

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie physico-chimique
Spécialité Biochimie Appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**ÉTUDE COMPARATIVE DE QUELQUES MIELS
LOCAUX ET D'IMPORTATION**

Présenté par :

BENHELLAL Imane & OUADFEL Yasmine

Soutenu le : 21 juin 2023

Devant le jury composé de :

Mr. ADJEBLI A.	MCA	Président
Mr. OTMANI A.	MAB	Encadreur
Mr. BOUADAM S.	MCA	Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciement

Avant tout nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la détermination pour mener à bien cet humble travail.

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers notre estimé promoteur, **Mr. OTMANI Amar**, qui a été constamment à nos côtés, depuis nos premiers jours jusqu'au dernier. Nous sommes réellement incapables de trouver les mots pour exprimer pleinement notre profonde reconnaissance envers lui. Sa perfection, sa conscience, sa patience et, bien sûr, nous ne pourrions jamais oublier son premier conseil : "À la fin, vous obtiendrez votre diplôme, donc gardez le moral et surtout veillez à votre santé, car c'est ce qui importe le plus". Nous tenons à le remercier sincèrement pour son suivi attentif, ses orientations précieuses et les efforts considérables qu'il a déployés tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses encouragements et sa gentillesse ont été inestimables pour nous.

Nos chaleureux remerciements s'adressent aux membres de jury, en l'occurrence **Mr BOUADAM** et **Mr ADJEBLI** d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nos chaleureux remerciements sont adressés également à **Mr ZAIDI Hicham** pour son précieuse aide au sein de laboratoire et pour sa générosité.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, notamment **Mr. OUCHMOUKH Salim**, l'ingénieure de laboratoire techniques d'analyse **Mme BENYAHIA Lydia**, la doctorante **Melle GUENAOUI Nawal** pour son aide et ces conseils.

Nous terminons nos remerciements à tous les membres de nos familles pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Dédicace

Après avoir rendu grâce à Dieu je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents

Pour leurs efforts et leurs sacrifices durant toute ma vie, leurs encouragements et soutien jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

A mon frère Abdelkamel

A ma sœur Malak

A mes tantes

Souhila, Nabila, Kahina , Yasmina

A mon oncle walid

A chère grand-mère

A mes copines

Hanane , Rahma ,Lamia ,Katia ,Lamia ,Katia,

Tinhinane, Nadjet, Asma

A ma binôme Yasmine

Tout la famille Benhellal et la famille Issahnane

A toutes mes amies A vous chers lecteurs

Imane.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celui qui me réveillait tous les matins, me tenait la main et portait mon sac jusqu'à l'école depuis mon enfance.

A celui qui m'a appris que la vie sans savoir ne vaut rien, et que le statut d'une personne et le respect des gens pour lui le valent avec son savoir.

A ceux qui étaient impatients d'assister à ma soutenance Aujourd'hui, trois ans se sont écoulés depuis votre séparation, mais mon âme ne vous a pas quitté une seconde. Plusieurs fois, j'ai failli tomber et m'abandonner à tout, mais vous me sauvez toujours avec vos paroles et vos conseils, même en votre absence et jusqu'au aujourd'hui vous me donne toujours de la force.

Mon plus grand souhait était que tu sois avec moi en ce jour et que tu sois fier de moi devant tout le monde, mais la mort a été vraiment plus rapide, Malgré cela, je suis fière de vous offrir mon premier succès, et je vous promets qu'un jour je brillerai comme les étoiles comme je vous l'ai promis.

C'est pour mon cher grand-père qui m'a tout donné sans rien attendre en retour, merci !

Qu'Allah l'accueille dans ses vastes paradis.

Yasmine.

Sommaire

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Chapitre I : Généralités sur le miel

I. Généralités sur le miel	
I. 1. Définition	2
I. 2. Origine et variété	2
I. 2. 1. Miel de nectar.....	2
➤ Miel mono-floraux	3
➤ Miel poly-floraux	3
I. 2.2. Miellat	3
I. 3. Elaboration et récolte	4
I. 4. Composition chimique	5
I. 4. 1. Glucides.....	6
I. 4. 2. Eau.....	6
I. 4. 3. Acides organiques.....	6
I. 4. 4. Protéines et acides aminés	7
I. 4. 5. Lipides.....	7
I. 4. 6. Enzymes	7
I. 4. 7. Minéraux.....	8
I. 4. 8. Vitamines	8
I. 4. 9. Arômes	8
I. 4. 10. Hydroxyméthylfurfural(HMF)	8
I. 4. 11. Composés phénoliques	9
I. 4. 12. Pollen	9

Chapitre II : Activités biologiques du miel

II. 1. Effet anti-oxydant	10
II. 2. Effet anti-hémolytique	10
II. 3. Effet anti-bactérien	11
II. 4. Effet anti-inflammatoire	11

Chapitre III : matériel et méthodes

III. 1. Echantillons	12
III. 2. Analyse pollinique	13
III. 3. Analyses physico-chimiques	13
III. 3. 1. Brix et humidité	13
III. 3. 2. Potentiel d'hydrogène (pH)	14
III. 3. 3. Conductivité électrique	14
III. 3. 4. Couleur (Echelle Pfund).....	14
III. 3. 5. Dosage de l'hydroxy-méthyl furfural (HMF)	15
III. 3. 6. Dosage des protéines	15
III. 3. 7. Dosage de la proline	16
III. 4. Dosage phyto-chimiques	17
III. 4. 1. Composés phénoliques totaux	17
III. 4. 2. Flavonoïdes	17
III. 4. 3. Vitamine C	17
III. 4. 4. Caroténoïdes	18
III. 5. Activités biologiques	19
Activités antioxydantes	19
➤ Pouvoir anti-radicalaire par DPPH.....	19
➤ Pouvoir anti-radicalaire par ABTS.....	19
➤ Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power).....	20
➤ Pouvoir réducteur	20

➤ Test à la ferrozine	20
III. 5. 2. Activité anti-hémolytique	21
III. 6. Analyses statistiques	22

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV. 1. Analyses polliniques	23
IV. 2. Analyses physico-chimiques.....	25
IV. 2. 1. Brix.....	25
IV. 2. 2. Humidité	26
IV. 2. 3. Conductivité électrique.....	27
IV. 2. 4. pH	28
IV. 2. 5. Couleur	29
IV. 2. 6. Teneurs en HMF	30
IV. 2. 7. Teneur en protéine	31
IV. 2. 8. Teneurs en proline	32
IV. 3. Teneurs en antioxydants	34
IV. 3. 1. Composés phénoliques totaux.....	34
IV. 3. 2. Flavonoïdes	35
IV. 3. 3. Vitamine C	36
IV. 3. 4. Caroténoïdes	37
IV. 4. Activités biologiques.....	38
IV. 4. 1. Activités antioxydantes.....	38
➤ Pouvoir anti-radicalaire par le DPPH.....	38
➤ Pouvoir anti-radicalaire par l'ABTS.....	39
➤ Test de FRAP.....	40
➤ Pouvoir réducteur	41
➤ Test à la ferrozine.....	42
IV. 4. 2. Activité anti-hémolytique	43
IV. 5. Corrélations et analyses multivariées	44

Conclusion	47
Références bibliographiques.....	49
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Composition chimique moyenne du miel (Bruneau, 2002).	5
2	Processus de la formation de l'HMF (Shapla et al., 2018).	9
3	Photographie des échantillons de miel.	12
4	Résultats de degré de brix des miels analysés.	25
5	Taux d'humidité des miels analysés.	26
6	Conductivité électrique des miels analysés.	27
7	pH des miels analysés.	28
8	Intensité de couleur (échelle Pfund) des miels analysés.	29
9	Teneurs en HMF des miels analysés.	30
10	Teneurs en protéines des échantillons du miel analysé.	31
11	Teneurs en proline des échantillons du miel analysé.	32
12	Teneurs en composés phénoliques totaux des miels analysés.	34
13	Teneurs en flavonoïdes des miels analysés.	35
14	Teneurs en Vitamine C des miels analysés.	36
15	Teneurs en caroténoïdes des miels analysés.	37
16	L'activité anti radicalaire DPPH des miels analysés.	38
17	L'activité anti-radicalaire ABTS des miels analysés.	39
18	Pouvoir du FRAP des miels analysés.	40
19	Pouvoir réducteur des miels analysés.	41
20	Test à la ferrozine des miels analysés.	42
21	Photographie des résultats de test anti-hémolytique.	43
22	Graphique d'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres physicochimiques, teneurs en composés bioactifs et activités biologiques des échantillons du miel.	46

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Caractéristiques des échantillons de miels analysés.	12
II	Protocole de dosage de la proline.	16
III	Profils polliniques des miels analysés.	24
IV	Noms des couleurs correspondants à l'échelle Pfund.	30
V	Pourcentages d'inhibition de l'hémolyse par les échantillons de miel.	44
VI	Corrélations entre les teneurs en composés bioactifs et les activités biologiques.	45

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ABTS : Acide 2-2 azinobis -3- éthylbenzothiazoline-6-sulfonique

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ANOVA : Analysis Of One Variance

BSA : Bovine Serum Albumin

CE : Conductivité Electrique

CETAM: Centre d'Etudes Techniques Apicoles de Moselle

CHA : Classification Hiérarchique Ascendante

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

DPPH : 2,2-diphinol-1picrylhrozyll

EβCarot : Equivalent β-carotène

Fe³⁺ : Fer ferrique

Fe²⁺ : Fer ferreux

FRAP: Ferric reducing antioxydant power

HMF : Hydroxy-Méthyl Furfural

IC50 : Inhibition Concentration 50

Kg: Kilogramme

mM: Milli molaire

mg EAG : Milligramme Equivalent Acide Gallique

mg EQ : Milligramme Equivalent Quercitine

mS/cm : Milli-Siemens par Centimètre

NF-KB : facteur nucléaire KB

nm : Nanomètre

p/v : Poids / Volume

pH : Potentiel d'Hydrogène

PP : pellagra preventing

r : Coefficient de corrélation

rpm : Rotation Par Minute

T: Température

TCA: Acide trichloroacétique

TPTZ: tripyridyletriazine

μl: Micro-litre

Introduction

Introduction

Les abeilles et le miel ont toujours fasciné les humains. En fait, l'histoire de l'homme et du miel remonte aux temps les plus reculés. Par ailleurs, L'activité thérapeutique et les propriétés nutritionnelles du miel sont reconnues depuis longtemps grâce à de nombreuses publications mentionnant le miel dans des préparations médicinales (**Barth, 2020**).

Le miel est principalement composé de glucides et d'eau et de quelques composés mineurs : pollen, polyphénols, minéraux, vitamines, caroténoïdes, acides organiques et diverses enzymes. De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés biologiques du miel comme antioxydant, antibactérien, anti-inflammatoire et antitumoral, ce qui en fait un élixir de premier ordre (**Nguyen et al., 2018 ; Oryan et al., 2016**).

Le miel est un aliment très apprécié dans le monde, en partie à cause de ses qualités nutritionnelles et gustatives, et d'autre part pour son utilisation dans le traitement traditionnel de diverses affections telles que les ulcères et les brûlures cutanées. Des études scientifiques récentes ont démontré le potentiel thérapeutique et préventif du miel (**Da silva et al., 2016 ; Machado De-Melo et al., 2018**). Les antioxydants enzymatiques (catalase, glucose oxydase et peroxydase) et non enzymatiques (acide ascorbique, flavonoïdes, caroténoïdes et acides phénoliques) de miel sont capables d'inhiber les réactions d'oxydation et de neutraliser les radicaux libres par différents mécanismes (**Al et al., 2009**).

Les paramètres physicochimiques sont considérés comme des indicateurs de l'authenticité et de la pureté du miel, tels que l'humidité, le pH, la conductivité électrique et l'hydroxyméthylfurfural (HMF). Pour cette raison, le Codex Alimentarius et la Commission Européenne du Miel ont élaboré des normes pour ces paramètres afin de garantir une bonne qualité et de prévenir la contrefaçon.

Par conséquent, l'objectif de la présente étude va être basé sur la comparaison des miels locaux et d'importation au terme de leurs, propriétés physicochimiques ainsi que les activités biologiques.

Le présent travail est scindé en trois parties :

- ✓ Une synthèse des données bibliographiques.
- ✓ En second lieu, une partie expérimentale comportant les analyses physicochimiques ainsi que ceux des activités, antioxydante et anti-hémolytique.
- ✓ Enfin, les résultats obtenus seront discutés et interprétés dans la troisième partie.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le miel

Chapitre I : Généralités sur le miel

I. 1. Définition

Le **Codex Alimentaire (2001)** et la **Commission Européenne (2002)** ont défini le miel comme suit : le miel une substance sucrée produite par les abeilles *Apis mellifera* à partir du nectar de plantes ou à partir de sécrétions provenant de parties vivantes de plantes ou à partir d'excrétions d'insectes butineurs laissées sur les parties vivantes de plantes, que les abeilles butinent, transforment en les combinant avec des substances spécifiques qu'elles sécrètent elles-mêmes, déposent, déshydratent, emmagasinent et laissent affiner et mûrir dans les rayons de la ruche.

I. 2. Origine et variété

Le miel est fabriqué par l'abeille *Apis mellifera* à partir de différentes substances végétales, telles que le nectar des fleurs, le miellat et le jus des fruits attaqués par d'autres insectes (**Hoyet, 2005**). En fonction de la provenance de ces sécrétions, le miel peut être classé en deux types :

I. 2. 1. Miel de nectar

Le nectar est une substance liquide et sucrée produite par des structures glandulaires des organes végétaux supérieurs (nectaires). Elles sont situées généralement au fond de la corolle des fleurs (nectaires floraux) ou sur les autres parties de la plante telles que la tige et les feuilles (nectaires extra-floraux) (**Bogdanov et al., 2004 ; Marchenay et Berard, 2007**). Le nectar est composé d'une combinaison de glucides et d'eau, ainsi que d'autres composés tels que des acides organiques, des protéines, des composés aromatiques et des substances inorganiques. Il est issu de la sève des plantes, et chaque plante mellifère possède ses propres caractéristiques qui confèrent au miel sa couleur et sa saveur distinctive (**Lacube, 2013**). Le miel de nectar peut être classé en deux catégories :

➤ Miels monofloraux

En théorie, le miel monofloral est produit par les abeilles à partir d'une seule espèce végétale. Cependant, de tels miels sont rares dans la nature, et il est pratiquement impossible de garantir que les abeilles se nourrissent exclusivement d'une seule variété de fleur. Afin d'être qualifié de miel monofloral, les grains de pollen d'une seule espèce de fleur doivent représenter plus de 45 % de l'ensemble du pollen collecté. La dénomination du miel est alors déterminée par la principale source de pollen (**Bonté et Desmoulière, 2013**). Afin de produire du miel monofloral, les apiculteurs doivent placer leurs ruches à proximité d'une seule espèce de fleur qui est à la fois dense et étendue. Parmi les miels monofloraux les plus répandus, on trouve ceux provenant du colza, du tournesol, de l'acacia, de la lavande, du romarin, du tilleul et du châtaignier (**Bonté et Desmoulière, 2013 ; Nazarian et al., 2010**).

➤ Miels polyfloraux

Le miel polyfloral est un type de miel qui provient du nectar et/ou du miellat de plusieurs espèces végétales, sans qu'une variété spécifique ne domine. Les différentes variétés des miels polyfloraux sont identifiées en fonction de la période de récolte ou de la zone spécifique où les plantes qui sont à l'origine de la production du miel se trouvent. Par exemple, le miel de forêt est élaboré à partir du miellat d'épilobe, de ronce, de bruyère, de lierre, de chêne, de hêtre, de tilleul et de divers conifères. Le miel alpin, quant à lui, provient du nectar de trèfle blanc, de saule, de mûre et de framboise. En revanche, le miel de printemps est produit à partir du nectar de colza, de pommier, de cerisier, de trèfle, de pissenlit et de cassis (**Clément, 2002**).

I. 2. 1. Miel de miellat

Le miellat est défini comme une substance sucrée élaborée par divers homoptères (psylles, cigales, cochenilles et pucerons). Une fois le tissu végétal est perforé, ces insectes sucent la sève qui circule dans les faisceaux pour la transformer en miellat dans leur tube digestif, puis celui-ci est excrété par l'anus. De façon générale, les plantes hôtes des insectes générateurs de miellat sont des arbres forestiers (sapin, pin sylvestre, épicéa, mélèze, châtaignier et chêne). Le miellat est également émis par les végétaux par les orifices stomatiques des feuilles pendant les périodes de sécheresse. Le nom de miellat rappelle la présence d'un trisaccharide (mélézitose) qui était déjà formé dans le tube digestif des homoptères et utilisé pour identifier les miels de miellat. Une teneur de mélézitose supérieure à 0,5 % démontre la présence de miellat dans le miel.

Les abeilles butineuses recueillent le miellat entre la fin de printemps et l'été par léchage en remplissant leur jabot (**Hoyet, 2005 ; Rossant, 2011**).

I. 3. Elaboration et récolte

La transformation de nectar ou de miellat en miel commence dans le jabot des abeilles butineuses. Pour faciliter l'aspiration de ces solutions sucrées, les butineuses diluent le nectar avec un mélange salivaire riche en enzymes, provenant exclusivement des glandes pharyngiennes. A ce niveau, le saccharose est hydrolysé par l'invertase en glucose et fructose (**Marchenay et Bernard, 2007 ; Ouchemoukh, 2012**).

En entrant dans la ruche, les butineuses transfèrent leur charge aux abeilles ouvrières, qui à leur tour le transmettent aux autres abeilles. Ce processus de transmission est appelé trophallaxie. Dans cette digestion collective, le liquide s'enrichit en substances gastriques et salivaires, notamment l'invertase et le glucose-oxydase, pour compléter le processus de digestion des sucres (**Barth, 2020**).

