, le tréhalose, le mélitose ou le mannose, tandis que d'autres synthétisent principalement du saccharose, un disaccharide complexe.

Une autre source de substance mellifère est constituée par le miellat. Il est généré par des insectes (pucerons, cochenilles, cigales, etc.) se nourrissant de la sève des plantes au moyen de piqûres. Ces insectes ont pour principale quête les acides aminés présents dans la sève; afin d'en extraire une quantité adéquate, ils sont contraints d'ingérer un volume considérable de sève, d'en filtrer le contenu, puis de rejeter l'excédent sous forme de miellat, lequel se dépose par la suite sur les feuilles (Nepi et al., 2018).

La propolis

D'origine grecque, le terme «propolis », dont l'étymologie signifie «en avant de la cité» en grec ancien, désigne une résine adhésive employée par les abeilles afin d'obturer les

infiltrations d'air de la ruche. Cette substance à vocation défensive est composée d'éléments collectés sur les végétaux, notamment les bourgeons de bouleaux, d'ormes, d'aulnes, de saules et de chênes, ainsi que les écorces de sapins, de pins et d'épicéas. La propolis se définit donc comme un assemblage de résines végétales et de cire élaboré par les abeilles (Santos et al., 2020).

Présentant occasionnellement une consistance rigide et une nature friable, elle peut également manifester des propriétés de malléabilité et d'adhérence. La coloration de cette substance fluctue entre le jaune, le vert et le brun foncé, tandis que sa flaveur se caractérise par des notes résineuses et aromatiques. La propolis est employée par les abeilles pour recouvrir les dépouilles de petits animaux ayant pénétré dans la ruche, ce qui prévient leur putréfaction et diminue le risque de contamination bactérienne. Elle participe en outre à la réduction de la transmission d'infections au sein d'une même colonie et présenterait une action protectrice contre certains parasites des abeilles, en particulier **Varroa destructor** (Drescher et al., 2017).

Le pollen

Outre le nectar et le miellat, les abeilles butineuses collectent le pollen, élément crucial pour leur nutrition. Préalablement à leur sortie de la ruche, les abeilles s'enduisent d'un miel riche en ferments lactiques, favorisant ainsi l'adhésion du pollen à leur corps lors de la visite des fleurs. La morphologie des plantes mellifères facilite ce transfert : les abeilles, dont le corps est recouvert de poils, collectent le pollen lors de leur contact avec les étamines. Elles façonnent subséquemment des amas de pollen qu'elles arriment dans les corbeilles de leurs pattes postérieures (Campos et al., 2010).

Les abeilles présentent une préférence pour certaines familles botaniques, notamment les Apiaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Ranunculaceae et Rosaceae. Les arbres fruitiers (abricotiers, amandiers, cerisiers, pêchers, pommiers), de même que les grandes cultures (colza, tournesol, sarrasin), constituent des ressources importantes en raison de la richesse de leur nectar et de l'abondance de leur floraison (USDA, 2015).

Chaque trajet permet de rapporter entre dix et trente milligrammes de pollen, lequel est stocké dans des cellules situées à proximité du couvain. Antérieurement à l'operculation, l'imprégnation par l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque, substance sécrétée par les glandes hypopharyngiennes, permet de prévenir la fermentation. Le pollen représente une source

indispensable de protéines, de glucides, de lipides, de vitamines et de minéraux pour les ouvrières, les faux-bourçons, les larves et la reine. La consommation annuelle d'une colonie d'abeilles mellifères s'élève approximativement à 40 kg.

La composition du pollen présente une variabilité en fonction de l'origine florale, mais elle inclut principalement des glucides simples (glucose, fructose, saccharose), des protéines, dont environ dix pour cent sous forme d'acides aminés libres, ainsi que des fibres, des minéraux (K, Mg, Ca, Fe, S, Zn, P), des lipides (acides gras, stéroïdes, hydrocarbures) et une diversité importante de vitamines (Komosinska-Vassev et al., 2015).

La cire

La cire, produite par les abeilles ouvrières cirières, est une substance naturelle utilisée dans la construction des cellules qui composent la ruche et servent à stocker le miel, le pollen et à abriter les larves. Les glandes cirières des abeilles synthétisent la cire, une substance naturelle produite par ces insectes. Ensuite, les abeilles pétrissent cette cire avec leurs pattes pour former de petites quantités d'environ 1 mg chacune. Les fourmis utilisent leurs mandibules pour collecter des matériaux et les façonner afin de construire leur habitat (Hepburn, 2012).

La gelée royale

La gelée royale est une substance gélatineuse, brillante et au goût acide, fabriquée par de jeunes abeilles nourricières. Depuis leur naissance jusqu'à la phase nymphale, ces abeilles fabriquent et donnent de la gelée royale dans leur colonie (Jean-Prost et al., 2005). Cette production est faite par des glandes spéciales situées de chaque côté de la tête de l'abeille.

Il y a encore peu de recherches qui montrent les bienfaits de la gelée royale sur la santé humaine. Des effets sur le corps et des réactions aux médicaments ont été notés chez les mammifères lors de certaines expériences en laboratoire et sur le terrain. Ces effets incluent l'élargissement des vaisseaux sanguins, la baisse de la pression artérielle, la réduction du cholestérol et l'action anti-inflammatoire. Il a été prouvé que la gelée royale aide à augmenter la production d'œstrogènes chez les femmes ménopausées. Elle aide les ostéoblastes et améliore le métabolisme des os en régulant positivement les gènes du procollagène de type I. Dans ce cas, elle pourrait être vue comme un complément alimentaire qui aide à prévenir l'ostéoporose (Suzuki et al., 2008).

Chapitre II: Compositions et Bienfaits de la Gelée Royale

1. Définition

Le miel et la gelée royale sont deux produits naturels issus de la ruche, mais ils diffèrent considérablement par leur origine, leur composition et leur fonction biologique.

Le miel est une substance sucrée produite par les abeilles à partir du nectar des fleurs, principalement constituée de sucres simples (glucose et fructose) et utilisée comme source d'énergie

La gelée royale se définit comme une sécrétion biologique élaborée par les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des jeunes abeilles ouvrières (*Apis mellifera*). Elle représente l'alimentation exclusive de la reine durant toute sa vie et celle des larves lors des premiers stades de leur développement (Guo et al., 2021). Se présentant sous une apparence gélatineuse, variant de couleur blanchâtre à jaunâtre, elle se distingue par une composition biochimique à la fois riche et complexe, incluant principalement des protéines spécifiques (notamment les Major Royal Jelly Proteins), des sucres, des acides gras particuliers, tels que l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque, ainsi que des vitamines, des minéraux et des composés phénoliques. De par sa composition singulière, la gelée royale est reconnue pour ses fonctions physiologiques fondamentales dans la différenciation larvaire (reine/ouvrière) et pour ses propriétés biologiques présentant un intérêt en nutrition et pour la santé humaine (Oršolić & Jazvinščak Jembrek, 2024).

2. Origine

La gelée royale se distingue comme l'un des rares constituants de la ruche qui ne résulte pas de la transformation de matières exogènes telles que le pollen ou le nectar floral, mais est intégralement sécrétée par les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des jeunes abeilles nourricières âgées de cinq à quinze jours désignées sous le terme de nourricières. La synthèse de cette substance requiert que les nourrices absorbent du miel, du pollen et du nectar floraux, lesquels favorisent la maturation des glandes responsables de la sécrétion de la substance fondamentale de la gelée royale. Chez l'abeille ouvrière, les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires, localisées dans la région céphalique, présentent un développement significatif et assurent la sécrétion des divers constituants de la gelée royale. Après leur dixième jour d'existence, ces glandes subiront une atrophie, empêchant ainsi l'abeille de synthétiser de la gelée royale (Mazzei et al., 2020; Kanelis et al., 2024).

3. Composition chimique

La composition de la gelée royale varie en fonction de sa destination, à savoir les larves d'abeilles ouvrières ou celles de reines, et est également tributaire de la race d'abeilles productrices.

Les relations quantitatives entre les divers constituants de ce produit sont susceptibles de varier en fonction de multiples facteurs, notamment l'origine géographique, l'âge de l'individu producteur, la saisonnalité et le type de flore pollinique, ces variations affectant les lipides, les protéines, les acides aminés ainsi que certaines vitamines (Bărnăuțiu et al., 2011).

Tableau I. 1: Composition chimiques de la gelée royale (Xue et al., 2017; Ghosh & Jung, 2024)

Constituants	Teneur moyenne	Principaux composés
Eau	60–70%	Constituant majoritaire, indispensable à la Texture gélatineuse de la gelée.
Protéines	12–15%	Major Royal Jelly Proteins (MRJP1–9) représentant 80–90 % des protéines, enzymes telles que la glucose oxydase et l'amylase.
Glucides	10–16%	Glucides simples: fructose (~50%) et glucose (~40%). Présence en traces de maltose, tréhalose et sucrose.
Lipides	3–6%	Acides gras spécifiques : acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA, biomarqueur de qualité), acide sebacique, acide décénoïque, autres acides gras insaturés.
Vitamines	Traces – forte teneur	Complexe B (B1, B2, B6, B12, niacine, acide pantothénique en forte proportion). Présence de vitamine C et traces de A, D et E.
Minéraux et oligo-éléments	0,8–3%	Potassium, calcium, sodium, magnésium, zinc, fer, manganèse, cuivre, avec des Rôles physiologiques et enzymatiques.
Composés bioactifs secondaires	—	Polyphénols, flavonoïdes, peptides antimicrobiens (royalisine), acétylcholine, facteurs hormonaux et de croissance larvaire.

4. Méthodes analytiques de référence appliquées à la gelée royale

Pour évaluer la qualité et les caractéristiques biologiques de la gelée royale, on utilise des méthodes modernes pour identifier et mesurer ses éléments principaux. Parmi elles, les méthodes de chromatographie et de spectroscopie sont très importantes.

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et sa version améliorée UPLC sont souvent utilisées pour mesurer l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA). Ce composé est un marqueur important de la gelée royale. Ces techniques servent aussi à mesurer les polyphénols, les vitamines solubles dans l'eau et d'autres acides gras qui sont en petite quantité (Ramadan & Al-Ghamdi, 2012).

La chromatographie en phase gazeuse avec spectrométrie de masse (GC-MS) sert à examiner les acides gras volatils et semi-volatils, et à reconnaître certains composés aromatiques. Cette méthode a prouvé qu'elle peut séparer la gelée royale pure des produits mélangés (Isidorov et al., 2012).

La chromatographie liquide associée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) est idéale pour étudier les protéines principales de la gelée royale (MRJPs) et pour identifier des peptides bioactifs en très petites quantités. Sa grande sensibilité en fait un outil essentiel pour bien analyser la fraction protéique (Li et al., 2007).

Les techniques de spectroscopie donnent aussi des informations supplémentaires. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) analyse rapidement et sans abîmer les échantillons les composants comme les lipides, les protéines et les glucides. Elle est souvent utilisée pour vérifier la qualité des produits ou détecter des falsifications. La résonance magnétique nucléaire (RMN) est utilisée pour analyser complètement la gelée royale. Cela aide à l'authentifier et à mieux comprendre comment sa composition affecte ses propriétés biologiques (Tarantilis et al., 2012).

5. Récolte de la gelée royale

La collecte de gelée royale constitue une opération apicole méticuleuse qui requiert la préparation de colonies robustes et populeuses, privées temporairement de leur reine afin de stimuler la production de cellules royales. Dans ce contexte, des larves d'abeilles âgées de moins de vingt-quatre heures font l'objet d'un transfert manuel dans des cupules artificielles par le biais de la technique du greffage, avant d'être réintroduites dans la ruche élèveuse (Frunze et al., 2022). Durant une période optimale de soixante-douze heures, les abeilles nourricières approvisionnent ces larves abondamment en gelée royale. Une fois ce délai

écoulé, les cellules royales sont retirées et ouvertes, les larves sont extraites avec précaution, puis la gelée royale est recueillie à l'aide d'une spatule stérile ou d'un dispositif d'aspiration spécifiquement conçu à cet effet. La substance, caractérisée par une texture gélatineuse et une coloration blanchâtre, est subséquemment soumise à une filtration visant à éliminer les impuretés potentielles, précédant son conditionnement (Al-Kahtani & Taha, 2020).