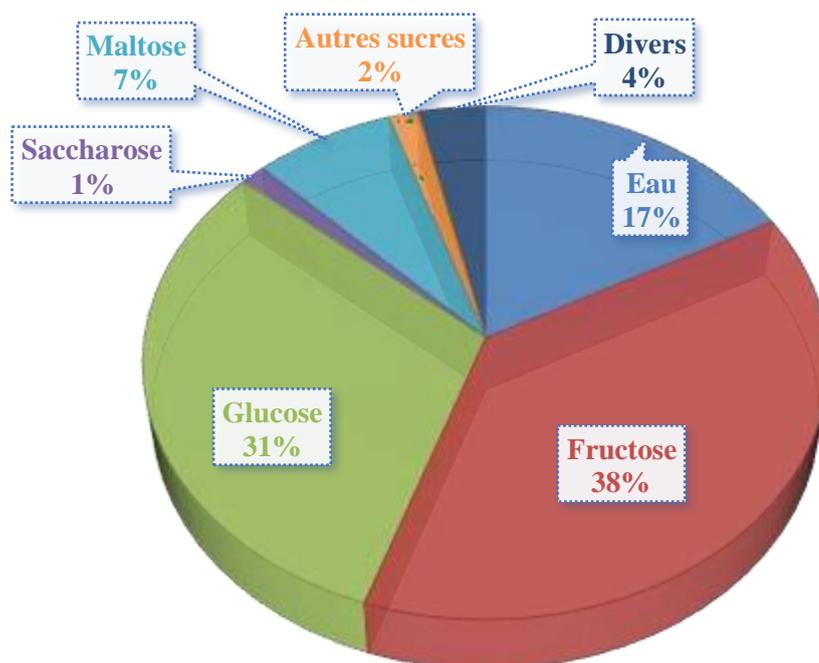
Des gouttes épaisses de miel non mûr sont déposées dans les alvéoles du cadre en cire, où elles sont déshydratées à moins de 50 % d'humidité. Ce processus se déroule sous la double influence de la température à l'intérieur de la ruche (30 °C) et de la ventilation apportée par les ventileuses. Ils maintiennent un fort flux d'air vers le haut en déplaçant les ailes très rapidement au-dessus des alvéoles pour favoriser l'évaporation de l'eau. Par conséquent, la teneur en humidité du miel doit être abaissée jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur inférieure à 20 %. Les alvéoles sont ensuite scellées avec une fine couche de cire pour assurer la bonne conservation du miel (**Barth, 2020**).

La récolte du miel est effectuée par l'apiculteur à la fin de la miellée et qu'au moins $\frac{3}{4}$ des alvéoles sont operculés. Les cadres sont retirés de la ruche mais généralement une quantité de miel est laissée comme nourriture pour les jeunes larves et comme provisionnement pour l'hiver. Les hausses des ruches sont transportées dans la miellerie où les alvéoles sont désoperculées à l'aide d'un couteau. Selon **la Commission Européenne (2002)**, trois techniques sont utilisées pour l'extraction du miel (pression, centrifugation et écoulement).

I. 4. Composition chimique

Les glucides sont considérés comme composants majeurs du miel en vue de leur pourcentage qui varie entre 90 à 98 % de la matière sèche. En revanche, les composés mineurs du miel regroupent les pigments (polyphénols et caroténoïdes), les enzymes, les acides organiques, les substances aromatiques et les minéraux (Figure 1) (Bruneau, 2002).

La composition du miel varie selon l'espèce d'abeille, le type de plantes sur lesquelles les abeilles se nourrissent, la source de la récolte (nectar ou miellat) et la région géographique. Ainsi, Il existe plusieurs types de miel, chacun ayant des propriétés qui leur sont propres en fonction des plantes dont les abeilles se nourrissent (Da silva *et al.*, 2016).



	Divers 3,5 %	Divers sucres 1,5%
Acides	Gluconique, malique, oxalique, citrique...	Dextrantriase, erlose,
Acides aminés et protéines	Leucine, alanine, glycine, lysine, proline, sérine...	isomaltose, kestose,
Sels minéraux	K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, P...	kojibiose, leucrose,
Vitamines	C, B (trace)	maltutose, mélézitose,
Enzymes	Invertase, gluco-oxydase...	nigériorose, raffinose,
Constituants figurés	Pollen, levure... Facteurs antibactériens, arômes, pigments...	turanose.

Figure 1 : Composition chimique moyenne du miel (Bruneau, 2002).

I. 4. 1. Glucides

La composition glucidique du miel est principalement constituée de fructose (38 %) et de glucose (31 %). On trouve également en quantités plus faibles d'autres types de glucides tels que le saccharose, le maltose, l'isomaltose, le turanose, l'érélose et le mélézitose. La proportion et la répartition de ces différents glucides dans le miel dépendent de son origine botanique et géographique (**Pita-Calvo et Vázquez, 2017**).

I. 4. 2. Eau

La teneur en eau du miel est considérée comme un paramètre de qualité et sa valeur varie entre 15 et 20 % de la composition total du miel. Un miel très épais est difficile à extraire, tandis qu'un miel trop liquide risque de fermenter sous l'action des micro-organismes. La limite d'humidité ne doit idéalement pas dépasser 20 %, sous peine de fermenter à l'exception des miels de trèfle (21 %) et de bruyère (23 %) (**Bogdanov et al., 2004 ; Codex alimentarius, 2001**). L'humidité du miel dépendant de plusieurs facteurs tels que le degré de maturité, l'origine botanique et géographique, ainsi que les conditions climatiques (**Galhardo et al., 2020**).

I. 4. 3. Acides organiques

Les acides organiques présents dans le miel proviennent des nectars des fleurs ou sont produits par les abeilles lors de transformations, avec une teneur variant de 0,57 à 1,5 %. Environ une vingtaine d'acides organiques présents dans le miel, tels que les acides acétique, benzoïque, cinnamique, glucuronique, lactique, tartrique, malique, oxalique, butyrique, propionique, pyroglutamique et succinique. Des traces également d'acides formique, chlorhydrique et phosphorique se trouvant dans le miel. Cependant, l'acide gluconique est l'acide le plus abondant, résultant de l'oxydation du glucose par la glucose-oxydase pendant la maturation du miel ou par des gluconobacters (**Nafea et al., 2013**).

L'acide citrique peut être utilisé pour identifier les miels issus de nectar et ceux issus de miellat. Les miels de miellat ont une teneur en acide citrique nettement supérieure à celle des miels de nectar (**Keke et al., 2019**). Certains acides organiques peuvent être utilisés pour détecter l'authenticité du miel, tels que les acides 2-méthoxybutanedioïque et 4-hydroxy-3-méthyl-trans-2-pentènedioïque. Ces composés sont prévalents dans les miels de Manuka (**Keke et al., 2019 ; Shamsudin et al., 2019**).

I. 4. 4. Protéines et acides aminés

Les protéines et les acides aminés constituent une proportion très faible du miel et les principales sources de ces composés sont le nectar des plantes et le pollen. Les abeilles ajoutent également des protéines et des enzymes (amylase, catalase, glucose oxydase) provenant de leurs sécrétions salivaires pendant le processus de production du miel (**Aurongzeb et Azim, 2011 ; El-Sofany et al., 2018**). Ces sources contribuent à la présence d'acides aminés tels que la proline, l'histidine, l'alanine, la glycine et la méthionine. La proline est l'acide aminé le plus abondant et est considérée comme un indicateur de la qualité du miel. Une teneur en proline supérieure à 180 mg/kg est un paramètre d'authenticité du miel (**Bonté et Desmoulière, 2013 ; Belay et al., 2017**).

I. 4. 5. Lipides

Même si le miel ne contient pas de lipides, il peut être contaminé par des particules de cire qui ne sont pas éliminées lors du processus de filtration (**Huchet et al., 1996**). Sa composition principale est constituée d'acide palmitique, d'acide oléique, et de quantités minimales d'acides laurique, myristoléique, stéarique et linoléique (**Nair, 2014**).

I. 4. 6. Enzymes

Les enzymes présentes dans le miel proviennent de deux sources différentes : animale (la salive des abeilles) et végétale (le nectar et/ou le miellat). Plus spécifiquement, le miel de miellat contient des enzymes homoptères qui sont impliquées dans la conversion et l'excrétion du miellat à partir duquel le miel est produit. Parmi les enzymes les plus connues, on trouve la catalase et la phosphatase acide (issues du nectar), l'invertase, l' α -amylase, la β -amylase et la glucose oxydase (provenant de la salive des abeilles), ainsi que la glucoinvertase qui permet l'hydrolyse des disaccharides et l' α - et β -amylase qui facilitent la dégradation de l'amidon (**Ouchemoukh, 2012**).

Le glucose oxydase joue un rôle important dans les propriétés conservatrices du miel. Cette enzyme convertit le glucose en gluconate d'hydrogène et en peroxyde, ce qui inhibe la croissance de divers micro-organismes tels que les bactéries, les levures et les champignons (**Serrano et al., 2007**).

I. 4. 7. Minéraux

Le miel présente une composition minérale diversifiée, principalement sous la forme de potassium, de phosphore, de sodium, de calcium, de magnésium, de sélénium, de zinc, de soufre et de cuivre. Ces minéraux jouent un rôle dans la conductivité électrique du miel et peuvent également influencer sa couleur (Akbari *et al.*, 2012). La teneur en minéraux varie de 0,02 à 1,03 % en fonction de l'origine botanique et géographique du miel. Le miel de miellat et le miel noir sont plus riches en minéraux par rapport au miel de nectar et au miel clair (Frédéric *et al.*, 2013).

I. 4. 8. Vitamines

Le miel est reconnu par sa pauvreté en vitamine. Il s'agit principalement de vitamines B telles que les B1 (la thiamine), B2 (la riboflavine) B3 (l'acide nicotinique), B4 (la choline) et B5 (l'acide pantothénique). Dans certains miels on y trouve aussi de la vitamine C, ainsi que les vitamines A, K1 et D (Alvarez-Suarez, 2010 ; Hoyet, 2005).

I. 4. 9. Arômes

Le miel renferme un mélange de diverses substances qui contribuent à sa saveur et jouent un rôle essentiel dans ses propriétés sensorielles. Les composés aromatiques identifiés dans le miel sont essentiellement les alcools tels que l'éthanol, le butanol, le propanol et le méthylbutanol, des esters tels que le l'antranilate de méthyle, des cétones comme 4-méthylpentan-2-one, ainsi que des acides et des aldéhydes tels que le formaldéhyde. Outre sa couleur, l'arôme joue également un rôle important dans la perception du miel par les consommateurs. Cependant, il est important de noter que ces composés aromatiques ne sont pas toujours stables et sont sensibles à la chaleur (Oucemoukh, 2012 ; Bogdanov *et al.*, 2004 ; Sesta *et al.*, 2008).

I. 4. 10. Hydroxyméthylfurfural (HMF)

L'hydroxyméthylfurfural(HMF) est un composé formé par la déshydratation du fructose et du glucose en milieu acide (Figure 2). Le miel frais ne contient qu'une quantité minime de ce composé (< 3 mg/kg), et sa concentration augmente progressivement avec le stockage et le chauffage prolongé.

Un traitement thermique à court terme, même à des températures élevées et avec un stockage approprié, limite l'augmentation de la teneur en HMF, la faisant passer de 5 à 10 mg/kg. Le processus de formation du HMF dépend principalement du pH et de l'origine florale du miel, étant plus fréquent dans les miels issus de miellat et les miels foncés en raison de leur pH plus élevé. La concentration en HMF est utilisée comme indicateur de la fraîcheur du miel et de son surchauffage (Bogdanov *et al.*, 2004 ; Cozzolino *et al.*, 2011). La réglementation européenne établit une limite de concentration pour le HMF, qui doit être inférieure à 40 mg/kg (Shapla *et al.*, 2018).

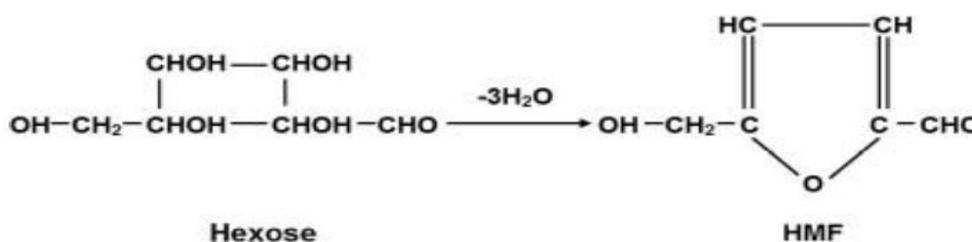


Figure 2 : Processus de la formation de l'HMF (Shapla *et al.*, 2018).

I. 4. 11. Composés phénoliques

Les composés phénoliques constituent l'un des groupes les plus importants de composés phytochimiques présents dans le miel. Ils se présentent sous forme d'acides phénoliques et de flavonoïdes, principalement issus du nectar des fleurs, du pollen, de la propolis et des cires. Ces composés confèrent au miel ses caractéristiques organoleptiques (saveur, couleur) et ses propriétés biologiques (antioxydantes, antibactériennes et anti-inflammatoires...). Des études ont révélé que le miel foncé contient des concentrations plus élevées de composés phénoliques par rapport au miel clair (Ouchemoukh *et al.*, 2017).

I. 4. 12. Pollen

Le pollen est la principale source de protéines pour l'abeille et il se retrouve dans le miel. Ces grains sont portés par les étamines de fleurs représentent les gamètes mâles des plantes supérieures. En moyenne, un grain de pollen contient 20 % de protides dont 50 % sont des acides aminés indispensables, 5 % de lipides, 36 % de glucides, 11 % d'eau, et 3 % de sels minéraux (K, Mg, Ca, Fe, Cb...). On y retrouve aussi de nombreux pigments (caroténoïdes, rutine...) et des vitamines des groupes B, C, D et A (Bonté *et al.*, 2013).

Chapitre II

Activités biologiques

Chapitre II : Activités biologiques

II. 1. Effet antioxydant

Le miel est une source importante d'antioxydants. Ces molécules sont très efficaces pour inactiver les espèces réactives de l'oxygène dans le corps, telles que les radicaux libres. Le système antioxydant du miel est basé sur des antioxydants enzymatiques (la glucose oxydase, la catalase et la peroxydase) et des antioxydants non enzymatiques (l'acide ascorbique, les polyphénols, les caroténoïdes) (**Linkone et al., 2015 ; Özcan et Al Juhaimi, 2016**).

Les polyphénols sont des métabolites secondaires qui peuvent inhiber ou réduire considérablement les dommages causés par les radicaux libres produits par l'organisme. Ils fonctionnent à travers divers mécanismes, y compris l'effet donneur de protons d'hydrogène, qui neutralise les espèces réactives de l'oxygène et supprime l'oxygène singulet. Les polyphénols agissent comme antioxydants grâce à leur capacité à piéger les radicaux libres tels que les radicaux super-oxydes ($O_2^{\cdot-}$) et les radical hydroxyle ($\cdot OH$) (**Hwang et al., 2016 ; Hossai et al., 2017**).

De nombreuses études ont montré que l'activité anti-oxydante est fortement liée à la couleur du miel et à sa teneur en composés phénoliques. Cette variation d'activité est due à la nature quantitative et qualitative des antioxydants qu'ils contiennent (**Berreta et al., 2005**).

II. 2. Effet anti-hémolytique

Dans la plupart des cellules, les mitochondries sont la principale source de radicaux libres (**Johnson et al., 2005**). Malgré l'absence de mitochondries dans les globules rouges, la pression élevée en O_2 et la teneur abondante en fer-hémique dans le sang artériel conduisent à une production continue de radicaux libres (**Baynes, 2005**).

L'une des principales sources de radicaux libres dans les globules rouges est l'Hb, qui subit une auto-oxydation pour produire de $O_2^{\cdot-}$ et de la méthémoglobine (MetHb). Cette protéine devient incapable de lier ou de transporter l' O_2 (**Johnson et al., 2005**). En raison de leur rôle de transporteurs d' O_2 et de CO_2 , les érythrocytes humains sont constamment exposés aux radicaux libres et au stress oxydatif (**AlOmar et al, 2004**).

La diminution de la capacité anti-oxydante extracellulaire et des oxydants extracellulaires permet aux globules rouges de réagir au stress. Leur mobilité en fait donc des antioxydants idéaux, non seulement pour leur propre membrane et leur environnement local, mais aussi comme piègeurs d'oxydants dans tout le circuit (**Kennett et Kuchel, 2003**).

Le stress oxydatif peut endommager les globules rouges eux-mêmes, mais l'effet de masse de la grande quantité de radicaux libres quittant la cellule a un potentiel beaucoup plus important d'endommager d'autres composants du système circulatoire (**Johnson et al., 2005**).

II. 3. Effet antibactérien

Ces dernières années, en raison de l'utilisation massive et généralisée des antibiotiques, les micro-organismes pathogènes ont acquis une résistance à nombre de ces agents couramment utilisés (**Al-waili et al., 2011**).

L'utilisation d'autres produits naturels comme alternatives antimicrobiennes sont donc nécessaires en toute urgence. Les substances antimicrobiennes provenant des ressources naturelles ont été largement exploitées à cette fin, avec un accent particulier sur un produit spécifique "Miel" en raison d'une longue tradition d'utilisation dans divers systèmes ; médicaux et alimentaires (**Al-waili et al., 2011**). Les propriétés aseptiques du miel protègent contre la contamination microbienne et lui confèrent d'importantes propriétés antimicrobiennes. Le miel a un large spectre d'activité, inhibant environ 60 espèces bactériennes Gram-positives et Gram-négatives (**Ghramh et al., 2019**).

II. 4. Effet anti-inflammatoire

Les antioxydants contenus dans le miel inhibent l'activation du NFkB et réduisent l'inflammation. Par conséquent, le miel joue un rôle anti-inflammatoire grâce à ses composés phénoliques impliqués dans la suppression des molécules pro-inflammatoires telles que les cytokines, les neutrophiles et l'inhibition de la COX-2. Ceci grâce à la neutralisation des radicaux libres, notamment ceux impliqués dans l'inflammation (**Rao et al., 2016**).