En raison de sa susceptibilité élevée à l'oxydation et aux fluctuations thermiques, il est impératif de conserver la gelée royale immédiatement dans des récipients hermétiques, idéalement opaques, et de la placer au réfrigérateur à une température maintenue entre 0 et 5 °C, ou au congélateur pour une conservation prolongée. En moyenne, une colonie gérée de manière optimale peut générer entre trois cents et cinq cents grammes de gelée royale par saison, cerendement étant substantiellement tributaire de la vitalité de la colonie, de la qualité de la technique de greffage et des conditions environnementales prévalant (Moudjari & Rabia, 2023).

6. *L'utilisation traditionnelle de la gelée royale*

Les bienfaits traditionnellement attribués à la gelée royale résultent de nombreuses observations comparatives effectuées entre les ouvrières et la reine. En effet, uniquement l'alimentation permet de distinguer une ouvrière d'une reine. Ainsi, les organes reproducteurs se développent chez la reine, tandis que l'ouvrière développe des organes spécifiques aux fonctions qui lui sont assignées qu'elle devra accomplir.

Par ailleurs, la reine requiert environ une quinzaine de jours de développement, tandis qu'une ouvrière naîtra en vingt et un jours. La reine connaîtra une longévité de plusieurs années, en comparaison des quelques semaines d'existence dont bénéficie l'ouvrière. Enfin, la reine est en mesure de pondre plusieurs milliers d'œufs. Par jour alors que les ouvrières ne pondent que très rarement. Or, la reine ne prend point part aux activités collectives de la ruche (Babin, 2015).

La durée de vie ainsi que la fertilité remarquable de la reine ont incité à croire. Il convient de souligner que la gelée royale constitue une substance dotée de multiples vertus. Il était en effet séduisant d'établir un parallèle entre les effets observés sur la reine et ceux susceptibles de se manifester chez l'Homme. Dès les années 1950, des recherches ont été menées sans toutefois parvenir à démontrer l'intérêt de la gelée royale pour l'être humain. Le mythe de la gelée royale est issu des observations remarquables effectuées au sein de la ruche, mais également d'une spéculation commerciale présentant cette substance comme un produit

«miracle». À la suite de sa mise sur le marché, la gelée royale s'est rapidement imposée, au point qu'il a été nécessaire d'envisager un mode de récolte plus efficace afin de satisfaire la demande (Krell, 1996).

7. La conservation et la qualité de la gelée royale

L'évaluation de la qualité de la gelée royale est effectuée au moyen de la détermination de sa concentration en protéines, en acides aminés et en sucres. Les études ont démontré qu'une conservation optimale est obtenue à 4 °C, température à laquelle la stabilité des acides aminés libres est maintenue pendant une durée maximale de dix mois. À température ambiante, la réaction de Maillard favorise leur dégradation, entraînant une augmentation significative du taux de furosine (Messia et al., 2005).

Bien que dotée d'une protection inhérente contre les contaminations, une hygiène rigoureuse est indispensable lors de la récolte et de la conservation, idéalement dans des récipients en verre coloré. L'inexistence de normes AFNOR définitives met en évidence la nécessité d'établir des standards de production et de commercialisation.

L'authenticité est établie par l'analyse de la composition glucidique et, de manière prépondérante, par la détection de l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10H2DA), lequel est couramment considéré comme le principal indicateur de pureté. Néanmoins, il convient de noter que ce dernier ne constitue pas un indicateur de fraîcheur fiable, car sa concentration demeure stable indépendamment de la température de conservation, en raison de sa faible susceptibilité à l'oxydation (Marconi et al., 2002).

8. Propriétés de la gelée royale

Propriétés antioxydantes

L'activité antioxydante significative de la gelée royale est imputée, de manière prédominante, à sa forte concentration en flavonoïdes, en acides phénoliques, en vitamines (en particulier la vitamine E et certaines vitamines du groupe B) ainsi qu'en acides gras spécifiques, tel que l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA) (Peykova-Shapkova et al., 2025). Ces composés exercent une action de séquestration des radicaux libres, neutralisant ainsi les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (ERN) impliquées dans les altérations oxydatives des biomolécules essentielles, notamment les protéines, les lipides membranaires et l'acide désoxyribonucléique (ADN). ce mécanisme participe à l'atténuation du stress oxydatif, un processus intrinsèquement associé au vieillissement cellulaire prématuré et à l'émergence de nombreuses affections chroniques, notamment les maladies

cardiovasculaires, les cancers et les pathologies neurodégénératives (Martinello & Mutinelli, 2021).

Plusieurs études scientifiques corroborent cette action. À titre d'illustration, une étude clinique réalisée auprès de patients atteints de diabète de type 2 a démontré qu'une supplémentation journalière en gelée royale, administrée durant huit semaines, entraînait une augmentation significative de l'activité des enzymes antioxydantes endogènes, telles que la superoxyde dismutase (SOD) et la glutathion peroxydase (GPx), tout en diminuant les concentrations de malondialdéhyde (MDA), un indicateur du stress oxydatif (Shidfar et al., 2015). D'autres études expérimentales ont également démontré que le 10-HDA et les protéines majeures de la gelée royale (MRJPs) manifestent un effet protecteur contre la peroxydation lipidique et augmentent la résistance cellulaire face aux stress oxydatifs (Martinello & Mutinelli, 2021). Les résultats obtenus indiquent que l'ingestion régulière de gelée royale serait susceptible de contribuer non seulement au ralentissement des processus sénescents, mais également au renforcement de la protection contre certaines affections métaboliques et dégénératives, ce qui consolide son intérêt en tant que nutraceutique naturel présentant un potentiel thérapeutique élevé (Gu et al., 2018; Kocot et al., 2018)..

Activité immunostimulante

L'action immunostimulante significative de la gelée royale est généralement attribuée à ses peptides antimicrobiens, notamment les jelleines et la royalisine, ainsi qu'à son acide gras spécifique, l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA) (Botezan et al., 2023). Ces composés bioactifs contribuent à la régulation des réponses immunitaires, tant innées qu'adaptatives. Il a été démontré, par le biais d'études in vitro, que les jelleines exercent une action inhibitrice sur la prolifération de diverses bactéries pathogènes, tout en stimulant l'activité des cellules présentatrices d'antigènes, ce qui contribue au renforcement de la première barrière de défense de l'organisme. Le 10-HDA, pour sa part, module la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires (telles que le TNF- α et l'IL-6) et stimule la production de cytokines anti-inflammatoires, participant ainsi à un équilibre immunitaire optimal. De surcroît, diverses études expérimentales réalisées sur des modèles animaux ont mis en évidence une augmentation de l'activité macrophagique ainsi qu'une stimulation de la prolifération des lymphocytes T et B, induisant ainsi une synthèse améliorée d'anticorps et une résistance accrue aux agents infectieux. Chez l'être humain, malgré des données cliniques encore restreintes, certaines études laissent supposer qu'une consommation régulière

de gelée royale serait susceptible de renforcer la réponse immunitaire et d'améliorer la tolérance au stress oxydatif, ce qui étayerait son rôle potentiel dans la prévention des infections bactériennes et virales (Gasic et al., 2007).

Effets anti-inflammatoires

Les propriétés anti-inflammatoires significatives de la gelée royale ont été démontrées par de multiples études *in vitro* et *in vivo*. Ses principaux constituants actifs, notamment l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA), l'acide 10-hydroxydecanoïque (10-HDAA) ainsi que certaines protéines majeures (MRJP), exercent une fonction essentielle dans la modulation des voies inflammatoires (El-Guendouz et al., 2020). Il a été constaté que ces molécules exercent une action modulatrice sur la voie de signalisation NF- κ B, laquelle constitue un régulateur essentiel de l'expression des gènes pro-inflammatoires. L'inhibition de cette voie métabolique par la gelée royale entraîne une diminution de la production de cytokines pro-inflammatoires, incluant le facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- α), l'interleukine-1 bêta (IL-1 β) et l'interleukine-6 (IL-6). Elle module également l'expression des cyclooxygénases (COX-2) et de l'oxyde nitrique synthase inducible (iNOS), ce qui concourt à restreindre la production de prostaglandines et d'oxyde nitrique, deux médiateurs essentiels de l'inflammation (Botezan et al., 2023).

Les résultats sont corroborés par des études menées sur des modèles animaux, démontrant qu'une administration de gelée royale induit une diminution significative des lésions inflammatoires dans des cas de colite expérimentale, ainsi qu'une amélioration des paramètres histologiques et biochimiques. En outre, certaines études indiquent une majoration de la sécrétion de cytokines anti-inflammatoires, telles que l'IL-10, ce qui consolide sa fonction d'équilibrage au sein de la réponse immunitaire. Chez l'être humain, malgré le caractère limité des données disponibles à ce jour, ces propriétés confèrent à la gelée royale un positionnement en tant que complément thérapeutique potentiel dans la prise en charge de pathologies inflammatoires chroniques, notamment la polyarthrite rhumatoïde, les maladies auto-immunes et certaines affections inflammatoires gastro-intestinales (Pasupuleti et al., 2017).

La gelée royale manifeste une action favorable sur le métabolisme des lipides et des glucides, la positionnant comme un produit naturel pertinent dans la prévention des troubles métaboliques. De nombreuses études, tant cliniques qu'expérimentales, ont signalé qu'une ingestion régulière de gelée royale induit une diminution significative des taux de cholestérol

total et de lipoprotéines de basse densité (LDL-C), parallèlement à une augmentation des taux de lipoprotéines de haute densité (HDL-C). Ce rééquilibrage du profil lipidique concourt à la prévention de l'athérosclérose et, partant, à la diminution du risque cardiovasculaire. Les mécanismes étudiés comprennent la modulation de l'activité de l'hydroxyméthylglutaryl-CoA réductase, une enzyme essentielle à la biosynthèse du cholestérol, et l'activation de voies métaboliques stimulant l'élimination du cholestérol LDL (Kashima et al., 2014).

Activité métabolique (hypcholestérolémiant et hypoglycémiant)

En ce qui concerne le métabolisme glucidique, la gelée royale contribue à améliorer la sensibilité à l'insuline et à favoriser la régulation de la glycémie. Il a été démontré, au cours d'essais cliniques menés auprès de patients atteints de diabète de type 2, qu'une supplémentation entraîne une diminution significative de la glycémie à jeun et de l'hémoglobine glyquée (HbA1c) après quelques semaines. Il apparaît que ces effets sont corrélés à l'action insulino-mimétique de certains constituants de la gelée royale, en particulier le 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA), lequel favorise la captation du glucose par les tissus périphériques et préserve les cellules β pancréatiques du stress oxydatif. En outre, ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires concourent indirectement à la préservation de la fonction métabolique, en limitant les dommages associés au stress oxydatif chronique, fréquemment impliqué dans la résistance à l'insuline.

Effets neuroprotecteurs et cognitifs

L'intérêt pour les effets neuroprotecteurs de la gelée royale s'accroît, en raison de la synergie de ses divers composants bioactifs, notamment les acides gras insaturés spécifiques (10-HDA, HDAA), les protéines majeures (MRJPs) et les antioxydants naturels qu'elle renferme. Il a été constaté que ces composés exercent une action sur divers mécanismes physiopathologiques impliqués dans le processus de vieillissement cérébral ainsi que dans les affections neurodégénératives. En premier lieu, il est à noter que la gelée royale, par son action antioxydante, diminue la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et atténue les altérations oxydatives des neurones, un processus identifié comme un facteur primordial dans l'apparition du déclin cognitif. Elle manifeste également une activité anti-inflammatoire au sein du système nerveux central, par la modulation de la production de cytokines pro-inflammatoires et la diminution de l'activation excessive de la microglie, un processus fréquemment impliqué dans la progression de pathologies telles que la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson.

Il a été démontré, lors d'études menées sur des modèles animaux, que l'administration de gelée royale induit une stimulation de la neurogenèse hippocampique, favorisant ainsi la croissance et la différenciation neuronales, et par conséquent, une amélioration des fonctions mnésiques et d'apprentissage. Une étude menée sur des souris âgées a révélé qu'une supplémentation en gelée royale améliorerait de manière significative la mémoire spatiale et la plasticité synaptique, vraisemblablement par le biais de la modulation des voies de signalisation associées au facteur neurotrophique dérivé du cerveau (BDNF). De surcroît, il apparaît que certains constituants de la gelée royale manifestent une action hormonomimétique, par le biais d'une interaction avec les récepteurs stéroïdiens, ce qui pourrait participer à la régulation de l'axe hypothalamo-hypophysaire et à la préservation de l'équilibre neuroendocrinien, élément essentiel pour la santé cognitive.

Propriétés anti microbiennes et cicatrisantes

L'activité antimicrobienne significative de la gelée royale est communément attribuée à ses peptides bioactifs, incluant notamment les jelleines, la royalisine et les protéines majeures de la gelée royale (MRJPs). Ces molécules exercent une action directe sur les membranes cellulaires des bactéries pathogènes, induisant une altération de leur perméabilité et une inhibition de leur croissance. De nombreuses études *in vitro* ont démontré l'efficacité de la gelée royale à l'encontre de bactéries Gram positives, notamment *Staphylococcus aureus*, et de bactéries Gram négatives, telles qu'*Escherichia coli*. L'acide gras spécifique, le 10-hydroxy-2-décénoïque (10-HDA), participe également à cette action par la perturbation des biofilms bactériens et la limitation de la prolifération microbienne (Uthaibutra et al., 2023).

Outre son activité antimicrobienne, la gelée royale présente des propriétés cicatrisantes qui la désignent comme un agent thérapeutique naturel pertinent pour la gestion des lésions. L'application topique de cette substance favorise la régénération tissulaire en stimulant la prolifération et la migration des fibroblastes, éléments cellulaires indispensables à la réparation de la peau. Elle engendre également une majoration de la synthèse du collagène ainsi qu'une stimulation de l'angiogenèse, processus favorisant la néoformation de vaisseaux sanguins et améliorant l'apport de nutriments et d'oxygène au niveau lésionnel. Des études cliniques, en particulier chez des patients souffrant d'ulcères du pied diabétique, ont démontré que l'application topique de gelée royale favorisait l'accélération de la cicatrisation, la

réduction de la taille des lésions et l'amélioration des scores cliniques comparativement aux traitements conventionnels.

La combinaison de ces propriétés, à savoir des actions antimicrobienne et régénératrice, confère à la gelée royale un statut de produit naturel aux perspectives encourageantes dans les domaines de la cicatrisation et de la dermatologie. Néanmoins, malgré des résultats précliniques et cliniques prometteurs, il est impératif de standardiser la composition de la gelée royale, en raison de sa variabilité en fonction de l'origine géographique et des conditions de récolte, afin d'assurer une efficacité thérapeutique uniforme.

Propriétés hormonales et revitalisantes

La gelée royale manifeste une activité régulatrice sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, ce qui induit des effets hormonaux et revitalisants d'un intérêt particulier. La composition, caractérisée par une concentration élevée en peptides, en acides gras spécifiques (en particulier le 10-HDA), en vitamines et en oligo-éléments, suggère une influence favorable sur l'homéostasie endocrinienne. De nombreuses études ont mis en évidence que l'ingestion régulière de gelée royale pourrait potentiellement atténuer les manifestations symptomatiques associées à la ménopause, notamment les bouffées de chaleur, l'asthénie chronique et les perturbations de l'humeur. Il est avancé que ces effets seraient corrélés à une modulation des hormones stéroïdiennes, en particulier par une activité de type œstrogénique modérée, susceptible de compenser partiellement la diminution hormonale constatée chez les femmes en période de ménopause (Susilo et al., 2025).

Outre ses effets sur la ménopause, la gelée royale est également reconnue pour ses propriétés revitalisantes et énergisantes. Tant chez l'animal que chez l'humain, il a été observé une amélioration de la vitalité générale, de la tolérance au stress et des fonctions métaboliques. Une étude clinique conduite au Japon (Morita et al., 2012) a démontré qu'une supplémentation quotidienne en gelée royale durant six mois entraînait une amélioration significative de la qualité de vie, notamment en ce qui concerne la santé mentale, l'énergie et l'érythropoïèse (augmentation du nombre d'érythrocytes).

En outre, certaines études expérimentales semblent corroborer l'hypothèse d'une implication de la gelée royale dans la stimulation de la fertilité. Dans des modèles animaux, l'administration de gelée royale a induit une augmentation du poids ovarien, une amélioration

de la qualité des ovocytes et une stimulation de la spermatogenèse, vraisemblablement en raison de ses propriétés antioxydantes et de sa capacité à moduler la production hormonale.

En conséquence, par le biais de ses actions conjuguées sur la régulation hormonale, l'atténuation des symptômes associés aux déséquilibres endocriniens, et son incidence globale sur la vitalité, la gelée royale se présente comme un supplément naturel potentiellement bénéfique pour le soutien de la santé reproductive et l'amélioration du bien-être général. Néanmoins, les données cliniques disponibles demeurent restreintes et appellent à la réalisation d'essais de plus grande envergure et rigoureusement standardisés afin de corroborer ces observations (Bălan et al., 2020).

PARTIE II: Matériels et Méthodes

1. Objectif du travail

Ce travail a été effectué dans un laboratoire pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Echahid Hamma Lakhder El Oued.

Deux échantillons de la gelée royale ont été étudiés en analysant leurs teneurs en antioxydants afin de valoriser la corrélation de ces bioactives avec les propriétés biologiques y compris l'activité antioxydante, anti-inflammatoire et l'étude de l'effet antibactérien contre des souches pathogènes.

Présentation des zones d'étude

Dans le cadre de cette étude, deux zones géographiques distinctes ont été choisies : la wilaya de Blida, située au nord du pays, et la wilaya d'El Oued, localisée au sud de l'Algérie. Ces deux régions représentent des environnements contrastés, permettant d'évaluer l'influence des conditions climatiques sur les caractéristiques biologiques de la gelée royale produite par *Apis mellifera*.

- Zone de Blida:

Située dans le Nord de l'Algérie, Blida appartient à la région tellienne. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen, avec des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. La température moyenne annuelle varie entre 18 et 20 °C, et les précipitations sont relativement élevées (600 à 900 mm/an). La région est riche en végétation mellifère, notamment les agrumes, l'eucalyptus et diverses plantes florales favorables à l'apiculture.

- Zone d'El Oued:

La wilaya d'El Oued se situe au sud de l'Algérie, dans la région saharienne. Le climat y est aride, avec des températures élevées durant la majeure partie de l'année (moyenne annuelle de 26–28 °C) et de très faibles précipitations (50 à 100 mm/an). La végétation est clairsemée, dominée par les palmiers dattiers et certaines plantes adaptées à la sécheresse. L'apiculture y repose principalement sur les ressources florales disponibles autour des oasis.

2. Matériel biologique

Les échantillons étudiés

Les deux échantillons de la gelée royale étudiées ont été récoltés de deux différentes régions afin de comparer les propriétés biologiques selon l'origine florale ; G01: vient de la région d'Oued souf; G02 : vient de la région de Blida, ces deux types ont été produit par l'abeille mellifère : *Apis intermissa mellifera*.

Les échantillons ont été collecté en printemps de l'an 2025, conservé à 4 °C jusqu'à l'analyse (Figure II.1).



Figure II.1:Photo des échantillons de la gelée royale étudiées (Originale ,2025).

Souches bactériennes

Toutes les souches bactériennes employées dans la présente étude sont issues de la collection de référence de l'American Type Culture Collection(ATCC).Au total, quatre bactéries pathogènes ont été évaluées, parmi lesquelles deux bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli* ATCC25922 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC42532), et deux Gram-positifs (*Bacillus subtilis* ATCC10845, *Staphylococcus aureus* ATCC 65403) et toutes les souches sont été cultivés sur gélose nutritive à 37 ° Cependant 24 heures préalablement à tout essai antibactérien.

3. Dosage des composés phénoliques

Dosage des polyphénols

Ce dosage repose sur la quantification de la concentration globale des groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le protocole mis en œuvre s'appuie sur la méthode décrite par(Altun & Aydemir, 2022), avec certaines modifications.

Dans des tubes à hémolyse en verre, un volume de 100 μ L de chaque solution de la gelée royale a été ajouté à un mélange constitué de 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué dix fois et de 400 μ L d'une solution de carbonate de sodium à 7,5 %.Les tubes sont soumis à une agitation et maintenus pendant 30 minutes.

L'absorbance est quantifiée à 765 nm par rapport à un témoin constitué de 100 μ l d'eau distillée, de 0,5ml de réactif de Folin-Ciocalteu et de 400 μ l de Na_2CO_3 . La détermination des concentrations en composés phénoliques totaux des extraits est effectuée par référence à une courbe d'étalonnage établie à partir de diverses concentrations d'acide gallique dans de l'eau distillée.

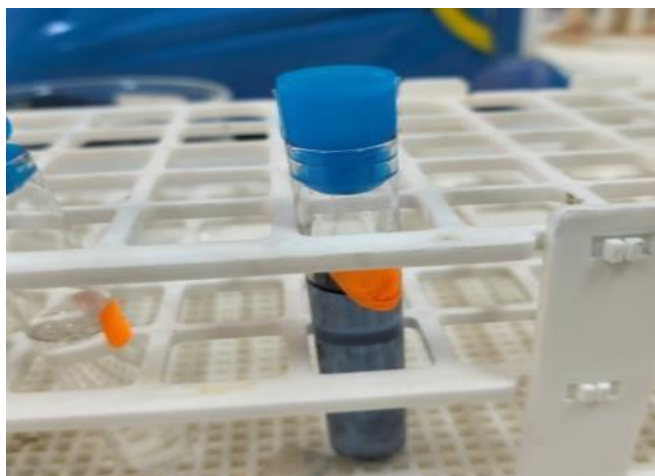


Figure II.2: Dosage de polyphénols (Originale, 2025).

Dosage des flavonoïdes

Dans un tube à hémolyse en verre, 400 μ L d'extrait de la gelée royale, d'étalon ou d'eau distillée (pour le témoin) ont été ajoutés à 120 μ L de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5 %. Après un intervalle de 5 minutes, 120 μ L d' AlCl_3 à 10% ont été ajoutés, et le milieu a été mélangé énergiquement. Après un intervalle de 6 m, un volume de 800 μ L de NaOH à une concentration de 1 m/l a été ajouté au milieu réactionnel. La mesure de l'absorbance est réalisée immédiatement à 510 nm par rapport au témoin. Une solution de quercétine dans le méthanol a été préparée. La préparation de solutions filles à partir de la solution mère, avec des concentrations échelonnées entre 0 et 1000 μ g/ml, autorisera la construction de la courbe d'étalonnage. La concentration en flavonoïdes est quantifiée en (mg EQ/g d'extrait) (Chang et al., 2002).

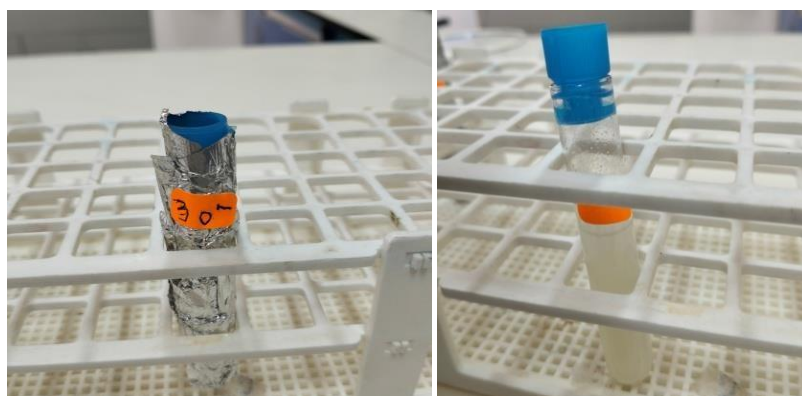


Figure II.3: Dosage des flavonoïdes(Originale,2025).

4. *Activité Antioxydante*

Test DPPH

L'activité antioxydante de la gelée royale a été évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH, suivant une méthodologie décrit dans des travaux de (Burattietal., 2007), avec certaines modifications.