Chapitre III

Matériel et méthodes

III. 1. Echantillons

La partie pratique de cette étude a été réalisée en utilisant sept échantillons de miel de l'année 2023 (Figure 3). Parmi ces échantillons, quatre sont d'origine locale et proviennent de Bejaïa, tandis que les trois autres sont des miels d'importation. Tous les échantillons sont conservés à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité.



Figure 3 : Photographie des échantillons de miel.

Tous les échantillons sont conservés à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Les caractéristiques du miel, telles que le type, l'identifiant, la consistance et la couleur, sont présentées dans le tableau II.

Tableau I : Caractéristiques des échantillons de miels analysés.

Type de miel	Identifiant	Origine	Consistance	Couleur	Origine florale présumé
Miels locaux	M1	Bejaia (Algérie)	Cristallisé	Marron clair	Toutes fleurs
	M2	Bejaia (Algérie)	Liquide	Marron foncé	Toutes fleurs
	M3	Bejaia (Algérie)	Cristallisé	Jaune	Arbousier
	M4	Bejaia (Algérie)	Liquide	Marron jaunâtre	Toutes fleurs
Miels d'importation	M5	Bulgarie	Liquide	Marron clair	Toutes fleurs
	M6	Allemagne	Visqueux	Marron foncé	Toutes fleurs
	M7	Allemagne	Visqueux	Ambre foncé	Toutes fleurs

III. 2. Analyse pollinique

L'analyse pollinique a été effectuée en suivant le protocole de **Louveaux *et al.* (1978)**. Une quantité de 3 g de miel a été dissoute dans 12 ml d'eau distillée (25 % ; p/v). Après homogénéisation, la solution a été centrifugée à 4000 tours par minute pendant 10 minutes à une température de 4 °C. Le surnageant a été éliminé et 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés au culot. Une seconde centrifugation a ensuite été réalisée dans les mêmes conditions. Le culot a été récupéré, et un volume de 100 µl a été étalé sur une lame de microscope recouverte d'une lamelle. Les observations ont été effectuées au microscope optique avec un grossissement de x40, en se référant à la base de données numérique et bibliographique du **CETAM (Centre d'Etudes Techniques Apicoles de Moselle, France)**.

III. 3. Analyses physico-chimiques

Des analyses physicochimiques d'échantillons de miel (Brix, humidité, pH, conductivité, HMF et proline) ont été réalisées selon des protocoles validés par **l'International Honey Council (Bogdanov *et al.*, 1997)**.

III. 3. 1. Brix et humidité

La teneur en eau des échantillons de miel a été mesurée en utilisant la méthode optique de l'indice de réfraction, en se référant à la table standard de CHATAWAY. Après avoir été préalablement calibré avec de l'eau distillée, une goutte de miel liquide a été déposée et étalée directement sur la plaque prismatique du réfractomètre (ABBE AR S/N 32624). Avant l'analyse, le miel cristallisé a été préalablement placé dans un bain-marie à une température de 40 °C afin de s'assurer que les cristaux de sucre ont complètement disparu. La lecture de l'indice de réfraction a été réalisée en ajustant la mise au point de l'oculaire du réfractomètre de manière à ce que la ligne horizontale qui sépare les zones claires et sombres soit alignée au milieu de la croix. La ligne verticale intersectée deux échelles directement graduées en pourcentage de Brix et en indice de réfraction.

III. 3. 2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des échantillons de miel a été déterminé à une température de 20 °C en utilisant un pH-mètre. Une quantité de 2,5 g de miel a été dissoute dans 25 ml d'eau distillée (10 % ; p/v). Après avoir été soigneusement mélangée, l'électrode du pH-mètre a été immergée dans la solution de miel et le pH a été lu sur l'appareil après sa stabilisation.

III. 3. 3. Conductivité électrique

La conductivité électrique des échantillons de miel a été mesurée dans une solution de miel de 20 % (p /v). Une quantité de miel (M) a été dissoute dans 25 ml d'eau distillée à très faible conductivité (0,4 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Les valeurs de la conductivité des échantillons de miel ont été données par le conductimètre, et les résultats ont été exprimés en mS cm^{-1} . La quantité de miel (M) a été calculée selon la formule suivante :

$$M = (5 \cdot 100) / MS$$

Où :

MS (matière sèche) = 100-taux d'humidité

La conductivité électrique est déterminée selon la formule suivante :

$$CE \text{ (milli siemens cm}^{-1}\text{)} = \text{Valeur mesurée} - [(\text{valeur mesurée} \cdot 0,032) \cdot (T^\circ - 20^\circ\text{C})]$$

Où :

CE : Conductivité Electrique,

0,032: Facteur de correction,

T° : Température ambiante de la mesure en °C (25 °C),

III. 3. 4. Couleur (Echelle Pfund)

La couleur des échantillons de miel a été évaluée en utilisant la méthode décrite par **Kaškonienė et al. (2009)**. Une solution de miel a été préparée avec une concentration de 50 % (p/v), puis le mélange a été chauffé à 40 °C afin d'éliminer les cristaux de sucre. Les absorbances ont été mesurées à 635 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, et les échantillons de miel ont été classés selon l'échelle de Pfund après avoir converti les valeurs d'absorbance en utilisant la formule suivante :

$$\text{Pfund (mm)} = -38,10 + 371,39 * \text{Abs}$$

Où :

Pfund (mm) : Intensité de couleur du miel dans l'échelle de Pfund exprimée en millimètre.

Abs : Absorbance de la solution du miel à 635 nm.

-38,70 : Constante.

371,39 : Constante.

III. 3. 5. Dosage de l'hydroxy-méthyl furfural (HMF)

Une quantité de 5 g de miel a été dissoute dans 25 ml d'eau distillée. Après homogénéisation, un volume de 0,5 ml de la solution de Carrez I (solution d'hexacyanoferrate de potassium à 455 mM) et 0,5 ml de la solution de Carrez II (solution d'acétate de zinc à 1,6 M) ont été ajoutés. Ensuite, le mélange a été transféré dans une fiole et ajusté à un volume total de 50 ml avec de l'eau distillée. Après filtration avec de papier filtre Whatman n° 4, un volume de 5 ml de filtrat a été mélangé avec 5 ml d'eau distillée (solution échantillon) et le même volume de filtrat avec 5 ml de solution de bisulfite de sodium (20 mM) (solution standard). Les absorbances ont été mesurées à deux longueurs d'onde, 284 nm et 336 nm, et les teneurs en HMF des échantillons de miel ont été calculées en utilisant la formule suivante :

$$\text{HMF (mg/kg)} = (\text{A}_{284} - \text{A}_{336}) * 149,7 * (5/W)$$

Où :

A₂₈₄ : Absorbance à 284 nm.

A₃₃₆ : Absorbance à 336 nm.

W : Masse en grammes de l'échantillon du miel.

149,7 : Constante.

5 : Poids nominal théorique de l'échantillon.

III. 3. 6. Dosage des protéines

Le dosage des protéines a été effectué en utilisant la méthode décrite par **Azeredo et al. (2003)**. Cette méthode colorimétrique (Bradford) repose sur l'utilisation de 5 ml de la solution de Bradford avec 0,1 ml de solution de miel (50 % ; p/v). Après une incubation de 2 min, les absorbances ont été mesurées à une longueur d'onde de 595 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent d'albumine de sérum bovin (BSA) pour 100 g de miel, en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec la BSA ($y=0,663x-0,055$; $R^2=0,998$).

III. 3. 7. Dosage de la proline

Les solutions utilisées pour analyser la proline comprenaient : une solution de miel à 5 % (p/v) pour différents échantillons, une solution standard de proline (0,26 mM), de l'acide formique, une solution éthanolique de ninhydrine (168 mM) et une solution de 2-propanol (50 %, v/v). Les étapes détaillées pour la mise en œuvre du protocole sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II : Protocole de dosage de la proline.

Solutions	Solutions d'échantillon	Blanc	Solution standard
Solution de miel	0,5	-	-
Eau distillée	-	0,5	-
Solution de proline	-	-	0,5
Acide formique	1 ml	1 ml	1 ml
Solution de la ninhydrine	1 ml	1 ml	1 ml
Incubation au bain marie agitateur à 100 °C pendant 15 min			
Transfert au bain marie à 70 °C pendant 10 min			
Solution de 2-propanol	5 ml	5 ml	5 ml
Après 45 min d'incubation, lecture des absorbances à 510 nm à 37 °C.			

La teneur en proline a été déterminée par la formule suivante :

$$\text{Proline (mg/kg)} = (\text{ES/EA}) * (\text{E1/E2}) * 80$$

Où :

ES : Absorbance de l'échantillon du miel.

EA : Absorbance de la solution standard de la proline.

E1 : mg de proline pour la solution standard.

E2 : Quantité du miel.

80 : Facteur de dilution.

III. 4. Dosages des antioxydants

III. 4. 1. Composés phénoliques totaux

Le dosage des polyphénols totaux des échantillons de miel a été effectué en utilisant la méthode décrite par **Naithani *et al.* (2006)**. Un volume de 100 µl de réactif de Folin-Ciocalteu (50 % ; v/v) a été mélangé avec 100 µl de solution de miel (10 % ; p/v) et 2 ml de carbonate de sodium (283 mM). Après une incubation de 30 min dans l'obscurité, les absorbances ont été mesurées à une longueur d'onde de 750 nm. Les teneurs en composés phénoliques du miel ont été exprimées en mg d'équivalent acide gallique pour 100 g de miel (mg EAG/100g), en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique dans les mêmes conditions expérimentales que les échantillons ($y=2,027x-0,020$; $R^2=0,99$).

III. 4. 2. Flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes des échantillons de miel ont été déterminées selon le protocole **Al *et al.* (2009)**. Un millilitre de solution aqueuse de miel (5 % ; p/v) a été mélangé avec 0,3 ml de solution de nitrite de sodium (0,72 M). Après une incubation de 5 min, 0,3 ml de chlorure d'aluminium (0,75 M) a été ajouté, suivi de l'ajout de 2 ml d'hydroxyde de sodium (1 M) après 6 min. Les absorbances ont été mesurées à 510 nm et les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent quercitrine pour 100 g de miel (mg EQ/100 g) en utilisant une courbe standard établie avec de la quercitrine ($y=5,804x+0,036$; $R^2=0,99$).

III. 4. 3. Vitamine C

Les concentrations en acide ascorbique ont été déterminées selon la méthode décrite par **Mau *et al.* (2005)**. Une quantité de 2 g de miel a été dissoute dans 20 ml de solution d'acide oxalique (111 mM). Après une macération de 10 min, le mélange a été filtré, puis un volume de 0,5 ml de filtrat a été ajouté à 2,5 ml de solution de 2,6-dichlorophénol-indophenol (0,15 mM). Les absorbances ont été mesurées pendant les 15 premières secondes à une longueur d'onde de 515 nm. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent acide ascorbique pour 100 g de miel, en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec l'acide ascorbique ($y=30,459x+0,118$; $R^2=0,995$).

III. 4. 4. Caroténoïdes

La méthode de **Sass-Kiss *et al.* (2005)** a été utilisée pour évaluer les caroténoïdes présents dans les échantillons de miel. A cet effet, 10 ml d'un mélange d'hexane, d'éthanol et d'acétone (2/1/1, v/v/v) ont été ajoutés à 4 g de miel. Après 5 heures d'agitation, la phase hexane a été récupérée et l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 430 nm. Les résultats ont été exprimés en mg de β -carotène pour 1 kg de miel, en se référant à la courbe standard de β -carotène ($y=15,725+0,074$; $R^2=0,98$).

III. 5. Activités biologiques

III. 5. 1. Activités antioxydantes

➤ Pouvoir anti-radicalaire par DPPH

Le test anti-radicalaire DPPH a été réalisé en suivant le protocole décrit par **Meda et al. (2005)**. Un volume de 0,5 ml des dilutions de miel (0,005 ; 0,01 ; 0,015 ; 0,02 et 0,025 mg/ml) ont été mélangées avec 1 ml de la solution éthanolique de DPPH ($6 \cdot 10^{-3}$ M). Après incubation pendant 15 min, les absorbances ont été mesurées à 517 nm, et les pourcentages de d'inhibition ont été calculés selon la formule suivante :

$$\text{Activité anti-radicalaire DPPH (\%)} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

Où :

A_C : Absorbance du contrôle.

A_E : Absorbance de l'échantillon.

➤ Pouvoir anti-radicalaire par ABTS

Le test ABTS a été réalisé selon la méthode de **Re et al. (1999)**. Un mélange de 0,1 ml des dilutions de miel (0,005 ; 0,01 ; 0,015 ; 0,02 et 0,025 mg/ml) et 1 ml de la solution ABTS (7 mM) a été préparé. Les absorbances ont été mesurées à 734 nm après une incubation de 7 min et les pourcentages d'inhibition de radical ABTS ont été calculés en utilisant la formule suivante :

$$\text{Activité anti-radicalaire ABTS (\%)} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

Où :

A_C : Absorbance du contrôle.

A_E : Absorbance de l'échantillon.

➤ Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power)

Le test de FRAP a été réalisé selon le protocole décrit par **Alvarez-Suarez *et al.* (2010)**. Un volume de 0,5 ml de la solution du miel (2,5 % ; p/v) a été mélangé avec 0,75 ml de réactif de FRAP qui a été préparé par un mélange de tampon acétate de sodium (300 mM ; pH 3,6), TPTZ (10 mM) et de chlorure ferrique (20 mM) avec un rapport 10 : 1 : 1. Après homogénéisation et incubation au bain marie pendant 5 min à 37 °C, les absorbances ont été mesurées à 593 nm. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent antioxydant acide gallique par 100 g du miel en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique ($y=22,64x+0,030$; $R^2=0,996$).

➤ Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur des échantillons de miel a été évalué selon le protocole de **Li et lin (2010)**. Un mélange de 0,5 ml de la solution du miel (5 % ; p/v) ; 0,5 ml de tampon phosphate (0,2 M ; pH 6,6) et 0,5 ml de la solution de potassium hexanocyanoferrate (1 % ; p/v) a été préparé. Après incubation au bain marie à 50 °C pendant 20 min, un volume de 0,5 ml de la solution de trichloroacétate (10 % ; p/v) a été additionné à la préparation. Un volume de 0,5 ml a été prélevé de ce mélange et dilué dans 0,8 ml d'eau distillée puis 0,1 ml de chlorure ferrique (0,1 % ; p/v) ont été ajoutés. Après 10 min d'incubation, les absorbances ont été mesurées à 700 nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent antioxydant acide gallique par 100 g du miel en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique ($y=32,621x+0,044$; $R^2=0,998$).

➤ Test à la ferrozine

La chélation du Fe^{2+} par les échantillons du miel a été évaluée par le protocole de **Wang *et al.* (2008)**. Un volume de 500 μ l de chaque dilution de miel (0,005 ; 0,01 ; 0,015 ; 0,02 et 0,025 mg/ml) a été mélangé avec 50 μ l de chlorure de fer (II) (0,6 Mm) et 900 μ l de méthanol. Après 5 min d'incubation, un volume de 100 μ l de la solution ferrozine (10 mM) a été ajouté au mélange. Les absorbances ont été mesurées à 562 nm après 10 min et l'activité chélatrice des miels a été déterminée par la formule suivante :

$$\text{Activité chélatrice du fer (\%)} = \left(1 - \frac{[A_1 - A_2]}{A_0}\right) * 100$$

Où :

A_0 : Absorbance du contrôle.

A_1 : Absorbance de l'échantillon.

A_2 : Absorbance sans la solution ferrozine.

III. 5. 2. Activité anti-hémolytique

➤ Préparation des échantillons du sang

Quatre échantillons de sang ont été utilisés pour préparer des solutions érythrocytaires. Le sang a été prélevé sur quatre volontaires sains qui ne fument pas et ne prennent aucun médicament ou complément alimentaire, au niveau de polyclinique sidi Ahmed-Bejaïa. Les prélèvements ont été effectués dans des tubes héparinés. Ensuite, le sang a été centrifugé à 4000 rpm pendant 15 min et le culot du sang récupéré a été lavé trois fois avec un tampon phosphate (PBS) iso-salin (10mM, 154 mM, NaCl, pH= 7,4). La suspension érythrocytaire a été préparée à 10 % dans du PBS iso-salin (Rani *et al.*, 2014).

➤ Test anti-hémolytique

L'activité anti-hémolytique des échantillons de miel a été évaluée selon la méthode décrite par (Shinde *et al.*, 1999). Un mélange de 5 ml de la solution de miel (2,5 % ; p/v), 1 ml de la suspension érythrocytaire (10 %) et 5 ml de solution hypotonique (NaCl 50 mM) a été préparé. Le contrôle négatif contenait 5 ml d'eau distillée, 1 ml de la suspension érythrocytaire (10 %) et 5 ml de solution hypotonique. En revanche, le contrôle positif a été préparé avec 5 ml de la solution de miel (2,5 % ; p/v), 1 ml de la suspension érythrocytaire (10 %) et 5 ml de solution isotonique. Après incubation pendant 10 min, le mélange a été centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min et la teneur en hémoglobine du surnageant a été mesurée par spectrophotométrie à 540 nm. Le pourcentage d'inhibition a été calculé pour chaque échantillon de miel selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = (\text{DO Contrôle} - \text{DO Echantillon}) / \text{DO Contrôle} * 100$$

Où :

Do contrôle (-) : Densité optique de contrôle positif.

Do échantillon : Densité optique de l'échantillon.