Une solution mère de DPPH a été préparée dans du méthanol à une concentration de 0,2 mM, puis diluée afin d'obtenir une absorbance initiale de $0,70 \pm 0,02$ à 517 nm. 5 g de gelée royale brute ont été dissous dans 20 ml d'eau distillée par l'intermédiaire d'un bain à ultrasons pendant 10 m, puis transférés dans une fiole jaugée de cinquante millilitres et dilués jusqu'au volume final avec de l'eau.

Des dilutions successives de cette solution mère ont été effectuées dans un mélange méthanol/eau (80/20, v/v) dans le but d'obtenir les diverses concentrations testées.

Un volume de 180 µl de solution de DPPH a été mélangé à 10 µl d'échantillon. Les mélanges ont ensuite été incubés durant 10 m à température ambiante et à l'obscurité. L'absorbance finale a été quantifiée à 517 nm (le protocole peut également être réalisé dans une cuve spectrophotométrique avec 3,0 mL de DPPH et 100 µL d'échantillon). Le pourcentage d'inhibition radicalaire a été déterminé conformément à la formule suivante :

$$\%I = \frac{(A_0 - A_s)}{A_0} \times 100$$

A_0 : représente l'absorbance du témoin

A_s :celle de l'échantillon, après soustraction de la valeur du blanc d'échantillon.

Sur la base des données obtenus pour diverses concentrations, la valeur de CI_{50} (concentration inhibitrice à 50 %) a été déterminée par interpolation graphique. De surcroît, l'activité antioxydante a été exprimée en équivalents acide ascorbique, par l'intermédiaire d'une courbe d'étalonnage établie à partir de solutions étalons (de 50 à 800 μM).



Figure II.4: Test DPPH des échantillons testés (Originale,2025).

Test FRAP

Cette méthode repose sur la capacité des antioxydants à réduire le fer ferrique Fe^{3+} en fer ferreux Fe^{2+} . La réaction est mise en évidence par la transformation de la coloration jaune du fer ferrique (Fe^{3+}) en une coloration bleu-vert caractéristique du fer ferreux (Fe^{2+}). Il s'agit d'une technique rapide, simple et reproductible. La capacité réductrice d'un composé peut être considérée comme un indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle. La capacité de réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) dans les extraits est quantifiée conformément à la méthodologie exposée par (Orascanin et al., 2025).

Un volume de 1ml de la solution de la gelée royale, ajusté à diverses concentrations allant de 0,007 à 2,5 mg/ml, est combiné à 2,5 ml d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et à 2,5 ml d'une solution de ferricyanure de potassium $K_3Fe(CN)_6$ à 1%. L'ensemble

est incubé dans un bain-marie à 50 °C pendant 20 minutes. Subséquemment, 2,5 ml d'acide trichloro-acétique à 10 % sont ajoutés afin d'interrompre la réaction, et les tubes sont soumis à une centrifugation à 3000 tours par minute pendant 10 minutes. Un volume de 2,5ml de surnageant est combiné à 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml d'une solution aqueuse de $FeCl_3$ à 0,1 % (**Figure II. 5**).

La mesure de l'absorbance du milieu réactionnel est réalisée à 700 nm en utilisant un blanc préparé de manière identique, dans lequel l'extrait est substitué par de l'eau distillée afin de permettre l'étalonnage de l'appareil (spectrophotomètre UV-VIS).

Le contrôle positif consiste en une solution d'un antioxydant standard, à savoir l'acide ascorbique, dont l'absorbance a été déterminée dans les mêmes conditions expérimentales que les échantillons.



Figure II.5: Test FRAP des échantillons étudiés (Originale, 2025).

β -carotène

L'activité antioxydante de la gelée royale a été évaluée par la méthode du β -carotène/linoléate, laquelle s'appuie sur la décoloration oxydative du β -carotène en présence de radicaux libres résultant de l'oxydation de l'acide linoléique. La présence d'antioxydants dans l'extrait étudié contribue à un ralentissement de cette décoloration, permettant ainsi d'évaluer leur efficacité inhibitrice.

Un extrait hydroalcoolique de gelée royale a été élaboré par la dissolution de 1g d'échantillon lyophilisé dans 10 ml d'éthanol à 70% (v/v), acidifié par l'ajout de 0,1 % d'acide acétique. L'extrait a subi une sonication d'une durée de 15 minutes, suivie d'une agitation magnétique pendant 1 heure à température ambiante et à l'obscurité. Après centrifugation (5000 g, 10 min), le surnageant a été soumis à une filtration sur papier Whatman n°1, puis son volume a été ajusté à une valeur connue. Une gamme de dilutions sérielles a été effectuée afin de générer des concentrations variant de 0,10 à 2,00 mg/mL (exprimées en équivalent de matière sèche de gelée royale).

L'émulsion de bêta-carotène/ linoléate a été produite par la dissolution de 0,5 mg de bêta-carotène dans 1 mL de chloroforme. Après évaporation intégrale du solvant, il a été procédé à l'ajout de 25mg d'acide linoléique et de 200 mg de Tween-40, puis le volume a été ajusté à 50 mL avec de l'eau distillée saturée en oxygène. L'ensemble a été soumis à une agitation énergique afin d'obtenir une émulsion homogène.

Dans le cadre de l'expérimentation, 5 ml de cette émulsion ont été dispensés dans des cuves spectrophotométriques et combinés à 0,2 ml d'extrait de gelée royale. Un témoin négatif (sans extraction) et un témoin positif (butylhydroxytoluène – BHT à 0,02 % ou Throlox à 200 μ M) ont été préparés en parallèle. Les échantillons ont été incubés à 50 °C, et l'absorbance a été mesurée à 470 nm immédiatement (temps 0), puis toutes les 15 minutes pendant une durée de 120 minutes, à l'aide d'un spectrophotomètre, tout en protégeant les cuves de l'exposition directe à la lumière.

L'activité antioxydante a été quantifiée en mesurant la cinétique de décoloration du bêta-carotène, laquelle est déterminée par la pente de décroissance de l'absorbance à 470 nm en fonction du temps.

5. *Activité anti-inflammatoire*

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire de la gelée royale a été effectuée conformément au protocole de l'essai d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA), tel que décrit initialement par Chandra et al (2012) (Chandra et al., 2012), en y intégrant quelques modifications. Le principe se fonde sur l'aptitude des extraits à inhiber la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine à 72 °C.

Dans le cadre de la préparation des échantillons, 0,5 mL de gelée royale ont été dissous dans 5 mL de méthanol, suite à quoi une série de 10 dilutions successives a été mise en œuvre: le premier tube contenait 1,5 mL de l'extrait, à partir duquel 0,5 mL ont été transférés dans 1 mL de méthanol dans le tube subséquent ; cette opération a été répétée jusqu'au dixième tube, lequel contenait finalement 1,5 mL après élimination de 0,5 mL. Le diclofénac sodique, employé comme témoin positif, a été préparé selon le même protocole de 10 dilutions successives dans du méthanol, à partir d'une solution initiale contenant un volume de 1 mL de diclofénac et un volume de 0,5 mL de méthanol (**Figure II. 6**).



Figure II.6: Activité antibactérienne des échantillons testés (Originale,2025).

Au cours de l'expérimentation, chaque tube a reçu une portion de 1 mL de solution de BSA (0,2% m/v) ainsi qu'une portion de 1 mL d'eau distillée dont le pH a été ajusté à 6,6 (en substitution du Tris-HCl à pH 6,3). Les mélanges ont été incubés à 37 °C pendant 15 minutes, puis soumis à un chauffage dans un bain-marie à 72 °C pendant 5 minutes afin d'induire la dénaturation, avant d'être refroidis à température ambiante. Le tube témoin, constitué exclusivement de 1 mL de BSA (0,2 %) et de 1 mL d'eau distillée, a été soumis aux mêmes conditions expérimentales. L'absorbance a été quantifiée à 660 nm par spectrophotométrie UV-Visible. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation protéique a été déterminé conformément à la formule suivante :

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

6. *L'activité antibactérienne*

Le test de diffusion en gélose constitue une méthode conventionnelle d'évaluation de l'activité antibactérienne. Elle est fondée sur l'évaluation de l'inhibition de la prolifération bactérienne autour d'un disque imprégné d'un extrait de gelée royale. Cette inhibition, qui se manifeste par une zone de clarification autour du disque, témoigne de l'efficacité antibactérienne de l'extrait. Les bactéries sélectionnées sont cultivées sur des plaques d'agar Mueller-Hinton, et des disques de papier filtre imprégnés de gelée royale sont déposés à la surfaceensemencée (Ben Amor et al., 2022).

L'excédent est prélevé au moyen d'une micropipette, puis les boîtes sont laissées à sécher durant une période de 15 minutes.

Des disques stériles de 5 mL de diamètre seront imprégnés de 20 microlitres de chaque échantillon, tandis que les disques de contrôle seront imprégnés d'eau distillée pour les témoins négatifs.

Les disques sont déposés à la surface d'un milieu préalablement ensemencé par étalement d'une suspension microbienne présentant une densité optique de 0,5 McFarland, au moyen d'une pince.

Les boîtes de Pétris ont placées au réfrigérateur à une température de 4° Cependant une durée de 3 heures, en préparation de la diffusion. Après une incubation d'une durée de 18 à 24 heures, le diamètre de chaque zone d'inhibition sera mesuré en millimètres et consigné. Il est possible de réaliser les mesures en utilisant une règle positionnée sur le fond de la boîte, sans qu'il soit nécessaire de retirer le couvercle. L'accroissement de la zone d'inhibition accroît la vulnérabilité du germe.

7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel Graph Pad Prism Version 5.00. Pour chaque méthode, trois répétitions ont été effectuées, et les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type (ET). L'analyse statistique a été effectuée à l'aide d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA), suivie du test de Tukey pour les comparaisons multiples, afin d'évaluer les différences significatives entre les groupes ($p < 0,05$), le logiciel Graph Pad Prism Version 5.00 ayant été utilisé à cette fin.

PARTIE III: Résultats et Discussion

1. Résultats

Résultats des dosages

Pour la quantification des composés bioactifs, deux courbes d'étalonnage ont été établies. La première, réalisée avec l'acide gallique, a permis de mesurer la teneur en polyphénols totaux (**Figure III. 1**), tandis que la seconde, obtenue à partir de la quercétine, a servi à l'évaluation des flavonoïdes totaux (**Figure III. 2**). Ces courbes constituent une étape indispensable pour garantir la fiabilité des résultats obtenus.