III. 6. Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Le logiciel **STATISTICA 7.1** a été utilisé pour réaliser l'analyse de la variance à un seul critère de classification (**ANOVA**) entre les différents échantillons de miel. Les deux tests « Kolmogorov-Smirnov » et « Levene » ont été utilisés pour vérifier la normalité et l'homogénéité des variances, respectivement. Le test post-hoc HSD Tukey a été effectué pour la comparaison des moyennes. Cependant l'ANOVA de Kruskal-Wallis a été réalisée aux variables avec de variances non homogènes. L'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour mieux interpréter les données sur un espace réduit et pour mieux visualiser les différences et les similitudes entre les différents paramètres des miels analysés. Les corrélations entre les paramètres étudiés sont calculées avec statistique élémentaire en utilisant la matrice de corrélation.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Analyses polliniques

Les résultats de l'analyse pollinique sont présentés dans le tableau IV et les grains de pollen identifiés dans les échantillons de miel sont classés en différentes catégories de fréquence : pollen dominant (> 45 %), pollens d'accompagnement (15 - 45 %), pollen minoritaire (3 - 15 %) et pollen très minoritaire (1 - 3 %) (**Escuredo et al., 2011**).

Les profils polliniques des miels analysés révèlent la présence de 7 familles de pollens. Parmi celles-ci, deux types de pollen (*Fagaceae* et *Fabaceae*) sont identifiés comme étant dominants respectivement dans les miels monofloraux M1 et M3. Les autres miels sont classés comme des miels polyfloraux (M2, M4, M5, M6, M7), qui ne contiennent pas de pollen dominant, mais renferment des pollens secondaires tels que *Ericaceae*, *Fabaceae*, *Astéraceae* et *Fagaceae* pour M2, *Poecaceae*, *Ericaceae*, *Fabaceae* et *Fagaceae* pour M4, *Fagaceae* pour M5, *Fagaceae*, *Teliaceae* pour M6, et *Fagaceae*, *Fabaceae*, *Poecaceae* et *Ericaceae* pour M7. Ces résultats témoignent de la diversité florale des échantillons de miel récoltés (**Nair et al., 2013 ; Amri et Ladjama, 2015**).

Dans la présente étude, le pollen de la famille des *Fagaceae* est dominant dans le miel de Bejaïa M1 (45 %) et secondaire dans les miels M2, M3, M4, M5, M6 et M7. Cependant, le pollen des *Fabaceae* est dominant dans le miel M3 (50 %) et également présent dans tous les autres échantillons en tant que pollen secondaire ou minoritaire à l'exception du miel M5 où il est absent totalement. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par **Zerrouk et al. (2014)** et **Haouam, (2016)**. Dans le miel M6, la famille des *Rosaceae* est identifiée comme minoritaire, tandis que dans le miel M1, elle est classée comme très minoritaire. Quant aux *Lamiaceae*, elles sont considérées comme très minoritaires dans les miels M1 et M4.

Les échantillons analysés correspondent aux appellations commerciales (origine présumée) à l'exception de miel M3 qui est présumé d'arbousier mais il ne présente pas la dominance des pollens d'*Ericaceae* et le miel M1 qui est présumé polyfloral mais l'analyse pollinique révèle qu'il est monofloral.

Les variations des types de pollen dans les différents miels peuvent s'expliquer par la diversité botanique de la zone de récolte, les conditions climatiques et la distance entre la ruche et les champs de fleurs environnants. La présence de miels polyfloraux peut être attribuée à l'absence de monocultures à grande échelle dans les régions de récolte (**Makhlouf et al., 2010 ; Ouchemoukh et al., 2007**).

Tableau III : profils polliniques des miels analysés.

Echantillons	Origine floral	Pollens dominants ($\geq 45\%$)		Pollens secondaires (16-44%)		Pollens minoritaires (3-15%)		Pollens très minoritaires (< 3%)	
		Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)
M1	MF	<i>Fagaceae</i>	45	<i>Fabaceae</i>	38	<i>Astéraceae</i> <i>Teliaceae</i>	9 4	<i>Rosaceae</i> <i>Lamiaceae</i>	2 2
M2	PF	-	-	<i>Fagaceae</i> <i>Astéraceae</i> <i>Ericaceae</i> <i>Fabaceae</i>	37 31 16 16	-	-	-	-
M3	MF	<i>Fabaceae</i>	50	<i>Fagaceae</i>	23	<i>Astéraceae</i> <i>Teliaceae</i> <i>Lamiaceae</i> <i>Autres</i>	7 5 3 10	<i>Ericaceae</i>	2
M4	PF	-	-	<i>Fabaceae</i> <i>Fagaceae</i> <i>Erecaceae</i> <i>Poecacéae</i>	32 26 24 16	-	-	<i>Lamiaceae</i>	2
M5	PF	-	-	<i>Fagaceae</i>	37	<i>Ericaceae</i> <i>Poecacaeae</i> <i>Autres</i>	20 16 27	-	-
M6	PF	-	-	<i>Fagaceae</i> <i>Teliaceae</i>	20 20	<i>Ericaceae</i> <i>Astéraceae</i> <i>Fabaceae</i> <i>Lamiaceae</i> <i>Rosaceae</i> <i>Poecaceae</i>	15 12 10 10 10 3	-	-
M7	-	-	-	<i>Fagaceae</i> <i>Fabaceae</i> <i>Poecaceae</i> <i>Ericaceae</i>	27 24 20 19	<i>Astéraceae</i>	10	-	-

Analyses physico-chimiques

IV.2. 1. Brix

Les résultats des degrés Brix, présentés dans la figure 4, révèlent des valeurs qui varient entre 79 et 81,26 %. Le miel d'importation (M7 et M5) ainsi que le miel local (M4) affichent les niveaux de Brix les plus élevés, avec des pourcentages respectifs de 81,2 ; 80,73 et 80,57 %. Cela indique une teneur élevée en glucides dans ces échantillons. En revanche, le miel local (M2) (79,53 %) et d'importation (M6) (79,35 %) sont moins riches en sucres par rapport aux autres échantillons. Ces résultats dépassent la limite minimale fixée par le **Codex Alimentarius (2001)** qui exige un minimum de 65 % de teneur en sucres.

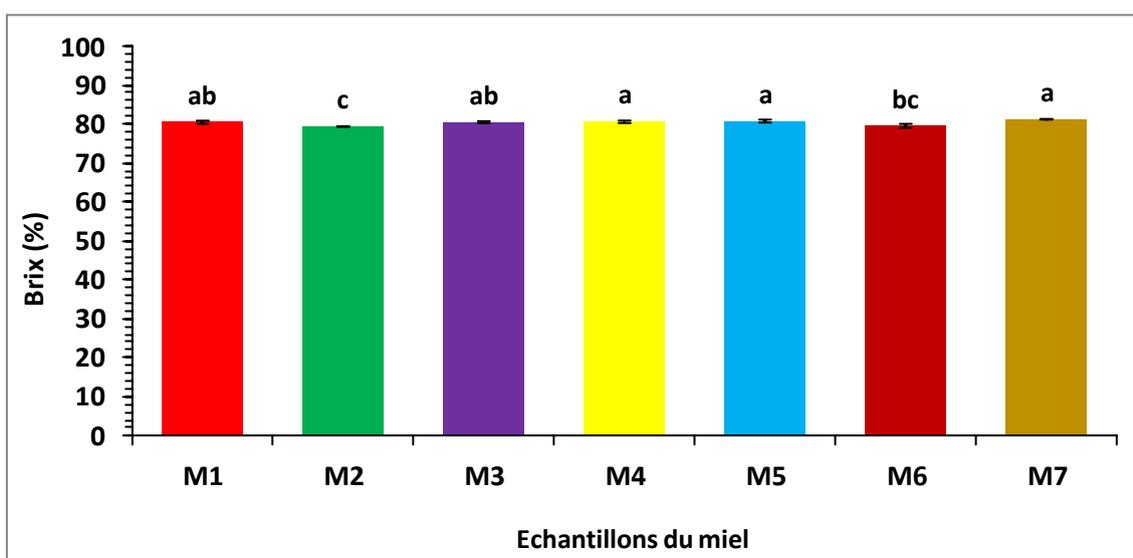


Figure 4 : Résultats de degré de brix des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats obtenus dans cette étude sont similaires à ceux rapportés par **Bentabol Manzanares et al. (2011)** (74,57 % à 84,75 %) et supérieurs à ceux obtenus par **Islam et al. (2012)** pour les miels du Bangladesh (42,8 % à 60,6 %).

L'analyse statistique des degrés Brix des échantillons de miel révèle la présence de deux groupes homogènes (M1 et M3) et (M4, M5 et M7). Ces groupes ne présentent pas de différence significative en termes de degrés Brix par rapport aux autres échantillons ($p < 0,05$).

Les variations des degrés Brix observées dans les échantillons analysés peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que l'origine botanique des plantes à partir desquelles le miellat et/ou le nectar a été récoltés, les conditions environnementales, climatiques et de stockage (**Ouchemoukh et al., 2007**).

IV.2. 2. Humidité

Les taux d'humidité des miels analysés sont présentés dans la figure 5, et les valeurs obtenues varient entre 17,05 et 19,09 %. Le miel M7 affiche le taux d'humidité le plus bas, tandis que le miel M2 présente le taux le plus élevé. Cette fourchette de valeurs se situe dans les limites fixées par le **Codex Alimentarius (2001)** qui stipule un taux d'humidité inférieur à 20 %. Cela indique que les échantillons analysés sont mûrs et présentent un risque très faible de fermentation.

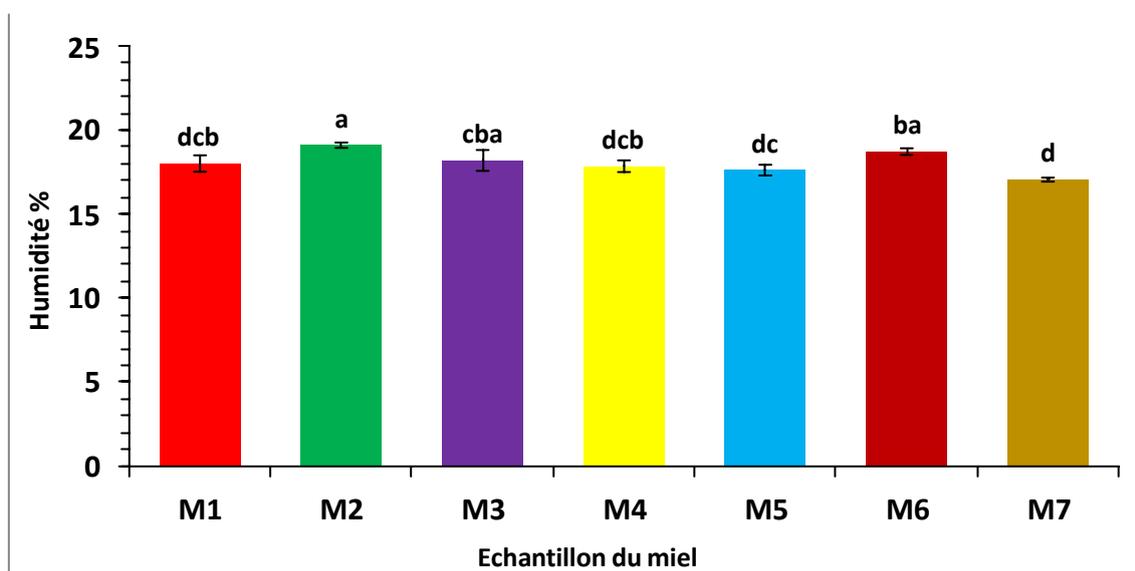


Figure 5 : Taux d'humidité des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les taux d'humidité obtenus dans la présente étude sont proches à ceux rapporté par **Sajid *et al.* (2020)** dans les miels du Pakistan (18 à 19 %). Des résultats supérieurs sont rapportés par **Balošel *et al.* (2021)** dans les miels de Serbie (14,6 à 18,60 %).

L'analyse ANOVA relative à l'humidité montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les échantillons du miel M1 et M4 par rapport aux autres miels qui sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

La variation de l'humidité dans le miel est principalement influencée par plusieurs facteurs, notamment l'origine botanique des fleurs, l'humidité du nectar, la vigueur de la colonie d'abeilles, les conditions climatiques, l'humidité relative dans la zone de récolte, ainsi que les procédés de transformation et de stockage du miel (**Majewska *et al.*, 2019**).

IV.2. 3. Conductivité électrique

Les résultats de la conductivité électrique sont présentés dans la figure 6 et les valeurs obtenues sont plus ou moins variables et sont moins importantes dans le miel M3(0,84 mS/cm). En revanche, le miel M4 a la conductivité électrique la plus élevée avec une valeur de 1,09 mS/cm. La conductivité électrique est un paramètre qui permet de différencier le miel de miellat ($CE > 0,8$ mS/cm) de celui du nectar ($CE < 0,8$ mS/cm) (Codex Alimentarius, 2001). Les résultats obtenus suggèrent que tous les miels analysés proviennent de miellat.

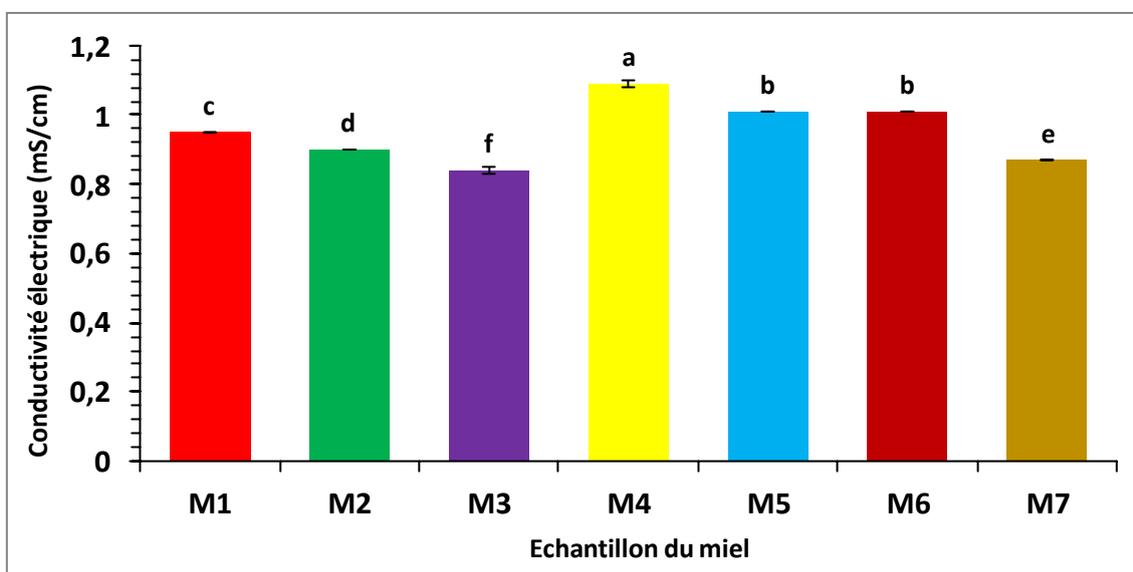


Figure 6 : Conductivité électrique des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les valeurs obtenues sont supérieures à celles rapporté par **Belay *et al.* (2013)** (0,63 à 0,79 mS/cm) sur les miels d’Ethiopie et par **Yucel *et al.* (2013)** sur les miels de la Turquie (0,17 à 1,04 mS/cm).

L’analyse statistique relative à la conductivité électrique montre une différence significative entre les échantillons analysés à l’exception des miels M5 et M6 qui forment un groupe homogène ($p < 0,05$).

La différence de conductivité électrique des miels analysés peut être expliquer par l’origine botanique et géographique, la composition phyto-chimique, teneurs en minéraux et autres substances ionisables (**Da Silva *et al.*, 2016**).

IV.2. 4. pH

Les résultats de pH des illustrés dans la figure 7 montrent que le miel local M4 (3,87) et le miel d'importation M5 (3,95) sont légèrement plus acide par rapport autres échantillons. Cependant, les miels M3 et M7 enregistrent les pH le plus élevés avec des valeurs respectives de 4,46 et 4,42. **Bogdanov et al. (1999)** ont rapportés que les miels issus du nectar ont un pH compris entre 3,5 et 4,5 tandis que pour les miels de miellat il varie de 4,5 à 5,5. Les résultats du pH montrent que les miels analysés sont issus de fleurs. Toutefois, la conductivité électrique de ces miels indique qu'ils proviennent de miellat, ce qui suggère qu'ils sont probablement un mélange de nectar et de miellat.

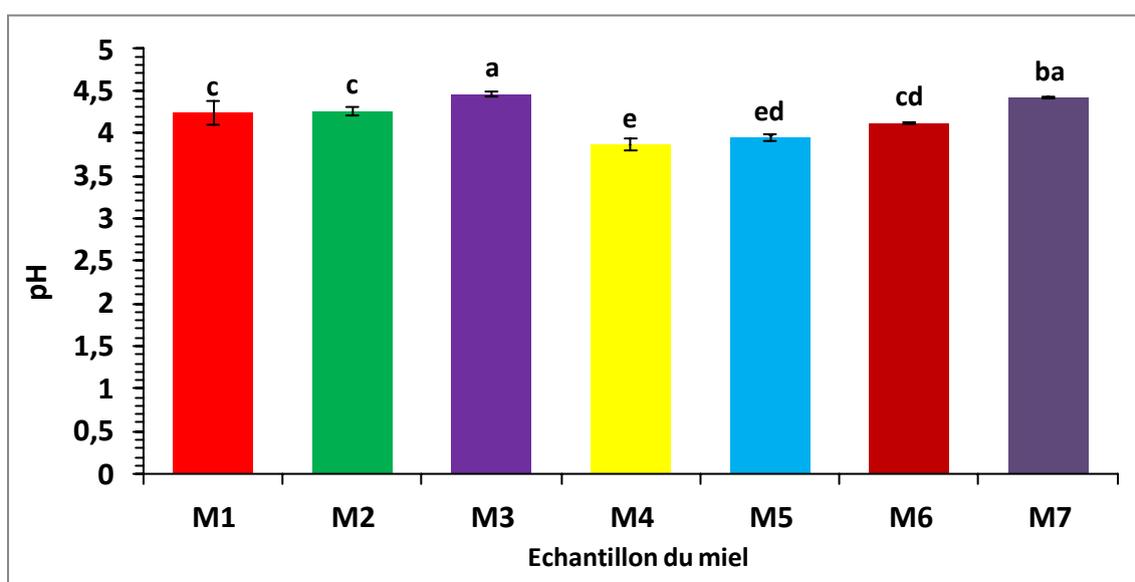


Figure 7 : pH des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats de la présente étude sont proches à ceux rapportés par **Sakač et al. (2019)** dans les miels de Serbie (3,38 à 4,19) et supérieurs à ceux de **Ávila et al. (2019)** dans les miels brésiliens (3,21 à 3,62).

L'analyse ANOVA de pH ne montre aucune différence significative entre les échantillons du miel M1 et M2 ($p < 0,05$).

Les différences de pH des miels peuvent être justifiées par la teneur en minéraux, l'origine géographique et floral, l'hydrolyse du glucose en acide gluconique, le type du sol et le vieillissement naturel du miel (**Otmani, 2021**).

IV.2. 5. Couleur

Les résultats de la couleur sont présentés dans la figure 8 et le tableau V et les miels analysés enregistrent un intervalle d'intensité de couleur allant de 33,03 (M3) jusqu'à 123,37 (M7) mm Pfund qui correspondent respectivement aux blanc et ambre foncé.

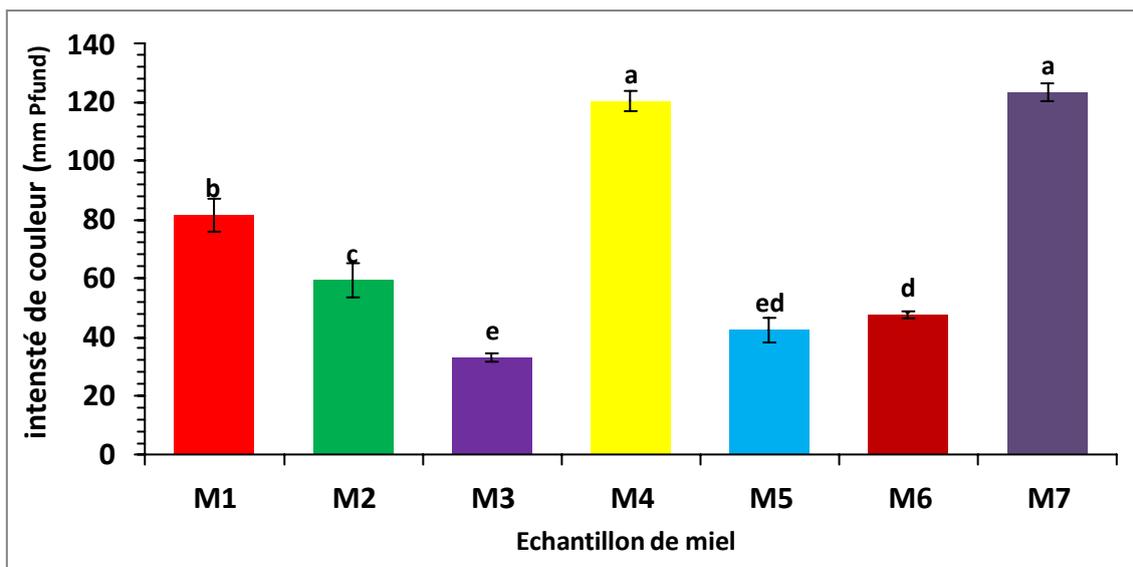


Figure 8 : Intensités de couleur (échelle Pfund) des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

L'intervalle de l'intensité de couleur des miels analysés est comparable à celui obtenu par **Izzah Ismail et al. (2021)** dans les miels malaisiens (51 à 150 mm Pfund) et plus élevé que celui rapporté par **Pauliuc et al. (2020)** dans les miels roumains (29 à 74 mm Pfund).

L'analyse statistique de l'intensité de la couleur montre que tous les échantillons sont statistiquement différents à l'exception des miel M4 et M7 qui ne présentent de différence significative ($p < 0,05$).

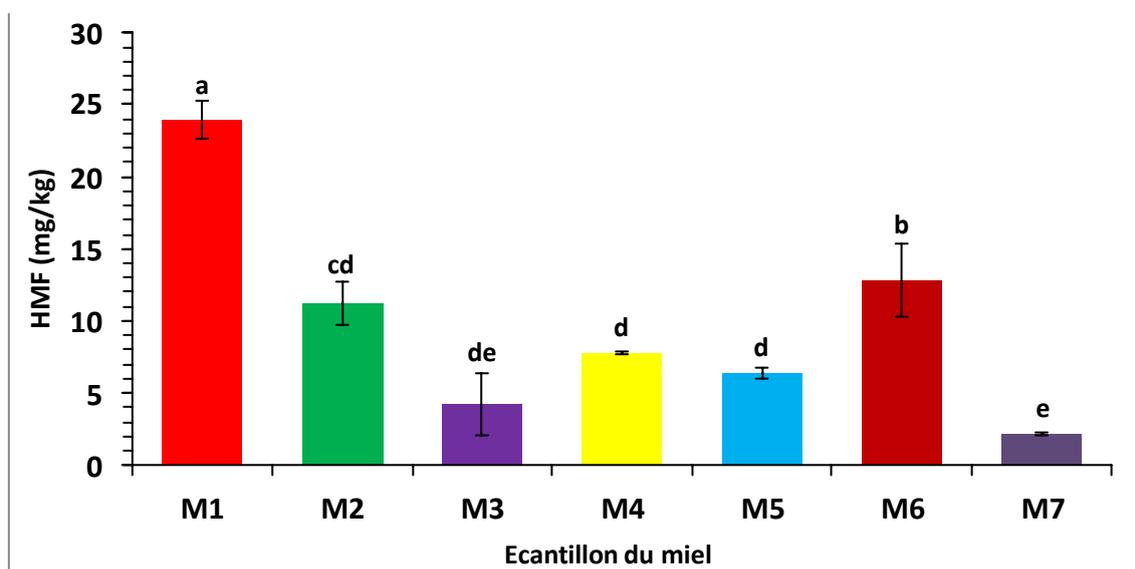
La variation de la couleur du miel peut s'expliquer par sa teneur en polyphénols et en protéine, par l'origine botanique et par l'exposition à des températures élevées et à la lumière (**Alvarez, 2010 ; Doukani, 2014**).

Tableau IV : Noms des couleurs correspondants à l'échelle Pfund.

Échantillons	Noms de la couleur
M1	Ambre clair
M2	Ambre clair
M3	Blanc
M4	Ambre foncé
M5	Ambre extra-clair
M6	Ambre extra-clair
M7	Ambre foncé

IV.2. 5. HMF

Les résultats obtenus dans la figure 9 indiquent que les taux de l'HMF présents dans les échantillons de miel analysés respectent les normes recommandées par le Codex Alimentarius, fixées à 40 mg/kg. Ces résultats suggèrent que ces échantillons sont frais et n'ont pas été soumis à un traitement thermique. Parmi les différents échantillons, le miel *Fabaceæ* de Béjaïa (M1) présente la concentration la plus élevée en HMF, avec une valeur de 25,26 mg/kg. En revanche, le miel d'Allemagne (M7) présente une faible teneur en HMF, seulement 2,06 mg/kg.

**Figure 9** : Teneurs en HMF des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les concentrations de HMF dans les échantillons de miel étudiés sont plus faibles que celles rapportées par **Sharif et al. (2018)**, qui variaient de 14,5 à 112,5 mg/kg, ainsi que celles rapportées par **Belhaj et al. (2015)** pour les miels marocains, qui étaient comprises entre 3,87 et 100 mg/kg.

L'analyse statistique montre un seul groupe homogène (M4 et M5) et les autres échantillons sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

La concentration du miel en HMF dépend de la température de stockage et du pH. Dans les miels les plus acides, les réactions de formation de HMF sont produites plus fréquemment (**Mouhoubi-Tafinine et al., 2018**).

IV.2. 6. Protéines

Les protéines présentes dans le miel ont différentes sources, notamment le nectar des fleurs, les sécrétions des abeilles et les grains de pollen collectés lors du butinage. Les protéines du miel sont généralement constituées de composés tels que la peptone, l'albumine, la globuline et la nucléoprotéine (**Da Silva et al., 2016**).

La figure 10 présente les résultats des teneurs en protéines. Le miel local M3 affiche la valeur la plus élevée (112,20 mg EBSA/100 g), tandis que le miel d'importation M6 présente la plus faible concentration de protéines (84,34 mg EBSA/100 g).

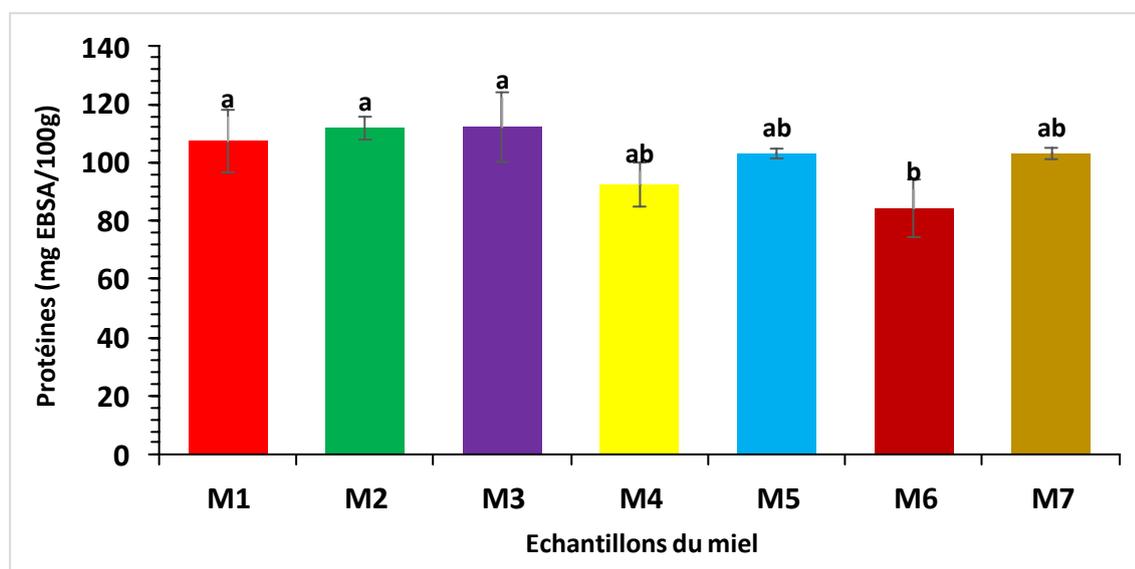


Figure 10 : Teneurs en protéines des échantillons du miel analysé.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les teneurs obtenues sont incluses dans l'intervalle rapporté par **Ouchmoukh, (2012)** pour les miels algériens (45,26 à 251,27 mg EBSA/100 g). Cependant, **Alvarez-Suarez et al. (2010)** ont rapporté des teneurs supérieures dans les miels Cubains (12 à 92,3 mg EBSA/100 g). L'analyse statistique montre la présence de deux groupes homogènes et il s'agit de (M1, M2 et M3) et (M4, M5 et M7) qui ne sont pas significativement différents ($p < 0,05$).

La teneur en protéine des miels est en relation avec les origines botanique et géographique, la présence d'enzymes ajoutées par les abeilles au cours de l'élaboration et le nombre de grains de pollen présents dans le miel (**Moniruzzaman et al., 2013**).

7. Proline

Les résultats obtenus indiquent que tous les miels analysés présentent des taux de proline supérieurs à la limite minimale établie par le **Codex Alimentarius (2001)** (> 183 mg/kg). Cela confirme que tous les échantillons analysés sont à maturité et non altérés. Les histogrammes ci-dessous mettent en évidence que les miels d'importation M5 et M7 sont les plus riches en proline, avec des concentrations respectives de 1154,61 et 1298,94 mg/kg. En revanche, le miel local M3 présente la teneur en proline la plus faible, soit 651,56 mg/kg.

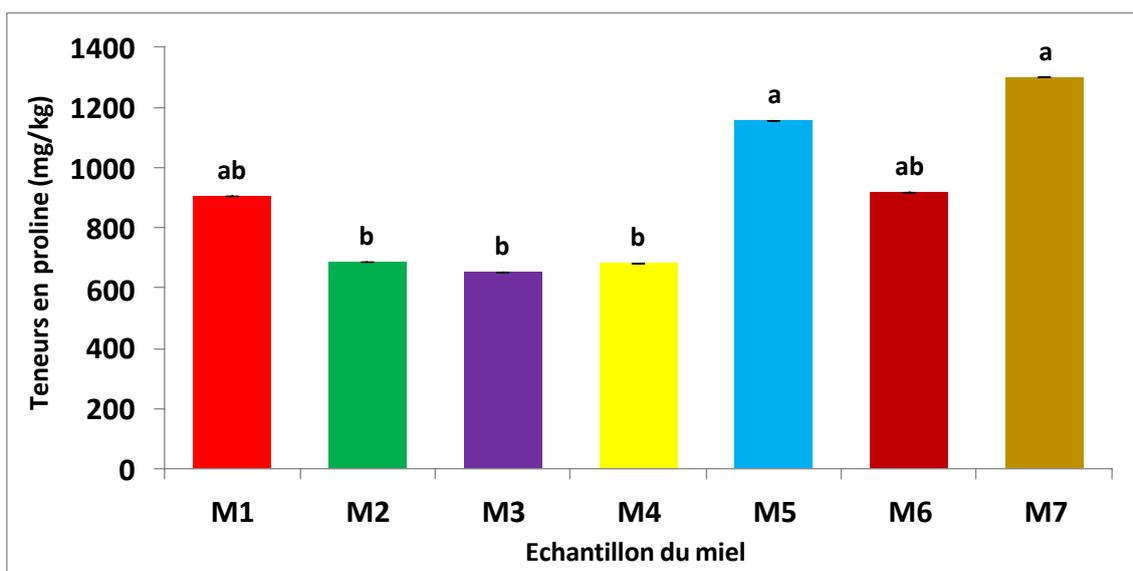


Figure 11 : Teneurs en proline des échantillons du miel analysé.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats de la teneur en proline des miels analysés sont supérieurs à ceux rapportés par **Ouchemoukh et al. (2007)** dans les miels de la région de Bejaia (202 à 680 mg/kg), par **Al-Farsi et al. (2018)** dans les miels du Sultanat d'Oman (59,12 à 102,22 mg/kg) et par **Boussaid et al. (2018)** dans les miels de Tunisie (299 à 683 mg/kg).

L'analyse statistique montre la présence de trois groupes homogènes (M1et M6), (M2, M3 et M4) et (M 5et M7) qui ne présentent pas une différence significative ($p < 0,05$).

Les variations des teneurs en proline peuvent être attribuées au pollen que l'abeille consomme et à la force des colonies des abeilles (**Ouchmoukh, 2012**).

Teneurs en antioxydants

IV.3. 1. Composés phénoliques totaux

Tous les miels analysés montrent la présence des composés phénoliques et les différentes teneurs obtenues sont présentées dans la figure 12. Selon les résultats obtenus, le miel monoflorale de Béjaia (M3) montre la concentration la plus élevée en composés phénolique avec une valeur de 350,88 mg EAG/100 g. Il s'avère donc être le miel le plus riche en comparaison avec le miel (M4), qui est le moins riche en ces composés et affiche une teneur de 104,35 mg EAG/100 g.

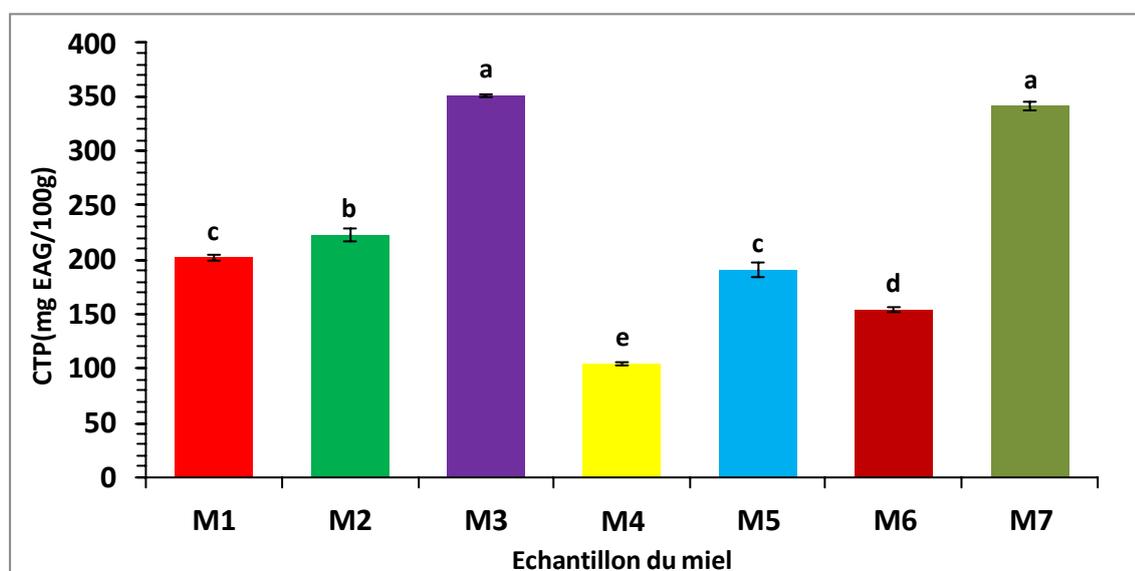


Figure 12 : Teneurs en composés phénoliques totaux des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats de la présente étude sont supérieurs à ceux rapportés par **Laouar, (2017)** pour les miels du nord d'Algérie 39,78 à 108,69 (mg EAG/100 g) mais inférieurs à ceux rapportés par **Doukani et al. (2014)** avec des valeurs qui varient de 166,11 à 427,14 (mg EAG/100 g).