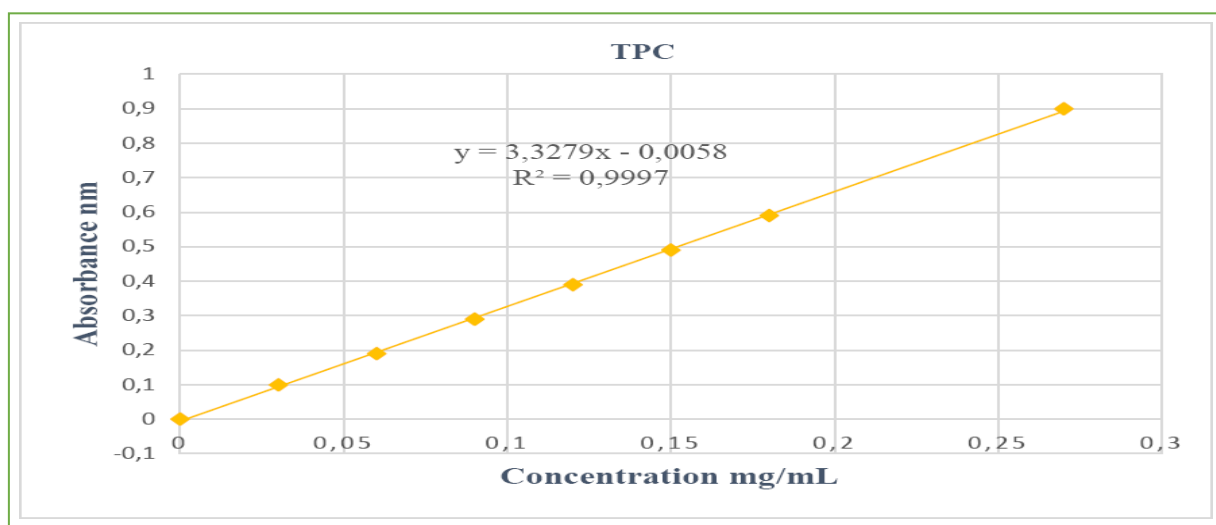


Figure III.1: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour la quantification des polyphénols totaux

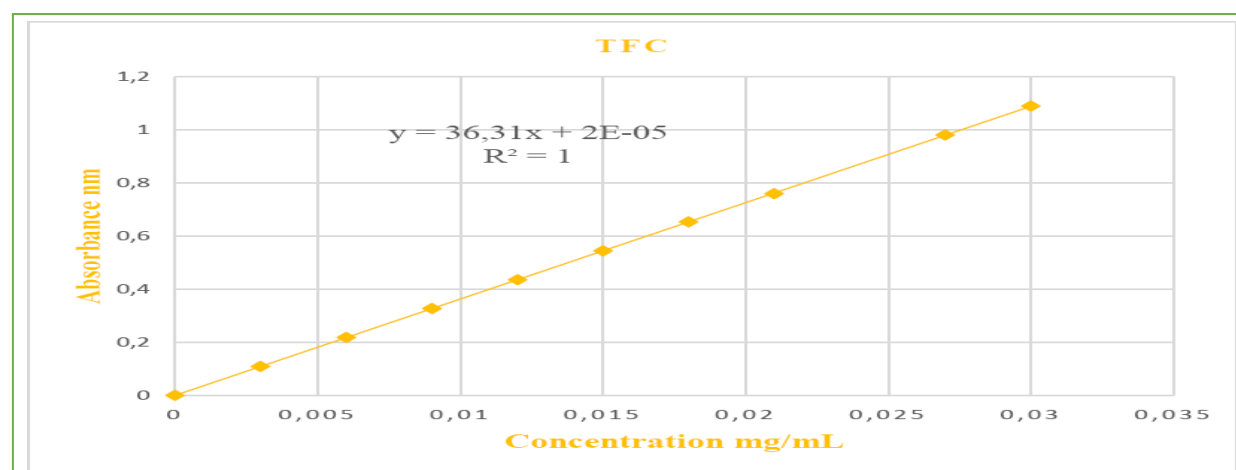


Figure III.2: Courbe d'étalonnage de la quercétine pour la quantification des flavonoïdes totaux.

L'analyse des échantillons de gelée royale a révélé des différences intéressantes entre les deux régions étudiées. La gelée royale de Blida présente une teneur en polyphénols totaux de $0,219 \pm 0,010$ mg GAE/g et une teneur en flavonoïdes totaux de $0,078 \pm 0,005$ mg QE/g (Tableau III. 1). Ces valeurs indiquent une composition relativement riche, susceptible de contribuer aux propriétés biologiques reconnues de ce produit naturel. En revanche, la gelée royale provenant d'El-Oued affiche une teneur en polyphénols totaux plus faible, estimée à $0,153 \pm 0,0010$ mg GAE/g. Pour les flavonoïdes, la valeur mesurée est de $0,000471$ mg QE/g (Tableau III. 1), bien qu'elle semble incomplète ou approximative dans le document original. Globalement, ces résultats suggèrent que la gelée royale de Blida est plus concentrée en composés phénoliques et flavonoïdiques que celle d'El-Oued, ce qui pourrait s'expliquer par des différences liées au climat, à l'environnement floral ou encore aux conditions de récolte.

Tableau III. 1: Teneurs en composés phénoliques totaux (TPC) et flavonoïdes totaux (TFC) de la gelée royale provenant de Blida et d'El-Oued.

	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)
Gelée royale(Blida)	0.219 ± 0.01	0.078 ± 0.005
Gelée royale(El-Oued)	0.153 ± 0.0010	0.0563 ± 0.000471

Résultat de l'activité antioxydant

Analyse par les tests DPPH et FRAP

L'évaluation de l'activité antioxydante de la gelée royale a été réalisée à l'aide de deux méthodes complémentaires : le test de piégeage des radicaux libres DPPH et le test de réduction du fer (FRAP). Les résultats sont exprimés en valeurs IC_{50} et EC_{50} (mg/mL), où des valeurs plus faibles traduisent une meilleure activité antioxydante. L'étude montre que la gelée royale de Blida neutralise un peu mieux les radicaux libres ($IC_{50} = 0.310$ mg/mL) que celle d'El-Oued ($0,375$ mg/mL). En revanche, au test FRAP, c'est l'échantillon d'El-Oued qui se révèle plus performant ($EC_{50} = 0.102$ mg/mL contre $0,167$ mg/mL pour Blida).

Tableau III.2:Activité antioxydante de la gelée royale selon les tests DPPH et FRAP

	DPPH IC_{50} (mg/mL)	FRAP EC_{50} (mg/mL)
Gelée royale(Blida)	0.310 ± 0.0081	0.167 ± 0.0053
Gelée royale(El-Oued)	0.375 ± 0.0024	0.102 ± 0.0036

β -carotène test

Le test au β -carotène confirme la supériorité des standards, avec plus de 92 % d'inhibition pour le BHT et le Trolox. La gelée royale de Blida atteint 85.4 % à 2 mg/mL, ce qui reste proche des références, mais son efficacité diminue nettement aux doses plus faibles. Celle d'El-Oued suit le même schéma, avec un maximum de 78.9 % à 2 mg/mL. À la concentration la plus basse. (Tableau III. 3).

Tableau III. 3: Effet inhibiteur de la gelée royale de Blida et d'El-Oued sur l'oxydation du β -carotène, comparé aux standards de référence (BHT et Trolox), après 120 minutes d'incubation.

Échantillon	Concentration	%d'inhibition à 120 min (Moyenne $\pm$ ÉT, n=3)
BHT	0.02%(m/v)	95.3 $\pm$ 1.1
Trolox	200 μ M	92.6 $\pm$ 1.4
Gelée royale (Blida)	2.00mg/mL	85.4 $\pm$ 2.0
	1.00mg/mL	72.1 $\pm$ 2.5
	0.50mg/mL	61.8 $\pm$ 2.7
	0.10mg/mL	40.5 $\pm$ 3.0
Gelée royale (El-Oued)	2.00mg/mL	78.9 $\pm$ 1.8
	1.00mg/mL	65.2 $\pm$ 2.1
	0.50mg/mL	52.4 $\pm$ 2.6
	0.10mg/mL	34.7 $\pm$ 2.9

Résultat de l'activité anti-inflammatoire

Les résultats présentés dans le **Tableau III. 4** mettent en évidence des différences notables dans l'activité anti-inflammatoire entre les deux échantillons de gelée royale étudiés et le Diclofénac utilisé comme référence. Le diclofénac reste le plus efficace ($IC_{50} = 0.3012$ mg/mL). La gelée royale de Blida montre une activité modérée (0.9036 mg/mL) et celle d'El-Oued plus faible (1.049 mg/mL). Ces écarts reflètent sans doute des différences de composition liées à l'origine. Même si son effet est moindre, la gelée royale garde de l'intérêt grâce à son côté naturel et ses multiples propriétés.

Tableau III.4: Activité anti-inflammatoire exprimée en valeurs d'IC₅₀ (mg/mL)

	BSA IC ₅₀ (mg/mL)
Gelée royale(Blida)	0.9036± 0.002
Gelée royale(El-Oued)	1.049± 0.0026
Diclofenac	0.3012±0.006

Résultat de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne a été évaluée sur quatre souches de référence (ATCC). La gentamicine, utilisée comme antibiotique de référence, présente les diamètres d'inhibition les plus élevés pour l'ensemble des bactéries testées, avec des valeurs comprises entre 20.00± 0.00 mm (*Pseudomonas aeruginosa*) et 27.50 ± 0.41 mm (*Staphylococcus aureus*). En comparaison, les extraits de gelée royale montrent une activité plus modérée. La gelée royale de Blida exerce une inhibition supérieure à celle de la gelée royale d'El-Oued, quelle que soit la souche bactérienne. Par exemple, contre *Escherichia coli*, la gelée royale de Blida affiche 16.00 ± 0.82 mm, contre seulement 12.83 ± 0.24 mm pour celle d'El-Oued. De même, face à *Staphylococcus aureus*, la gelée royale de Blida atteint 20.67 ± 0.47 mm, alors que la gelée royale d'El-Oued n'atteint que 16.83 ± 0.24 mm (**Tableau III. 5**). Globalement, la gentamicine se distingue par une efficacité nettement supérieure, mais les résultats indiquent que la gelée royale, en particulier celle de Blida, conserve une activité antibactérienne notable, surtout à l'égard des bactéries Gram positives (*Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*).

Tableau III. 5: Comparaison de l'activité antibactérienne de la gentamicine et des gélées royales (Blida et El-Oued) sur des souches de référence (ATCC)

Souche (ATCC)	<i>Escherichia coli</i> ATCC25922	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC42532	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC10845	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC65403
Gentamicine (Réf.)	22.33±0.47	20.00±0.00	24.67±0.24	27.50±0.41
Gelée royale (Blida)	16.00±0.82	14.50±0.41	19.00±0.00	20.67±0.47
Gelée royale (El-Oued)	12.83±0.24	11.17±0.62	15.67±0.47	16.83±0.24

Résultats d'analyses statistiques

Dans la **Figure III.3**, la carte de chaleur illustre les corrélations entre la teneur totale en composés phénoliques (TPC), la teneur totale en flavonoïdes (TFC) et les activités antioxydantes mesurées par les tests DPPH et FRAP. On observe une corrélation positive entre TPC, TFC et FRAP, indiquant que l'augmentation des teneurs en polyphénols et en flavonoïdes s'accompagne d'une amélioration de l'activité antioxydante mesurée par FRAP. En revanche, une corrélation négative apparaît entre DPPH et les teneurs en TPC et TFC, traduisant une relation inverse entre ces paramètres (**Figure III. 3**).

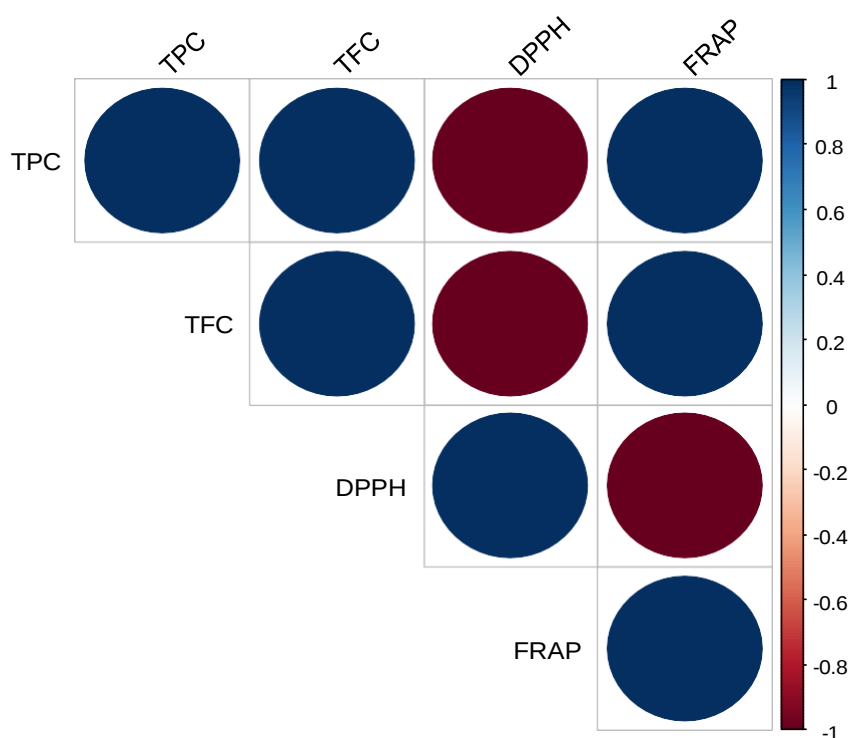


Figure III. 3: Carte de chaleur des corrélations entre la teneur totale en composés phénoliques (TPC), la teneur totale en flavonoïdes (TFC) et les activités antioxydantes (DPPH, FRAP).

La **Figure III.4** présente l'activité antioxydante au test β -carotène mesurée en pourcentage d'inhibition après 120 minutes. Les résultats comparent les extraits de gelée royale aux standards de référence. Certains extraits se révèlent aussi efficaces, voire plus, que les standards. Leur action contre l'oxydation du β -carotène montre qu'ils peuvent limiter l'oxydation des lipides. Cela souligne l'intérêt de la gelée royale comme protecteur naturel contre le stress oxydatif.

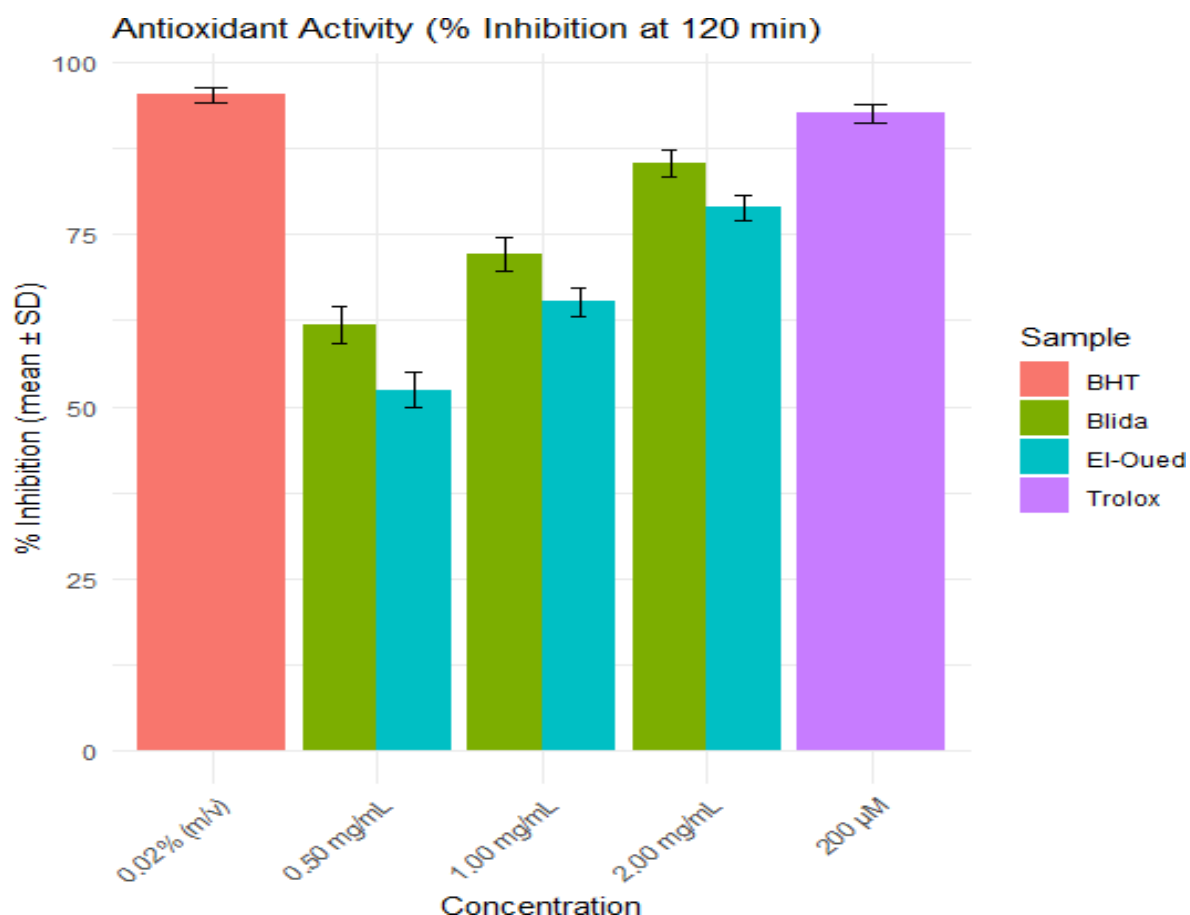
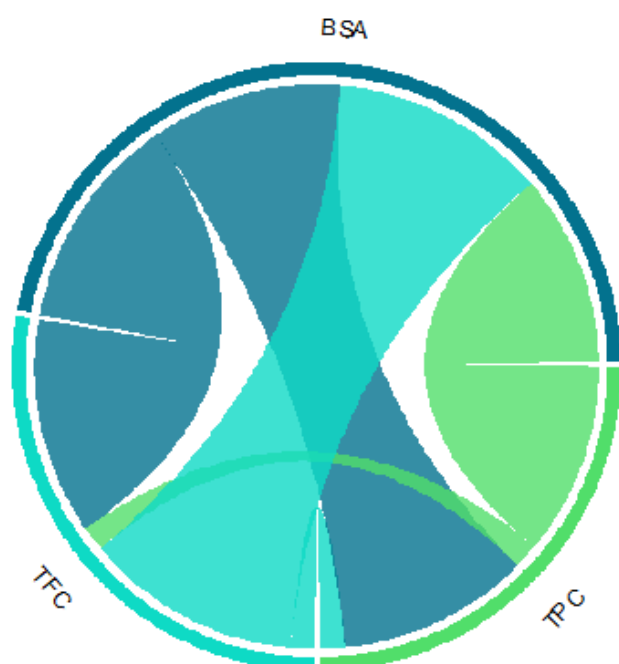


Figure III.4:Activité antioxydante au β -carotène (%d'inhibition à 120 min) des standards et des extraits de gelée royale.

La **Figure III.5** présente un chord diagram mettant en évidence les relations établies entre la teneur totale en composés phénoliques(TPC), la teneur totale en flavonoïdes(TFC)et l'activité anti-inflammatoire mesurée par le test à l'albumine sérique bovine (BSA). Cette représentation circulaire montre l'intensité et la répartition des interactions entre les paramètres biochimiques et biologiques étudiés. Le TPC est associé à l'activité anti-inflammatoire en raison de sa teneur en composés phénoliques qui inhibe la dénaturation des protéines. Le TFC présente une corrélation avec l'activité BSA, indiquant que les flavonoïdes, une sous-classe de polyphénols, sont cruciaux dans l'activité anti-inflammatoire. Le schéma met en évidence la complémentarité d'action de deux familles de métabolites secondaires, renforçant l'activité biologique. La **Figure III.5** révèle que l'activité anti-inflammatoire de la gelée royale est due à un système combiné TPC et TFC.

Chord Diagram - Gelée royale (Blida)



Chord Diagram - Gelée royale (El-Oued)

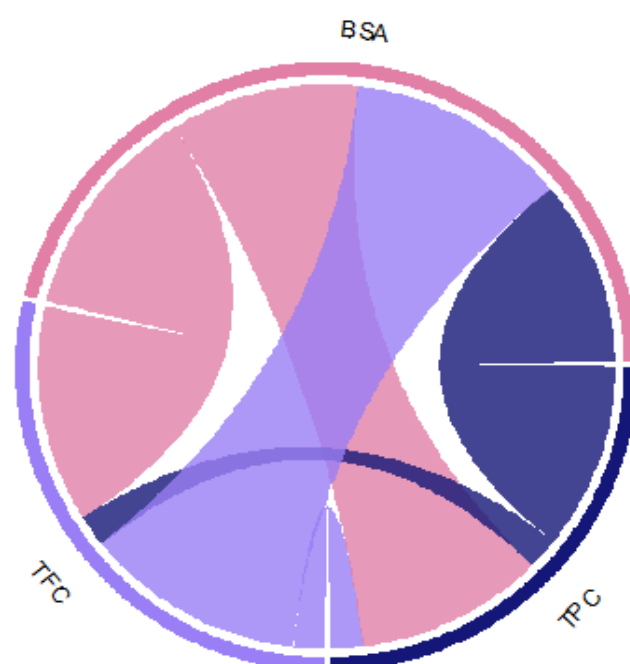


Figure III.5: Chord diagram–Visualisation des interactions entre le TPC, le TFC et l’activité anti-inflammatoire (BSA)

Enfin, la **Figure III.6** compare l’activité antibactérienne de la gentamicine (antibiotique de référence) et de la gelée royale, testées à partir d’échantillons provenant de Blida et d’El-Oued, contre différentes souches bactériennes. Les résultats, exprimés en zones d’inhibition (mm), montrent que la gelée royale possède un effet antibactérien mesurable, bien que variable selon les souches et l’origine géographique de l’échantillon. Si la gentamicine conserve une efficacité supérieure, l’activité démontrée par la gelée royale met en évidence son potentiel comme alternative naturelle ou comme adjuvant thérapeutique. Cette observation ouvre des perspectives intéressantes pour une valorisation biomédicale de ce produit naturel.

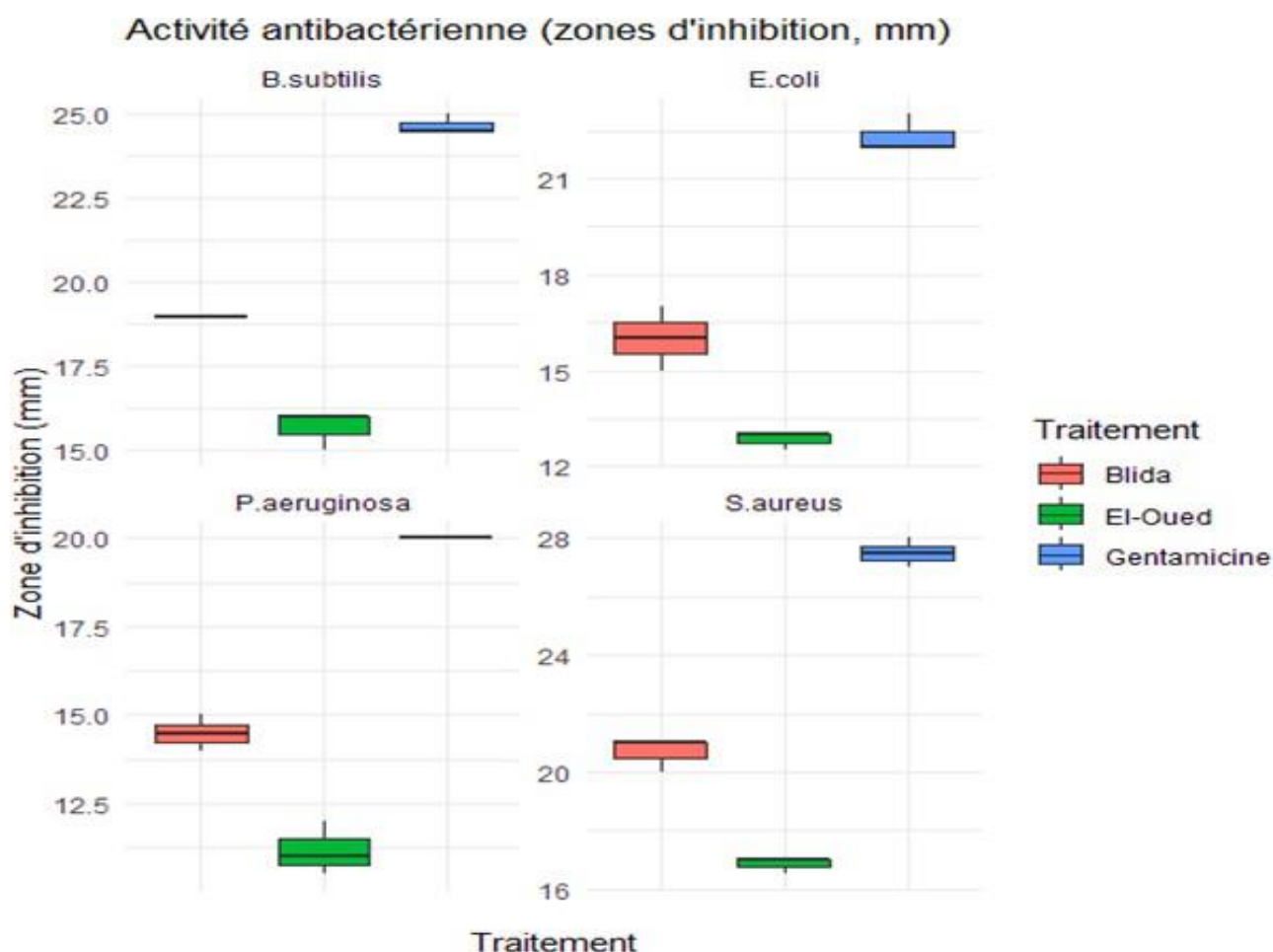


Figure III.6: Comparaison de l'activité antibactérienne de la gentamicine et de la gelée royale (Blida, El-Oued) contre différentes souches bactériennes (zones d'inhibition, mm).