Les résultats de la présente étude sont supérieurs à ceux rapportés par **Laouar, (2017)** pour les miels du nord d'Algérie 39,78 à 108,69 (mg EAG/100 g) mais inférieurs à ceux rapportés par **Doukani et al. (2014)** avec des valeurs qui varient de 166,11 à 427,14 (mg EAG/100 g). L'analyse ANOVA montre deux groupes homogènes qui ne présentent pas de différence significative pour les teneurs en polyphénols (M1 et M5) et (M3 et M7) ($p < 0,05$).

Les résultats obtenus mettent en évidence des variations significatives dans les niveaux de polyphénols, principalement attribuables aux différences dans l'origine botanique et géographique du miel, notamment la composition chimique du pollen (**Rodríguez-Flores et al., 2015**).

IV.3. 2. Flavonoïdes

Tous les échantillons de miel testés contiennent des flavonoïdes. Les résultats présentés dans la figure 13 révèlent que le miel ambre foncé (M7) présente le taux le plus élevé avec une concentration de 256,21 mg EQ/100 g, tandis que le miel ambre extra-clair (M6) affiche la teneur la plus faible avec une valeur de 67,39 mg EQ/100 g. Ces résultats sont cohérents avec des études antérieures qui ont démontré que les miels plus foncés contiennent des quantités plus élevées de flavonoïdes par rapport aux miels plus clairs (**Otmani et al., 2021**).

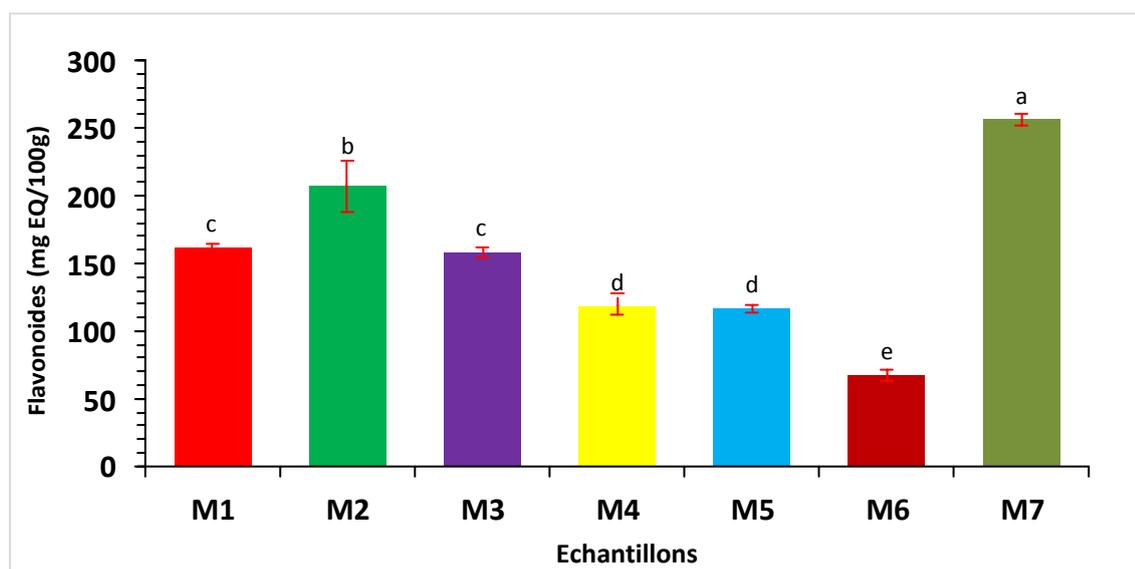


Figure 13 : Teneurs en flavonoïdes des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les taux de flavonoïdes obtenus dans cette étude sont supérieurs à ceux rapportés pour les miels brésiliens par **Bueno-Costa et al. (2016)** et **Nascimento et al. (2018)**, qui variaient respectivement de 2,97 à 10,46 mg EQ/100 g et de 0 à 2,60 mg EQ/100 g.

L'analyse statistique montre deux groupes homogènes qui ne présentent pas de différence significative pour les teneurs en flavonoïdes (M1 et M3) et (M4 et M5) ($p < 0,05$).

La variabilité des concentrations en flavonoïdes dépend principalement de l'origine florale et géographique du miel (**Sousa et al., 2016**).

IV.3. 3. Vitamine C

Tous les miels testés renferment de la vitamine C. Selon les résultats illustrés dans la figure 14, les meilleurs taux reviennent aux miels poly florale de la Bulgarie (M5) (12,23 mg EAA/100 g) et poly florale d'Allemagne (M7) (10,80 mg EAA/100 g) Tandis que les concentrations les plus faibles sont obtenues par les miels *Fabaceae* de Bejaia (M3) (2,40 mg EAA/100 g).

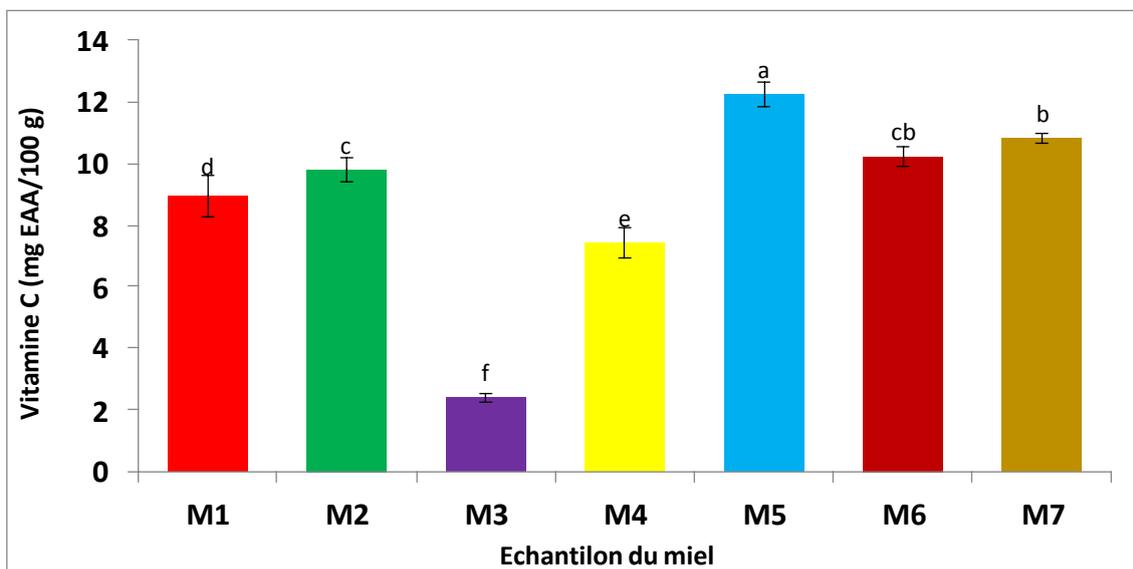


Figure 14 : Teneurs en Vitamine C des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats de cette étude se situent dans la fourchette rapportée par **Mouhoubi-Tafinine et al. (2016)** (0,4 à 3,4 mg /100 g) dans les miels Algériens. Cependant, **Ciulu et al. (2011)** ont rapporté des valeurs plus faibles dans les miels italiens (0,1 à 0,6 mg /100 g).

L'analyse de la variance montre que les teneurs en vitamine C des miels analysés ne présentent pas de différence significative.

La présence de vitamine C dans le miel est principalement due au pollen, et sa quantité varie en fonction de la source botanique et géographique. Cependant, il convient de noter que le traitement thermique et les conditions de stockage inadéquates peuvent entraîner une diminution de la teneur en vitamine C de ce produit apicole (**Chua et al., 2013**).

4. Caroténoïdes

Selon les résultats illustrés dans la figure 15, la teneur la plus élevée en caroténoïdes est enregistrée par le miel M3 avec une concentration de 9,08 mg E β -carot/kg par contre le taux le plus faible est obtenu par le miel M1 avec une valeur de 0,55 mg E β -carot/kg.

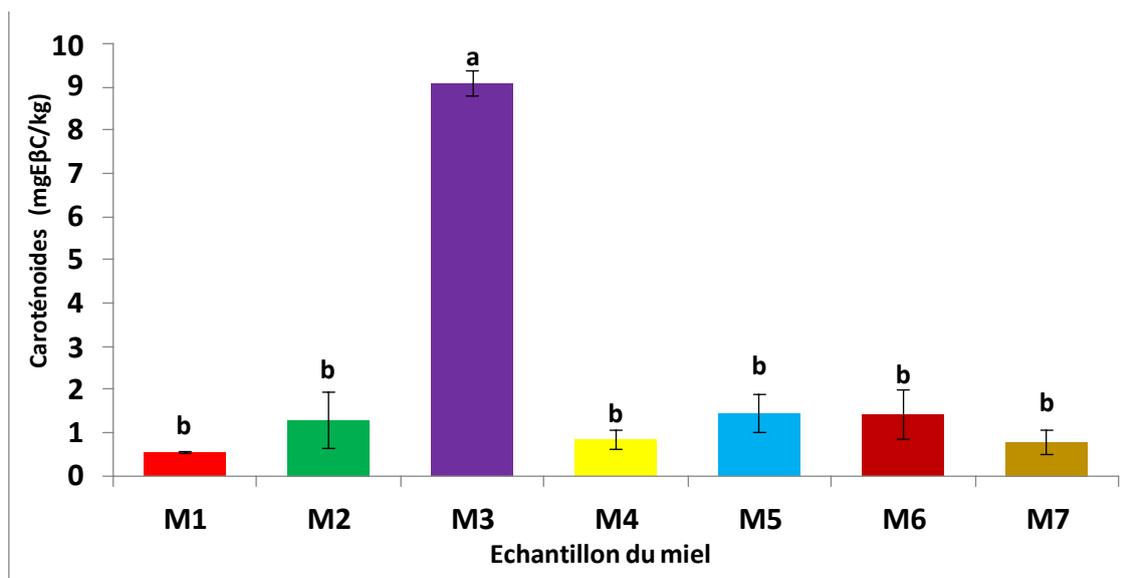


Figure 15 : Teneurs en caroténoïdes des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les résultats de la présente étude sont proches de ceux rapportés par **Boussaid et al. (2014)** dans les miels Tunisiens (1,16 à 4,72 mg E β -carot/kg) et inférieur aux valeurs trouvées par **Mouhoubi-Tafinine et al. (2016)** dans les miels algériens (3 à 10,1 mg E β -carot/kg).

L'analyse statistique des teneurs en caroténoïdes montre la présence un groupe homogène (M1, M2, M4, M5, M6 et M7) qui ne présentent pas de différence significative à $p < 0,05$.

La quantité de caroténoïdes présente dans le miel peut être influencée par les conditions de culture et la maturité des fleurs butinées par les abeilles. Elle dépend également de la zone géographique, ainsi que des conditions environnementales et saisonnières (**Boussaid et al., 2014 ; Mouhoubi-Tafinine et al., 2016**). Le pollen joue un rôle essentiel en tant que source de β -carotène, et la quantité de caroténoïdes dans le miel varie en fonction de la composition florale spécifique d'une région géographique donnée. En plus de leur contenu en polyphénols, les caroténoïdes contribuent également à la coloration du miel (**Mokaya et al., 2020**).

Activités biologiques

IV.4. 1. Activités antioxydantes

L'évaluation du potentiel antioxydant des miels est réalisée in vitro à l'aide de cinq méthodes différentes : le piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS, le test FRAP, le pouvoir réducteur et le test à la ferrozine.

➤ Pouvoir anti-radicalaire par le DPPH

Les résultats de l'évaluation de l'activité anti-radicalaire DPPH sont présentés dans la figure 16. L'échantillon de miel provenant de Bejaia (M3) présente la plus petite valeur d'IC₅₀, enregistrant 3,75 mg/ml. Cela suggère que cet échantillon présente la meilleure activité anti-radicalaire DPPH. Cette propriété peut être attribuée à sa composition en polyphénols, car il a été rapporté que le potentiel antioxydant du miel est directement lié à la quantité d'acides phénoliques et de flavonoïdes qu'il contient (**Hanine et al., 2018**). Cependant, la plus grande d'IC₅₀ est obtenue avec l'échantillon de Bejaia (M4), avec une concentration de 150,5 mg/ml.

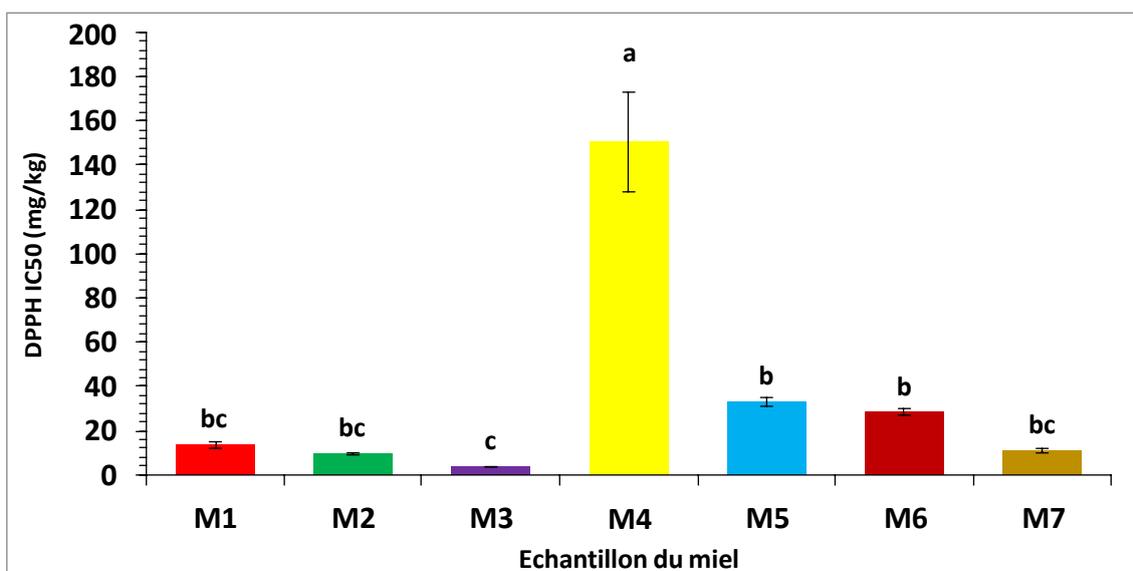


Figure 16 : L'activité anti radicalaire DPPH des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

L'analyse statistique montre la présence de deux groupes homogène (M1 et M2) et (M5 et M6) qui ne présentent pas de différence significative à $p < 0,05$ en termes d'activité anti-radicalaire estimée avec DPPH.

Les composants responsables de l'effet antioxydant sont les flavonoïdes et les acides phénoliques. La quantité de ces composants varie largement en fonction de l'origine florale et géographique du miel. En outre, la transformation et le stockage du miel peuvent influencer sur sa composition (Doukani *et al.*, 2014).

➤ Pouvoir anti-radicalaire par l'ABTS

Les résultats illustrés dans la figure 17 montrent que tous les échantillons du miel testés ont un pouvoir scavenger du radical ABTS avec des IC50 et qui varient de 8,85 à 626,83 mg/ml obtenus respectivement par les miels M1 et M4.

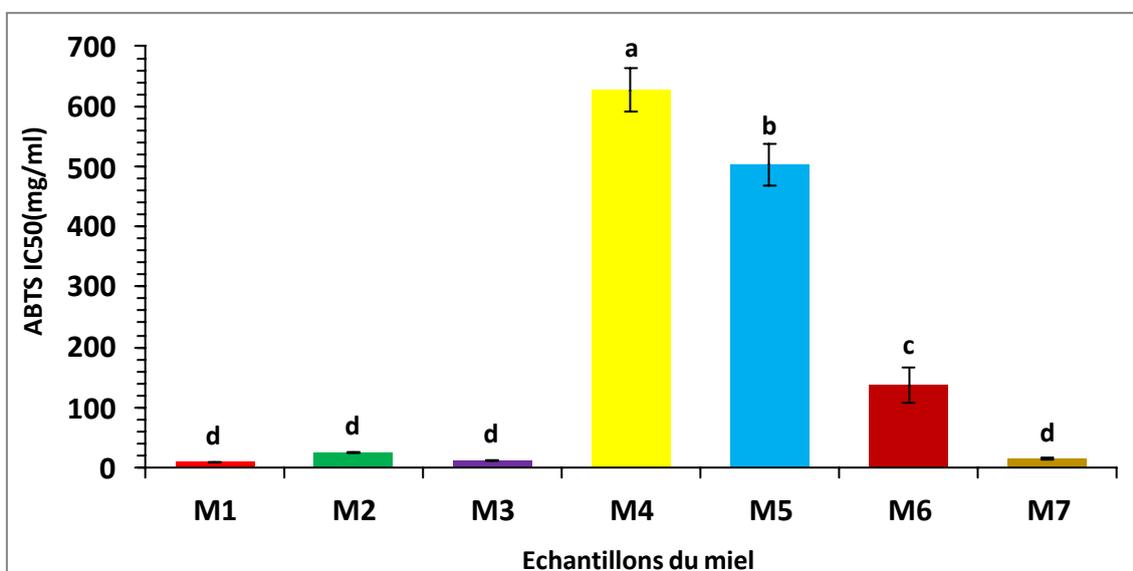


Figure 17 : L'activité anti-radicalaire ABTS des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

L'analyse statistique montre la présence de groupe homogène (M1, M2, M3 et M7) qui ne présentent pas de différence significative à $p < 0,05$.

Le potentiel anti-radicalaire du miel est attribué à son origine botanique et à la présence de plusieurs antioxydants tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques et les vitamines C (Al-Mamary *et al.*, 2002). L'activité anti-radicalaire dépend également de la structure moléculaire des polyphénols. Le nombre et la position des groupes hydroxyles dans les composés phénoliques jouent un rôle important la neutralisation des radicaux libres. Par exemple, le groupe monohydroxyle dans les acides cinnamiques étant plus disponible comme donneur d'hydrogène que les groupes monohydroxyle dans l'acide phénylacétique (Otmani, 2021).