2. Discussion

L'analyse a mis en évidence des différences assez claires entre les deux échantillons de gelée royale. Celui de Blida montre des teneurs plus élevées en composés phénoliques (0.219 ± 0.010 mg GAE/g) et en flavonoïdes (0.078 ± 0.005 mg QE/g), alors que l'échantillon d'El-Oued présente des valeurs plus basses (0.153 ± 0.0010 mg GAE/g et seulement 0.0563 ± 0.00047 mg QE/g). Ces résultats laissent penser que la gelée royale de Blida pourrait avoir un potentiel antioxydant plus intéressant, ce qui rejoint ce que d'autres auteurs ont déjà montré sur l'importance des phénols et flavonoïdes dans les activités biologiques de ce produit (anti-inflammatoire, immunomodulatrice, antimicrobienne) (Viuda-Martos et al., 2008 ; El-Guendouz et al., 2020). Par contre, la très faible teneur en flavonoïdes trouvée dans l'échantillon d'El-Oued surprend vraiment, car elle est bien en dessous des valeurs rapportées dans d'autres travaux (Guo et al., 2021; Altun & Aydemir, 2022). Cela peut venir de

plusieurs facteurs : soit une variabilité biologique naturelle, soit une limite de la méthode analytique utilisée. On ne peut pas non plus exclure l'influence des conditions régionales. Blida, avec son climat plus doux et une flore plus diversifiée, favorise probablement l'accumulation de métabolites secondaires chez les plantes, qui se transmettent ensuite à la gelée. À l'inverse, le climat aride d'El-Oued limite sans doute cette richesse. Dans l'ensemble, les valeurs obtenues sont un peu plus basses que celles qu'on retrouve le plus souvent dans la littérature, mais elles restent plausibles si l'on considère la variabilité liée à l'origine géographique, aux conditions écologiques et aux techniques employées (Viuda-Martos et al., 2008 ; Guo et al., 2021). Cela rappelle qu'il est indispensable de prendre en compte à la fois l'environnement et l'origine botanique quand on évalue la qualité bioactive de la gelée royale.

L'évaluation de l'activité antioxydante par les tests DPPH et FRAP montre une complémentarité notable entre vos échantillons de gelée royale. La gelée royale de Blida affiche une meilleure capacité de piégeage des radicaux libres ($IC_{50} = 0.310 \pm 0.0081$ mg/mL) que celle d'El-Oued (0.375 ± 0.0024 mg/mL), indiquant une plus forte activité antioxydante par ce mécanisme. Cela rejoint les observations de Nabas et al., qui rapportent des valeurs variables d' IC_{50} selon les origines de gelée royale dans leurs échantillons (dans certaines préparations). Toutefois, l'échantillon d'El-Oued surpasse celui de Blida dans le test FRAP, avec une EC_{50} de 0.102 ± 0.0036 mg/mL contre 0.167 ± 0.0053 mg/mL, ce qui suggère que, malgré une moindre capacité de piégeage de radicaux libres, il possède une plus grande efficacité de réduction du fer. Ce profil "mixté" est cohérent avec la variabilité souvent observée dans les produits apicoles : selon Orascanin et al., les échantillons de gelée royale de Bosnie présentent une forte activité tant en DPPH qu'en FRAP, avec des différences selon les échantillons et les composés bioactifs dominants (protéines, phénols, peptides). Le test d'inhibition de l'oxydation du β -carotène renforce l'idée que la gelée royale de Blida détient un avantage fonctionnel plus prononcé. À 2.00 mg/mL, elle atteint une inhibition de $85.4 \% \pm 2.0$, proche de celle des standards (BHT : $95.3 \% \pm 1.1$; Trolox : $92.6 \% \pm 1.4$), tandis que l'échantillon d'El-Oued atteint $78.9 \% \pm 1.8$. Les deux échantillons montrent une réponse dose-dépendante, mais Blida conserve un niveau d'inhibition plus élevé à toutes les concentrations testées. Cette tendance concorde avec les travaux de Balkanska et al., qui ont observé une corrélation positive entre la teneur en composés phénoliques totaux et l'activité antioxydante (DPPH, FRAP) pour des gélées royales de Bulgarie.

L'analyse statistique divergence peut être expliquée par les principes de fonctionnement propres à chaque test. Le test FRAP évalue la capacité réductrice des extraits, c'est-à-dire leur aptitude à céder des électrons pour réduire les ions ferriques (Fe^3) en ions ferreux (Fe^2). Or, les polyphénols et flavonoïdes sont particulièrement riches en groupements hydroxyles capables de libérer des électrons. Ainsi, plus leur concentration n'est élevée, plus la réduction est efficace, ce qui explique la corrélation positive observée avec FRAP. À l'inverse, le test DPPH repose sur la neutralisation d'un radical libre stable ($\text{DPPH}^\bullet$) par transfert d'hydrogène ou d'électron. Tous les composés phénoliques ne réagissent pas de la même façon avec le radical DPPH. Certains sont très efficaces, d'autres beaucoup moins, et parfois leur structure chimique (par exemple le nombre et la position des groupements hydroxyles, ou encore la présence de méthyles et de glycosides) peut même interférer avec le test. Cela peut expliquer pourquoi on observe une réponse atténuée, voire inversée, et donc la corrélation négative entre le DPPH et les teneurs en polyphénols et flavonoïdes. Ces résultats rappellent à quel point l'évaluation de l'activité antioxydante est complexe. Aucun test pris seul ne peut rendre compte de l'ensemble des mécanismes. Les polyphénols et flavonoïdes agissent en réalité de plusieurs manières: en piégeant directement les radicaux libres, en donnant des hydrogènes ou des électrons, ou encore en chélatant les métaux de transition pour limiter la formation d'espèces réactives de l'oxygène.

L'analyse de l'activité anti-inflammatoire (via les valeurs d' IC_{50}) montre clairement une différence entre la gelée royale et le diclofénac, utilisé comme référence. Sans surprise, c'est le diclofénac qui ressort avec la meilleure efficacité ($\text{IC}_{50} = 0.3012 \text{ mg/mL}$). C'est logique puisqu'il s'agit d'un AINS bien connu, déjà validé en clinique, et il sert justement de standard dans ce type de test. La gelée royale, elle présente une activité mesurable mais plus faible. On voit que l'échantillon de Blida ($\text{IC}_{50} = 0.9036 \text{ mg/mL}$) est un peu plus actif, tandis que celui d'El-Oued ($\text{IC}_{50} = 1.049 \text{ mg/mL}$) reste en retrait. Ces écarts sont probablement liés à des différences de composition biochimique, ce qui dépend de l'environnement, de la flore disponible, mais aussi de la zone géographique. Plusieurs travaux l'ont déjà montré : la teneur en flavonoïdes, acides phénoliques ou protéines bioactives de la gelée royale varie selon son origine, et ça influence directement ses propriétés (Viuda-Martos et al., 2008 ; Ramadan & Al-Ghamdi, 2012). Bien sûr, la gelée royale ne rivalise pas avec un médicament comme le diclofénac. Mais elle garde un intérêt particulier: c'est un produit naturel, avec un profil assez large. En plus de l'effet anti-inflammatoire, elle apporte aussi des actions antioxydantes, immunomodulatrices et même cicatrisantes (Bărnăuțiu et al., 2011; Pasupuleti et al., 2017).

Du coup, même si elle ne peut pas remplacer un AINS de synthèse en termes de puissance, elle pourrait être envisagée comme alternative douce ou comme complément, surtout dans les cas où l'usage prolongé de molécules chimiques pose des problèmes d'effets secondaires.

Les résultats du **Tableau III.5** montrent clairement que la gentamicine reste l'agent le plus efficace contre toutes les souches bactériennes testées. Par exemple, les zones d'inhibition atteignent 27,5 mm pour *Staphylococcus aureus* et 24,7 mm pour *Bacillus subtilis*. À titre de comparaison, la gelée royale de Blida donne des valeurs plus modestes (20,7 mm et 19,0 mm), et celles d'El-Oued sont encore plus faibles (16,8 mm et 15,7 mm). Ces différences indiquent que, même si la gelée royale possède bien une activité antibactérienne, elle reste moins puissante qu'un antibiotique classique comme la gentamicine. L'écart observé entre les deux échantillons de gelée royale souligne aussi l'importance de l'origine géographique et de la composition chimique, déjà mises en avant dans plusieurs études. On sait notamment que des composés comme l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque(10-HDA) et la défensine-1 jouent un rôle clé dans cet effet. Bilikova et al. (2001) ont ainsi montré que la gelée royale pouvait limiter la croissance de *S. aureus* et *E.coli*, même si son action reste plus faible que celle des antibiotiques standards. De leur côté, Ramadan et Al-Ghamdi (2012) ont confirmé que la variabilité de l'activité dépend beaucoup de la flore et de la région d'origine, ce qui correspond bien à nos résultats, plus marqués pour l'échantillon de Blida.

Conclusion

L'étude sur la gelée royale prise dans deux régions d'Algérie (El-Oued et Blida) a montré que ce produit de la ruche est important, non seulement pour sa valeur nutritive, mais aussi pour ses effets biologiques remarquables. Les analyses montrent que la gelée royale contient beaucoup de composés actifs: polyphénols, flavonoïdes, acides gras spéciaux et protéines importantes qui expliquent ses effets antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiens. Les résultats montrent que la gelée royale change de composition chimique et d'effets biologiques selon son origine, ce qui prouve que l'environnement et les fleurs jouent sur la qualité de ce produit naturel.

Ces observations confirment les études précédentes qui montrent qu'il faut définir et normaliser la gelée royale pour mieux utiliser ses bienfaits médicaux. Ce travail aide à mieux connaître la gelée royale faite ici et montre des possibilités pour l'utiliser comme complément alimentaire ou remède naturel. Au-delà de son intérêt scientifique, il montre aussi l'importance sociale et économique de l'apiculture pour le développement durable et la protection de la biodiversité. Cependant, il faut savoir que d'autres études, avec des tests cliniques plus complets et des analyses plus régulières, sont encore nécessaires pour confirmer et élargir les usages médicaux de la gelée royale. Mettre en avant ce produit, dans une production d'abeilles durable qui respecte les abeilles, est important pour la santé des humains et la protection de la nature.

Références

- Al-Kahtani, S. N., & Taha, E.-K. A. (2020). Post grafting time significantly influences royal jelly yield and content of macro and trace elements. *PloS one*, 15(9), e0238751.
- Altun, F., & Aydemir, T. (2022). Comparative study on the bioactive compounds of royaljelly from different botanical origins. *Bee Studies*, 14(1), 9-15.
- Altun, S. K., & Aydemir, M. E. (2022). Determination of antioxidant capacities with the phenolic and flavonoid contents of royal jelly mixtures. *Bee Studies*, 14(1), 9-15.
- Ashman,T.-L.,Knight,T.M.,Steets,J.A.,Amarasekare,P.,Burd,M.,Campbell,D.R., Dudash,M.R.,Johnston,M.O.,Mazer,S.J.,Mitchell,R.J.,Morgan,M.T.,&Wilson,W. G. (2004). POLLEN LIMITATION OF PLANT REPRODUCTION: ECOLOGICAL AND EVOLUTIONARY CAUSES AND CONSEQUENCES. *Ecology*,85(9),2408-2421.
<https://doi.org/10.1890/03-8024>
- 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.
- Babin, M. (2015). La gelée royale, de son origine à sa valorisation pharmaceutique [PhD Thesis]. Éditeur inconnu.
- Bălan, A., Moga, M. A., Dima, L., Toma, S., Elena Neculau, A., & Anastasiu, C. V. (2020). Royal jelly—A traditional and natural remedy for postmenopausal symptoms and aging-related pathologies. *Molecules*, 25(14), 3291.
- Balkanska, R., et al. (année non précisée). Correlation between phenolic content and antioxidant activity in Bulgarian royal jelly.
- Bărnuțiu, L. I., Mărghitaș, L. A., Dezmirean, D. S., Mihai, C. M., & Bobiș, O. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of Royal Jelly-REVIEW. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 44(2), 67-67.
- Bărnuțiu, L. I., Mărghitaș, L. A., Dezmirean, D. S., Mihai, C. M., & Bobiș, O. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of royal jelly—Review. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 44(2), 67-67.
- BenAmor,S.,Mekious,S.,AllalBenfekih,L.,Abdellattif,M.H.,Boussebaa,W.,Almalki, F. A., Ben Hadda, T., & Kawsar, S. M. (2022). Phytochemical characterization andbioactivity of different honey samples collected in the Pre-Saharan region in Algeria. *Life*, 12(7), 927.
- Bilikova, K., Karas, M., & Simuth, J. (2001). Antibacterial effect of royal jelly. *Letters in Applied Microbiology*, 33(4), 245-248.
- Botezan, S., Baci, G. M., Bagameri, L., Pașca, C., & others. (2023). Current status of the bioactive properties of royal jelly: A comprehensive review with a focus on its anticancer, anti-inflammatory, and antioxidant effects. *Molecules*, 28(3), 1510
- Botezan, S., Baci, G.-M., Bagameri, L., Pașca, C., & Dezmirean, D. S. (2023). Current status of the bioactive properties of royal jelly: A comprehensive review with a focus on its anticancer, anti-inflammatory, and antioxidant effects. *Molecules*, 28(3), 1510.