➤ Test de FRAP

Tous les miels analysés montrent la capacité à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}). Selon les résultats illustrés dans la figure 18, les meilleures activités reviennent aux miels locaux M2 et M3 avec des valeurs respectives de 168,41 et 169,18 mg EAG/100 g. En revanche, la faible capacité réductrice est obtenue par les miels d'importation M5 (20,18 mg EAG/100 g) et M6 (21,47 mg EAG/100 g).

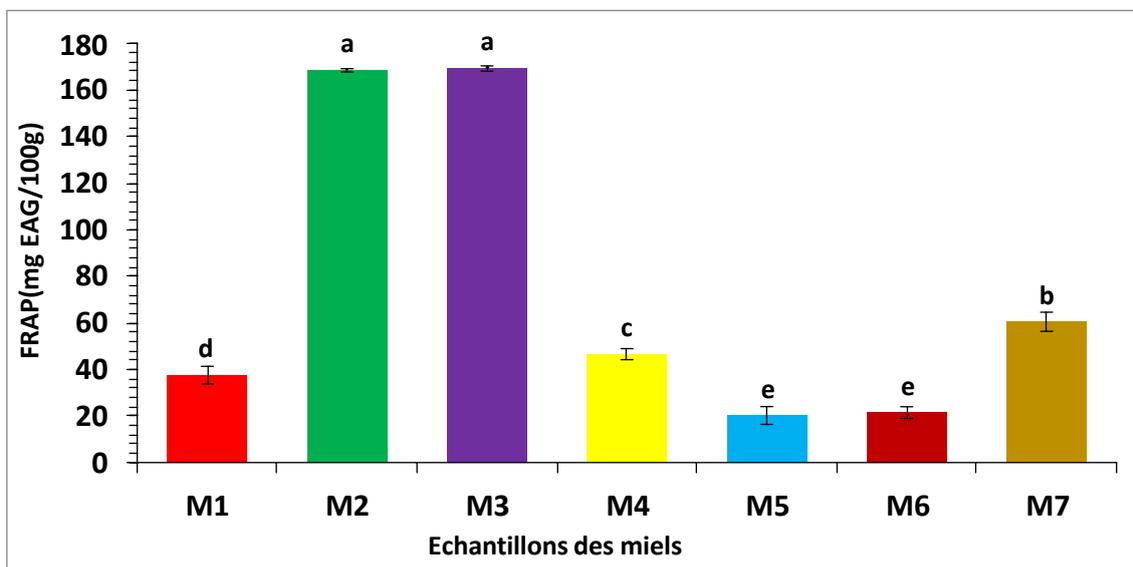


Figure 18 : Pouvoir du FRAP des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Ces résultats inclus dans l'intervalle rapporté par **Doukani et al. (2014)** (8,3 à 240 mg EAG/100 g) dans les miels algériens. En revanche, **Sagdic et al. (2013)** ont rapporté des valeurs inférieures (70,09 à 86,19 mg EAG/100 g) de la capacité réductrice de fer.

L'analyse ANOVA montre la présence deux groupes homogènes (M2 et M3) et (M5 et M6) qui ne présentent pas une différence significative à ($p < 0,05$).

Des études antérieures ont rapporté des corrélations significatives entre la concentration en polyphénols et le taux de fer ferreux (Fe^{2+}) formé en présence des antioxydants du miel (**Bertoncelj et al., 2007 ; Blasa et al., 2006**).

➤ Pouvoir réducteur

A première vue de l'histogramme illustrés dans la figure 19, tous miels analysés montrent un pouvoir réducteur de fer avec des valeurs qui varient de 60,39 à 245,96 mg EAG/100 g, obtenues par le miel local M4 et d'importation M7, respectivement.

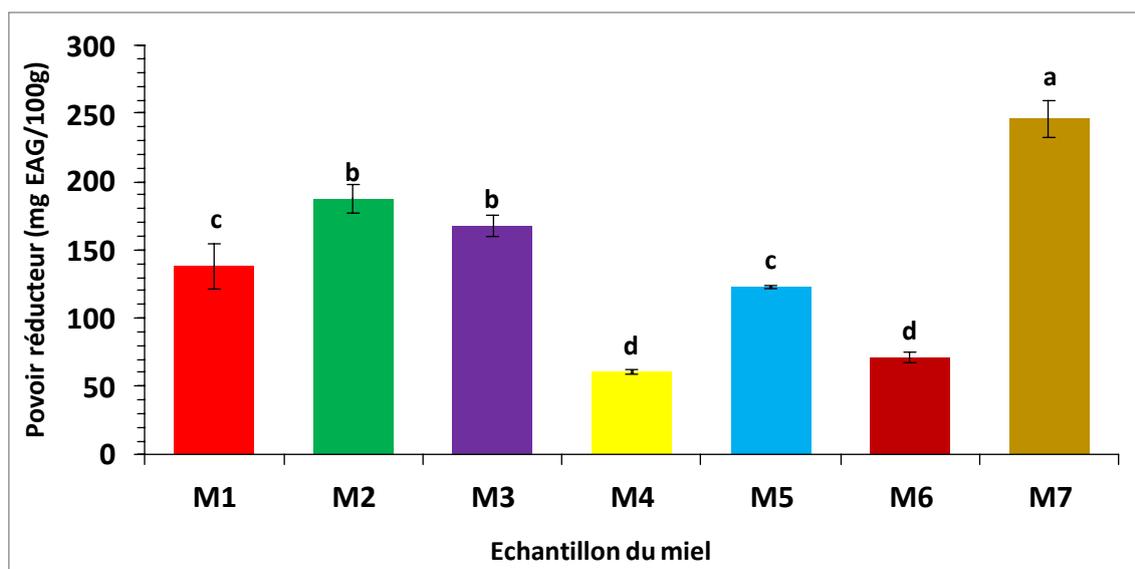


Figure 19 : Pouvoir réducteur des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Les valeurs obtenues sont comparables à celles rapportées par **Doukani et al. (2014)** (8 à 240 mg EAG/100 g). Cependant, **Otmani et al. (2021)** ont rapporté des valeurs inférieures (43 à 150 mg EAG/100 g) pour cette activité antioxydante.

L'analyse statistique montre la présence trois groupes homogènes (M1 et M5) et (M2 et M3) et (M4 et M6) qui ne présentent pas une différence significative ($p < 0,05$).

La quantité des polyphénols et de la vitamine C du miel sont les principaux facteurs responsables de son pouvoir réducteur. Généralement, les miels foncés présentent une concentration élevée en ces composés et par conséquent montrant une meilleure activité antioxydante par rapport aux miels clairs (**Doukani et al., 2014 ; Khalil et al., 2012**). Cela est démontré par le miel d'importation M7, qui présente à la fois le taux de composés phénoliques, le plus élevé et l'activité réductrice la plus puissante.

➤ Test à la ferrozine

Les résultats obtenus montrent que la formation du complexe Fe^{2+} -ferrozine n'est pas complète en présence des échantillons du miel. Comme le montre l'histogramme ci-dessous, le miel local M4 enregistre l'IC₅₀ la plus faible avec une valeur de 83,74 mg/ml, par conséquent ce miel possède la capacité chélatrice de fer la plus élevée. Cependant, le miel d'importation M6 montre une faible capacité chélatrice avec une valeur d'IC₅₀ de 692,01 mg/ml.

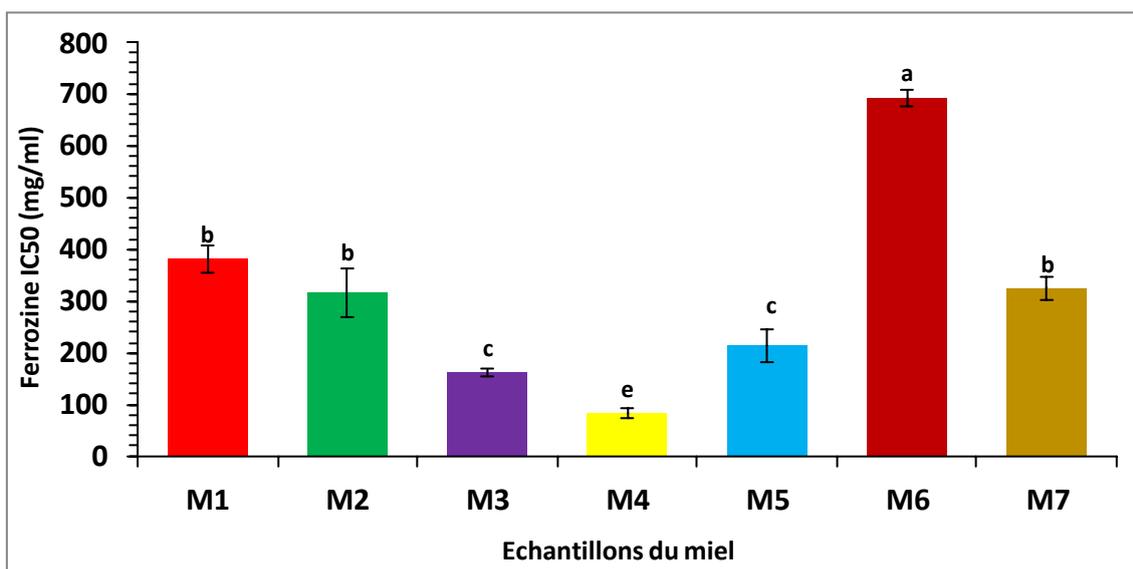


Figure 20 : Test à la ferrozine des miels analysés.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$).

L'analyse statistique montre la présence de deux groupes homogènes (M1, M2 et M7) et (M3 et M5) qui ne présentent pas une différence significative ($p < 0,05$).

Les composés phénoliques ne sont pas les seuls chélateurs de fer. Il existe d'autres composés tels que les sucres, les acides organiques et les acides aminés et qui peuvent se complexer avec les métaux de transition (Wong *et al.*, 2006).

2. Activité anti-hémolytique

➤ Observation macroscopique

Après la dernière centrifugation, par estimation à l'œil nu (figure 21), les échantillons de miel ainsi que le contrôle isotonique révèlent un culot intact et un surnageant clair ce qui reflète l'absence d'hémoglobine libérée. En outre il y'a eu une inhibition d'hémolyse. Tandis que le surnageant du contrôle à l'eau distillée a une couleur rouge reflétant la présence d'hémoglobine.



Figure 21 : photographie des résultats de test anti-hémolytique.

➤ Pourcentages d'inhibition de l'hémolyse

Les résultats présentés dans le tableau VI montrent que tous les miels analysés protègent les globules rouges contre l'hémolyse. Le miel M3 de Bejaia enregistre l'inhibition moyenne maximale avec une valeur de 76,28 %, ce qui indique que cet échantillon possède l'activité anti-hémolytique la plus élevée. Par contre, le miel d'Allemagne (M7) montre le plus faible pourcentage d'inhibition de l'hémolyse avec une valeur moyenne de 70,14 %. Ces résultats sont proches de ceux rapportés par **Gowda Manukumar et Umesha, (2015)** pour les miels indiens (8,25 à 97,76 %).

D'autres études ont montré que l'effet anti-hémolytique du miel peut être attribué à la capacité de ce dernier à augmenter le rapport surface/volume des globules rouges, provoqué par une expansion de la membrane ou le rétrécissement de la cellule et une interaction avec les protéines membranaires (**Gowda Manukuma et Umesha, 2015**).

Tableaux V : pourcentages d'inhibition de l'hémolyse par les échantillons de miel.

Echantillons	Individu 1	Individu 2	Individu 3	Individu 4	Moyen±ET
M1	82,44±2,16 ^{c, A}	73,14±0,11 ^{b, B}	72,06±0,37 ^{c, C}	62,12±1,84 ^{d, D}	72,44±0,66 ^b
M2	79,62±0,11 ^{d, A}	74,18±0,11 ^{a, B}	74,83±0,61 ^{b, B}	65,04±1,38 ^{c, C}	73,42±0,39 ^b
M3	83,59±0,11 ^{b, A}	73,96±0,21 ^{b, C}	76,99±1,71 ^{a, B}	70,56±1,22 ^{a, D}	76,28±0,50 ^a
M4	82,67±0,97 ^{b, A}	73,74±0,80 ^{b, B}	72,49±0,49 ^{c, B}	66,45±0,31 ^{b, C}	73,84±0,38 ^b
M5	82,37±0,98 ^{c, A}	74,26±0,74 ^{a, B}	74,22±0,52 ^{b, B}	72,08±0,46 ^{a, C}	75,73±0,05 ^a
M6	86,26±0,65 ^{a, A}	74,03±0,11 ^{a, B}	72,66±0,00 ^{c, C}	70,13±1,22 ^{a, D}	75,77±0,35 ^a
M7	79,01±2,91 ^{d, A}	70,91±0,25 ^{c, B}	65,40±0,98 ^{d, C}	65,26±3,21 ^{c, C}	70,14±1,27 ^c

Les différentes lettres majuscules (A>B>C>D) indiquent les différences significatives entre les individus (colonnes) tandis que les différentes lettres minuscules (a>b>c>d) indiquent des différences significatives ($p<0,05$) entre les échantillons du miel (lignes).

Corrélations et analyses multivariées

IV.5. 1. Corrélations

Le tableau VII montre une corrélation très hautement significative entre les composés phénoliques et les flavonoïdes ($r=0,69$). Cependant, **Otmani et al. (2021)** et **Alvarez-Suarez et al. (2010)** ont rapportés des résultats supérieurs avec des coefficients de corrélation de 0,80 et 0,83, respectivement. L'analyse des corrélations montre également un lien très hautement significatif entre les composés phénoliques et les IC₅₀ de DPPH ($r=-0,68$) et de l'ABTS ($r=-0,67$). Les taux de flavonoïdes montrent des corrélations significatives avec l'ABTS et le FRAP et les coefficients de corrélations sont respectivement de -0,52 et 0,45. Ces coefficients de corrélations sont inférieurs à ceux obtenus par **Otmani et al. (2022)** entre les composés phénoliques et l'ABTS ($r=0,86$) et par **Zaidi et al. (2019)** entre les flavonoïdes et l'ABTS ($r=0,79$).

Une relation très hautement significative est observée entre les flavonoïdes et l'activité anti-hémolytique ($r=0,74$). La matrice des corrélations révèle également un lien significatif entre les caroténoïdes et l'activité anti-hémolytique ($r=0,52$).

Tableau VI : Corrélations entre les teneurs en composés bioactifs et les activités biologiques.

	CPT	Flavo	Caroté	VitC	DPPH	ABTS	PR	FRAP	Ferrozine	AAH
CPT	1,00									
Flavo	0,69	1,00								
Caroté	0,58	-0,02	1,00							
VitC	-0,36	0,03	-0,83	1,00						
DPPH	-0,68	-0,38	-0,28	-0,05	1,00					
ABTS	-0,67	-0,52	-0,27	0,19	0,83	1,00				
PR	0,85	0,92	0,15	0,03	-0,64	-0,65	1,00			
FRAP	0,55	0,45	0,63	0,61	-0,34	-0,48	0,48	1,00		
Ferrozine	-0,14	-0,27	-0,30	0,40	-0,42	-0,45	-0,11	-0,32	1,00	
AAH	0,23	0,74	0,52	0,34	0,06	0,29	0,58	0,10	-0,00	1,00

■ : Significatif ($p < 0,05$), ■ : Hautement significatif ($p < 0,01$), ■ : Très hautement significatif ($p < 0,001$).

IV.5. 1. Analyses multivariées

L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée pour révéler les similitudes et les différences des paramètres physicochimiques, des taux des composés bioactifs et des activités biologiques des miels analysés. Le tracé des valeurs propres montre une ligne droite après la deuxième composante principale, ce qui conduit à la conclusion que seules CP1 et CP2 qui représentent 64,31 % de la variation totale peuvent être utilisées pour une explication adéquate des données obtenues.

La figure 22 (A et B) montre que CP1 explique 39,40 % des données et représente le brix ($r=0,15$), pH ($r=0,94$), protéines ($r=0,78$), proline ($r=0,06$), composés phénoliques ($r=0,95$), flavonoïdes ($r=0,77$), caroténoïdes ($r=0,52$), FRAP ($r=0,71$) et pouvoir réducteur ($r=0,89$) dans la partie positive de graphique. En revanche, la conductivité électrique ($r=-0,99$), l'intensité de couleur ($r=0,13$), DPPH ($r=-0,74$), ABTS ($r=-0,79$), ferrozine ($r=-0,12$) et activité anti-hémolytique ($r=-0,29$) sont présentés dans la partie négative. CP2 explique 25,01 % des données et représente le brix ($r=0,76$), conductivité électrique ($r=0,07$), intensité de couleur ($r=0,77$), proline ($r=0,78$), composés phénoliques ($r=0,12$), flavonoïdes ($r=0,50$), vitamine c ($r=0,52$), DPPH ($r=0,15$), ABTS ($r=0,17$) et pouvoir réducteur ($r=0,38$) dans la partie positive. Cependant, l'humidité ($-0,85$), pH ($-0,05$), HMF ($-0,23$), protéines ($-0,07$), caroténoïdes ($-0,56$), FRAP ($-0,49$), ferrozine ($-0,17$) et activité anti-hémolytique ($-0,78$) sont présentés dans la partie négative.

La discrimination par CP1 et CP2 est réalisée sur la base des variables étudiées, la figure 22 (B) révèle quatre groupes du miel. Le premier groupe se situe en bas dans la partie droite de la figure 22 (B) et qui contient le miel local M3. Ce groupe se distingue par des valeurs élevées en protéines, pH, composés phénoliques, caroténoïdes, FRAP et activités anti-hémolytiques. En revanche, le miel M3 marque des faibles valeurs en conductivité électrique, proline, IC₅₀ de DPPH et ABTS. Le deuxième groupe (M7) (en haut dans la partie droite de graphique) montre des valeurs élevées en Brix, couleur, proline, flavonoïdes et pouvoir réducteur et des faibles valeurs en humidité, HMF, activité anti-hémolytiques. Le troisième groupe (M1, M2, M5 et M6) se trouve au milieu de graphique et montre des valeurs moyennes des paramètres étudiés. Cependant, le quatrième groupe (M4) se trouve à l'opposé du graphique et montre des grandes valeurs de conductivité électrique, des IC₅₀ de DPPH et ABTS et des faibles taux des composés bioactifs.