- Buratti, S., Benedetti, S., & Cosio, M. S. (2007). Evaluation of the antioxidant power of honey, propolis and royal jelly by amperometric flow injection analysis. *Talanta*, 71(3), 1387-1392.
- Campos, M. G. R., Frigerio, C., Lopes, J., & Bogdanov, S. (2010). What is the future of Bee-Pollen. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 2(4), 131-144.
- 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.
- Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3). https://www.academia.edu/download/59534006/Chang_flavonoids20190605-43620-tuh92o.PDF
- Drescher, N., Klein, A.-M., Neumann, P., Yañez, O., & Leonhardt, S. D. (2017). Inside honeybee hives: Impact of natural propolis on the ectoparasitic mite *Varroa destructor* and viruses. *Insects*, 8(1), 15.
- Eilers, E. J., Kremen, C., Smith Greenleaf, 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.
- El-Guendouz, S., Machado, A. M., Aazza, S., Lyoussi, B., Miguel, M. G., Mateus, M. C., & Figueiredo, A. C. (2020). Chemical characterization and biological properties of royal jelly samples from the Mediterranean area. *Natural Product Communications*, 15(2), 1934578X20908080. <https://doi.org/10.1177/1934578X20908080>
- El-Sayed, N. S., Omar, E. M., Habiba, E. S., Harby, S. A., & others. (2025). Neuroprotective efficacy of royal jelly and propolis against cadmium-induced dysregulation of neurogenesis and neurotransmitters in the brain of rats: Molecular insights. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 79, 127297.
- Frunze, O., Akongte, P. N., Kim, D., Kang, E.-J., Park, B.-S., Kim, K.-M., & Choi, Y.-S. (2022). Effects of Species and Larvae Weights on Royal Jelly Secreted by Honey Bees (*Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana koreana*) Bred in Korea. *Journal of Apiculture*, 37(4), 349-354.
- Gasic, S., Vucevic, D., Vasilijic, S., Antunovic, M., Chinou, I., & Colic, M. (2007). Evaluation of the Immunomodulatory Activities of Royal Jelly Components In Vitro. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 29(3-4), 521-536. <https://doi.org/10.1080/08923970701690977>
- Ghosh, S., & Jung, C. (2024). Chemical composition and nutritional value of royal jelly samples obtained from honey bee (*Apis mellifera*) hives fed on oak and rapeseed pollen patties. *Insects*, 15(3), 141.
- Gu, H., Song, I.-B., Han, H.-J., Lee, N.-Y., Cha, J.-Y., Son, Y.-K., & Kwon, J. (2018). Antioxidant activity of royal jelly hydrolysates obtained by enzymatic treatment. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(1), 135.

- Guo, J., Wang, Z., Chen, Y., Cao, J., Tian, W., Ma, B., & Dong, Y. (2021). Active components and biological functions of royal jelly. *Journal of Functional Foods*, 82, 104514.
- Hepburn, H. R. (2012). *Honeybees and wax: An experimental natural history*. Springer Science & Business Media. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=mtP6CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=waxbee&ots=gbJoqPvX9U&sig=NNEL2PkfAXXipjbb6iO2AfK9Uik>
- Hermanns, R., Mateescu, C., Thrasyvoulou, A., Tananaki, C., Wagener, F. A. D. T. G., & Cremers, N. A. J. (2020). Defining the standards for medical grade honey. *Journal of Apicultural Research*, 59(2), 125-135. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1693713>
- Isidorov, V. A., Bakier, S., & Grzech, I. (2012). Gas chromatographic–mass spectrometric investigation of volatile and extractable compounds of crude royal jelly. *Journal of Chromatography B*, 885, 109-116.
- Jean-Prost, P., Médori, P., & Le Conte, Y. (2005). *Apiculture: Connaitre l'abeille. Conduire le rucher*. 7^{ème} édition Lavoisier. 682p.
- Kanelis, D., Liolios, V., Rodopoulou, M.-A., Papadopoulou, F., & Tananaki, C. (2024). Production and quality characteristics of royal jelly in relation to available natural food resources. *Resources*, 13(4), 55.
- Kashima, Y., Kanematsu, S., Asai, S., Kusada, M., Watanabe, S., Kawashima, T., Nakamura, T., Shimada, M., Goto, T., & Nagaoka, S. (2014). Identification of a novel hypocholesterolemic protein, major royal jelly protein 1, derived from royal jelly. *PloS one*, 9(8), e105073.
- Klein, A.M., Vaissière, B. E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274(1608), 303–313.
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kocot, J., Kielczykowska, M., Luchowska-Kocot, D., Kurzepa, J., & Musik, I. (2018). Antioxidant Potential of Propolis, Bee Pollen, and Royal Jelly: Possible Medical Application. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018(1), 7074209. <https://doi.org/10.1155/2018/7074209>
- Komosinska-Vashev, K., Olczyk, P., Kaźmierczak, J., Mencner, L., & Olczyk, K. (2015). Bee Pollen: Chemical Composition and Therapeutic Application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2015/297425>
- Krell, R. (1996). Value-added products from beekeeping (Vol. 124). Food & Agriculture Org. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=BzzBBbnIJhIC&oi=fnd&pg=PR3&dq=Krell%23+R.%23+ValueSadded%23+Products%23+from%23+Beekeeping,%23+Num%C3%A9ro%23+124.%23+Food%23+and%23+Agriculture%23++Organization%3B%231996.%23409%23p.%23%23&ots=IfmdjOrUBC&sig=2309wl6ixoHabK8Wtya6e476Cjk>

- Li, J., Wang, T., Zhang, Z., & Pan, Y. (2007). Proteomic Analysis of Royal Jelly from Three Strains of Western Honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8411-8422. <https://doi.org/10.1021/jf0717440>
- Marconi, E., Caboni, M. F., Messina, M. C., & Panfili, G. (2002). Furosine: A Suitable Marker for Assessing the Freshness of Royal Jelly. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2825-2829. <https://doi.org/10.1021/jf0114987>
- Martinello, M., & Mutinelli, F. (2021). Antioxidant activity in bee products: A review. *Antioxidants* 2021, 10, 71. sNote:MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in ...<https://www.academia.edu/download/89272776/pdf.pdf>
- Mazzei, P., Piccolo, A., Brescia, M., & Caprio, E. (2020). Assessment of geographical origin and production period of royal jelly by NMR metabolomics. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00190-8>
- Messia, M. C., Caboni, M. F., & Marconi, E. (2005). Storage Stability Assessment of Freeze-Dried Royal Jelly by Furosine Determination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4440-4443. <https://doi.org/10.1021/jf0404647>
- Moudjari, D., & Rabia, N. (2023). Gelée royale: Composition, production, propriétés et qualités sanitaires [PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri]. <https://dspace.ummo.dz/items/7d46c819-f07e-4935-8226-413c224603dc>
- Nabas, Z., et al. (année non précisée). Étude sur l'activité antioxydante de la gelée royale selon son origine.
- Nepi, M., Grasso, D. A., & Mancuso, S. (2018). Nectar in plant–insect mutualistic relationships: From food reward to partner manipulation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1063.
- Orascanin, M., Bektasevic, M., Sertovic, E., Stokanovic, M. C., Flanjak, I., & Alibabic, V. (2025). Physicochemical characterization and antioxidant activity of royal jelly from Northwestern Bosnia and Herzegovina. *Journal of Biotechnology and Biomedicine*, 8, 109-117.
- Oršolić, N., & Jazvinščak Jembrek, M. (2024). Royal jelly: Biological action and health benefits. *International journal of molecular sciences*, 25(11), 6023.
- Pasupuleti, V. R., Sammugam, L., Ramesh, N., & Gan, S. H. (2017). Honey, Propolis, and Royal Jelly: A Comprehensive Review of Their Biological Actions and Health Benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017(1), 1259510. <https://doi.org/10.1155/2017/1259510>
- Peykova-Shapkova, I., Ivanova, M., & Tumbarski, Y. D. (2025). Royal jelly: Chemical composition, health benefits and food applications: A review. *Food Science and Applied Biotechnology*, 8(1), 47-64.
- Ramadan, M. F., & Al-Ghamdi, A. (2012). Bioactive compounds and health-promoting properties of royal jelly: a review. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 39-52.

- Riva, C. (2017). Application de la démarche de drug-design pour la conception de nouveaux médicaments vétérinaires contre le parasite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) [PhD Thesis, Normandie Université]. <https://theses.hal.science/tel-01693335/>
- Santos, L.M., Fonseca, M.S., Sokolonski, A.R., Deegan, K.R., Araújo, R.P., Umsza-Guez, M. A., Barbosa, J. D., Portela, R. D., & Machado, B. A. (2020). Propolis: Types, composition, biological activities, and veterinary product patent prospecting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1369-1382. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10024>
- Shidfar, F., Jazayeri, S., Mousavi, S. N., Malek, M., fateme HOSSEINI, A., & Khoshpey, B. (2015). Does supplementation with royal jelly improve oxidative stress and insulin resistance in type 2 diabetic patients? *Iranian journal of public health*, 44(6), 797.
- Susilo, A., Tyas, A. E. C., & Rahayu, P. P. (2025). Royal Jelly: A Multifunctional Nutraceutical with Antibacterial, Immunomodulatory, Antioxidant, and Antitumor Properties. *Asian Journal of Food Research and Nutrition*, 4(3), 803-811.
- Suzuki, K.-M., Isohama, Y., Maruyama, H., Yamada, Y., Narita, Y., Ohta, S., Araki, Y., Miyata, T., & Mishima, S. (2008). Estrogenic Activities of Fatty Acids and a Sterol Isolated from Royal Jelly. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 5(3), 295-302. <https://doi.org/10.1093/ecam/nem036>
- Tarantilis, P. A., Pappas, C. S., Alissandrakis, E., Harizanis, P. C., & Polissiou, M. G. (2012). Monitoring of royal jelly protein degradation during storage using Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Journal of Apicultural Research*, 51(2), 185-192. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.2.07>
- Uthaibutra, V., Kaewkod, T., Prapawilai, P., Pandith, H., & Tragoolpua, Y. (2023). Inhibition of skin pathogenic bacteria, antioxidant and anti-inflammatory activity of royal jelly from northern Thailand. *Molecules*, 28(3), 996.
- 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.
- Agriculture [USDA, U. S. D. of. (2015). Attractiveness of Agricultural Crops to Pollinating Bees for the Collection of Nectar and/or Pollen. USDA Washington, DC.
- Xue, X., Wu, L., & Wang, K. (2017). Chemical Composition of Royal Jelly. In J. M. Alvarez-Suarez (Éd.), *Bee Products—Chemical and Biological Properties* (p. 181-190). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59689-1_8