Les résultats de l'ACP démontrent que le miel local M3 est le meilleur miel en termes de teneur en composés phénoliques, activités antioxydantes et activité anti-hémolytiques. Cependant, le miel d'importation 7 montre les taux les plus élevées en flavonoïdes et en proline. La figure 22 (A) confirme les corrélations obtenues à l'aide de la matrice de corrélation.

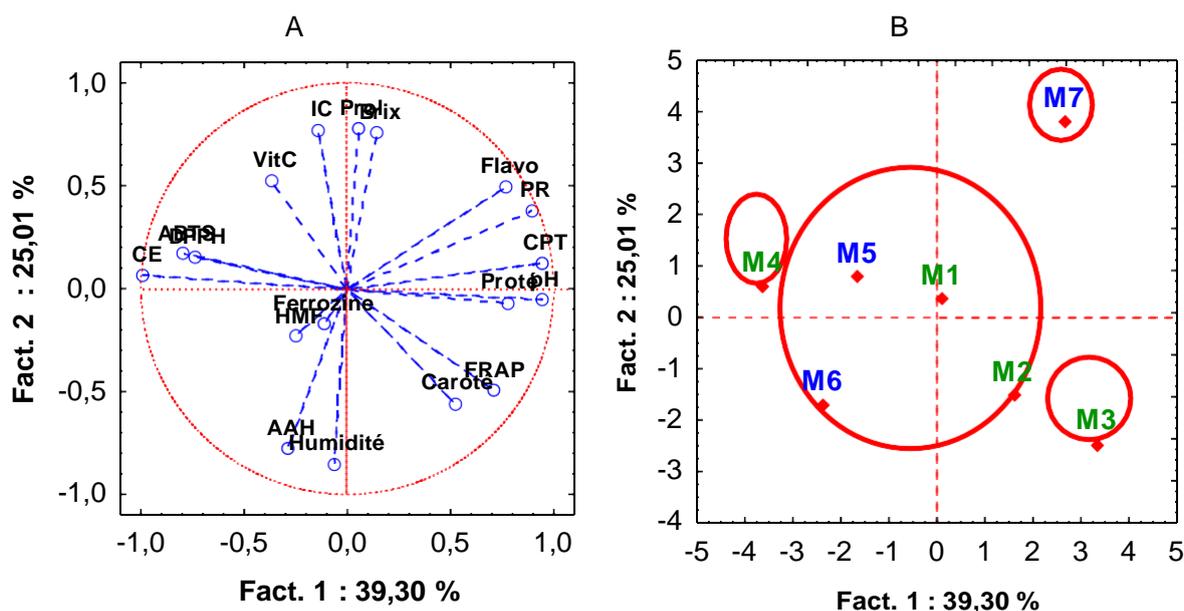


Figure 22 : Graphique d'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres physicochimiques, teneurs en composés bioactifs et activités biologiques des échantillons du miel.

Conclusion

Ce travail a permis de comparer les miels locaux et d'importation, afin d'évaluer la qualité de chaque miel, c'est pour cela on a déterminé l'origine botanique, la composition chimique, les propriétés physico-chimiques, les deux activités antioxydante et anti-hémolytique de quatre miels locaux (Bejaia), et trois miels d'importation (Bulgarie, Allemagne).

L'analyse pollinique des 7 échantillons du miel montre 2 miels mono floraux avec deux pollens dominants (*Fagaceae* et *Fabaceae*) et 5 miels polyfloraux, avec 6 pollens secondaires (*Fabaceae*, *Ericaceae*, *Fagaceae*, *Ericaceae*, *Teliaceae*, *Poecaceae*) ces résultats illustrent la diversité botanique et florale des miels locaux de l'Algérie.

Concernant les paramètres physico-chimiques, de manière générale, les 7 échantillons étudiés répondaient aux normes fixées par le **Codex Alimentarius**, ce qui indique que les différents miels analysés étaient de bonne qualité.

Les résultats des paramètres physico-chimiques montrent que le brix des échantillons analysés présente des valeurs allant de 79 à 81,26 %. L'humidité est comprise entre 16,92 et 19,28 %. Tous les miels sont acides avec un pH qui oscille de 3,82 à 4,49. La conductivité électrique est comprise entre 0,83 et 1,09 mS cm⁻¹. La couleur varie de clair à l'ambre foncé. En plus, le taux du HMF est compris entre 2,06 et 25,26 mg kg⁻¹ ce qui indique que tous les miels sont frais et leurs teneurs sont conformes aux normes. Les teneurs en protéines et en proline oscillent respectivement de 75,9 à 121,75 mg EBSA 100 g⁻¹ et 566,69 à 1337,14 mg kg⁻¹.

Les miels analysés ont une teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes de 102,87 à 345,13 mg EAG 100 g⁻¹ et de 63,44 à 261,2 mg EQ 100 g⁻¹, respectivement. La concentration en caroténoïdes est de 0,51 à 9,42 mg E β-carot kg⁻¹. Les échantillons du miel montrent des bonnes concentrations vitamine C qui varient 2,29 à 12,27 mg EAA 100 g⁻¹.

Les 7 échantillons des miels montrent une capacité de piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS avec des IC₅₀ qui varient de 3,7 à 150,5 mg ml⁻¹ et de 8,51 à 660,69 mg ml⁻¹, respectivement. Les miels montrent également une capacité réductrice estimée par le FRAP (16,64 à 170,35 mg EAG 100 g⁻¹) et le pouvoir réducteur (58,86 à 255,65 mg EAG 100 g⁻¹). Le test ferrozine varie de 30,25 à 87,65 mg ml⁻¹, respectivement.

Les résultats de l'activité anti-hémolytique des miels montrent une capacité inhibitrice d'hémolyse très élevée induite par la solution hypotonique. Tous les échantillons ont révélé un pourcentage d'inhibition d'hémolyse allant de 68,87 à 76,78 %.

La variabilité des résultats des paramètres physico-chimiques et des propriétés biologiques dépend de facteurs tels que, son origine botanique, les conditions de récolte et de stockage, ainsi que les conditions environnementales et climatiques.

Analyse statistique montre de différentes corrélations (très hautement, hautement significative et significative) entre les teneurs en composés bioactifs et les activités biologiques.

Les résultats de l'ACP démontrent que le miel de Bejaia (M3) possède les teneurs les plus élevées en composés phénoliques, en caroténoïdes et en protéines. Ce même échantillon exprime les meilleures activités antioxydantes et activité anti-hémolytiques. Cependant, le miel d'Allemagne (M7) montre les concentrations les plus élevées en flavonoïdes et en proline.

Il est intéressant d'approfondir ce travail pour une meilleure évaluation de l'efficacité du miel par les analyses suivantes :

- ✓ Étude qualitative et quantitative des composés chimiques et phyto-chimiques miels.
- ✓ Etablir les profils des composés phénoliques par des HPLC.
- ✓ Evaluer d'autres activités biologiques : antibactériennes, antidiabétique, anticancéreuse.
- ✓ Faire des études *in vivo* pour mieux comprendre l'effet du miel sur l'organisme vivant.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Akbari, B., Gharanfali, F., Khayyat, M. H., Khashyarmanesh, Z., Rezaee, R., & Karimi, G. (2012).** Determination of heavy metals in different honey brands from Iranian markets. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 5(2), 105–111.
- Al, M. L., Daniel, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., & Bogdanov, S. (2009).** Physico-chemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania. *Food Chemistry*, 112(4), 863–867.
- Al-Farsi, M., Al-Belushi, S., Al-Amri, A., Al-Hadhrami, A., Al-Rusheidi, M., & Al-Alawi, A. (2018).** Quality evaluation of Omani honey. *Food Chemistry*, 262, 162–167.
- Al-Mamary, M., Al-Meeri, A., & Al-Habori, M. (2002).** Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, 22(9), 1041–1047.
- Al-Omar M. A., Beedham C., Alsarra I. A., 2004.** Pathological roles of reactive oxygen species and their defence mechanisms. *Saudi Pharm J*, 12, 1-18.
- Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Diaz D., Estevez, Y., Romandini, S., Giampieri, F., Damiani, E., Astolfi, P., Bompadre, S., & Battino, M. (2010).** Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2490-2499.
- Al-Waili, N., Al Ghamdi, A., Ansari, M.J., Al-Attal, Y., Al-Mubarak, A., & Salom, K. (2013).** Differences in composition of honey samples and their impact on the antimicrobial activities against drug multiresistant bacteria and pathogenic fungi. *Archives of Medical Research*, 44(4), 307–316.
- Amri, A., & Ladjama, A. (2015).** Enzymes activities, hydroxymethylfurfural content and pollen spectrum of some Algerian honey. *African Journal of Agricultural Research*, 10(7), 613–622.
- Aurongzeb, M., & Azim, M. K. (2011).** Antimicrobial properties of natural honey: a review of literature. *Pakistan Journal of Biochemistry & Molecular Biology*, 44, 118-124.
- Ávila, S., Hornung, P. S., Teixeira, G. L., Malunga, L. N., Apea-Bah, F. B., Beux, M. R., Beta, T., Ribani, R. H. (2019).** Bioactive compounds and biological properties of Brazilian stingless bee honey have a strong relationship with the pollen floral origin. *Food Research International*, 123, 1–10.

- Azeredo, L. da C., Azeredo, M. A. A., de Souza, S. R., & Dutra, V. M. L. (2003).** Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food Chemistry*, 80(2), 249–254.
- Baloš, M. M. Ž., Jakšić, S. N., Popov, N. S., & Polaček, A. V. (2021).** Characterization of Serbian sunflower honeys by their physicochemical characteristics. *Food and Feed Research*, 48(1), 1-8.
- Barth, V. (2020).** Analyse LC/MS du miel et son intérêt en santé. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université Toulouse III Paul Sabatier faculté des sciences pharmaceutiques. P 15-40.
- Baynes J. W., 2005.** Oxygen and life. In: Baynes JW, Domoniczak MH, Medical Biochemistry. Philadelphia: Elsevier, 497-506.
- Belay, A., Solomon, W. K., Bultossa, G., Adgaba, N., & Melaku, S. (2013).** Physicochemical properties of the Hareenna forest honey, Bale, Ethiopia. *Food chemistry*, 141(4), 3386-3392.
- Belhaj, O., Oumato, J., & Zrira, S. (2015).** Étude physico-chimique de quelques types de miels Marocains. *Revue Marocaine Des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(3), 71–75.
- Bentabol Manzanares, A., Hernandez Garcia, Z., Rodriguez Galdon, B., Rodriguez, E. & Diaz Romero, C. (2011).** Differentiation of blossom and honeydew honeys using multivariate analysis on the physicochemical parameters and sugar composition. *Food Chemistry*, 126, 664-672.
- Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & MaffeiFacino, R. (2005).** Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *AnalyticaChimicaActa*, 533(2), 185–191.
- Bertoncelj, J., Dobersek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007).** Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822–828.
- Bogdanov, S., Lüllman, C., Martin, P., Von Der Ohe, W., Russmann, H., Vorwohl G., Persanoddo, L., Sabatini, A. G., Marcazzan, G. L., Piro, R., Flamini, C., Morlot, M., et al. (1999).** Honey quality and international regulatory standards: review by the international honey commission. *Bee World*, 80(2), 61–69.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & PersanoOddo, L. (2004).** Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie*, 35, S4–S17.

- Bonté, F., & Desmoulière, A. (2013).** Le miel : origine et composition. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(531), 18–21.
- Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G., & Hamdi, S. (2018).** Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(2), 265–274.
- Bruneau, E., Barbier, E., Gallez, L. M., Declerck, C. G. (2000).** La roue des arômes des miels. *Abeilles*, 77(4), 16-23.
- Bueno-Costa, F.M., Zambiasi, R.C., Bohmer, B.W., Chaves, F.C., Silva, W.P. da, Zanusso, J.T., & Dutra, I. (2016).** Antibacterial and antioxidant activity of honeys from the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 333–340.
- Chua, L. S., Rahaman, N. L. A., Adnan, N. A., & Eddie Tan, T. T. (2013).** Antioxidant activity of three honey samples in relation with their biochemical components. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2013, 1–8.
- Ciulu, M., Solinas, S., Floris, I., Panzanelli, A., Pilo, M.I., Piu, P.C., Spano, N., & Sanna, G. (2011).** RP-HPLC determination of water-soluble vitamins in honey. *Talanta*, 83(3), 924–929.
- Clement, H. (2002).** *Guide des miels*. Paris, Rustica, p. 64.
- Codex Alimentarius (2001).** Revised codex standard for honey. *Revue*, 12: 1-7
- Commission Européenne (2002).** Directive 2001/110/EC du 20 décembre 2001 relative au miel. *Journal Officiel des Communautés Européennes*, 10 : 47-52.
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Shah, N., & Smith, P. (2011).** Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Exotic Fruits: Their Composition, Nutraceutical and Agroindustrial Potential*, 44(7), 1888–1896.
- Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016).** Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323.
- Doukani, K., Tabak, S., Derriche, A., & Hacini, Z. (2014).** Etude physicochimique et phytochimique de quelques types de miels Algériens. *Revue Ecologie-Environnement*, 10, 37-49.
- El Sofany, A., Naggar, Y., Naiem, E., & Seif, A. (2018).** Characterization of *Apis mellifera* honey of different botanical and geographical origins in Egypt. *The Egyptian journal of experimental biology (Zoology)*, 14, 75-84.

- Escuredo, O., Seijo, M. C., & Fernández-González, M. (2011).** Descriptive analysis of Rubushoney from the north-west of Spain. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(11), 2329–2336.
- Ghramh, H.A., Khan, K.A., & Alshehri, A.M.A. (2019).** Antibacterial potential of some Saudi honeys from Asir region against selected pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1278–1284.
- Hanine, H., Fauconnier, M., Kenne, Tb., Rizki, H., Ouradi, H., Ennahli, Sc., & Hssaini, L. (2018).** Determination of physico-biochemical proprieties and composition in volatile constituents by solid phase micro-extraction of honey samples from different botanical and geographical origins in Morocco. *Journal of Apicultural Research*, 1-44.
- Haouam, L. (2016).** Etude physico-chimique et mellisopolynologique de quelques échantillons de miel (Nord- Est algérien), thèse de Doctorat en Biologie, Université Badjimokhtar Annaba. p102.
- Hossen, Md. S., Ali, Md. Y., Jahurul, M. H. A., Abdel-Daim, M. M., Gan, S. H., & Hoyet, C. (2005).** Le miel : De la source à la thérapeutique, Thèse en vue d'obtention de docteur en pharmacie. *Université Henri Poincaré - Nancy-1*, p. 16-32.
- Huchet, E., Julie, C. & Laurent, G. (1996).** Les constituants chimiques du Miel. *Science et Médecine*, 4, 1-7.
- Hwang, K.-A., Hwang, Y.-J., & Song, J. (2016).** Antioxidant activities and oxidative stress inhibitory effects of ethanol extracts from *Cornus officinalis* on raw 264.7 cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 196.
- Islam, A., Khalil, I., Islam, N., Moniruzzaman, M., Mottalib, A., Sulaiman, S. A., & Gan, S. H. (2012).** Physicochemical and antioxidant properties of Bangladeshi honeys stored for more than one year. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12, 177.
- Izzah, N. I., Kadir, M. R. A., Zulkifli, R. M., & Mohamed, M. (2021).** Antioxidant profiles between Malaysian *Apis* and *Trigona* honeys. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 25(2), 243-256.
- Johnson R. M., Goyette Jr. G, Ravindranath Y., Ho Y.S., 2005.** Hemoglobin autoxidation and regulation of endogenous H₂O₂ levels in erythrocytes. *Free Radic Biol Med* **39**, 17-1407.
- Kaskoniené, V., Petras, R., & Venskutonis, R. (2010).** Floral markers in honey of various botanical and geographic origins : A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(6), 620-634.

- Kaškonienė, V., Maruška, A., Kornýšova, O., Charczun, N., Ligor, M., & Buszewski, B. (2009).** Quantitative and qualitative determination of phenolic compounds in honey. *Cheminé Technologija*, 3(52), 74-80.
- Keke, A., & Cinkmanis, I. (2019).** Determination of organic acids in honey samples from Latvian market by high-performance liquid chromatography. *Research For Rural Development*, 1, 229-233.
- Kennett E. C., Ogawa E., Agar N. S., Godwin I. R., Bubb W. A., Kuchel P. W., 2005.** Investigation of methaemoglobin reduction by extracellular NADH in mammalian erythrocytes. *Int J Biochem Cell Biol* 37, 45-1438.
- Khalil, M.I., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Islam, M.A., Islam, M.N., & Gan, S.H. (2012).** Physicochemical and antioxidant properties of Algerian honey. *Molecules*, 17(9), 11199–11215.
- L. B. de, & Ströher, S. M. (2021).** Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* L. honey from western Paraná, Southern Brazil. *Food Science and Technology*, 41(1), 247–253.
- Li, C., & Lin, E. (2010).** Antiradical capacity and reducing power of different extraction
- Loubreau-Callen, D., Clement, M.C. & Marmion, V. (2000).** Les miels in « techniques de l'ingénieur, traité agroalimentaire », 1-20.
- Louveaux J, Maurizio A et Vorwohl G. (1978).** Methods of melissopalynology. *Bee World*. 59,
- Makhloufi, C., Kerkvliet, J. D., D'Albore, G.R., Choukri, A., & Samar, R. (2010).** Characterization of Algerian honeys by palynological and physico-chemical methods. *Apidologie*, 41(5), 509–521.
- Marchenay, P., & Bernard, L. (2007).** L'homme, l'abeille et le miel. Paris, De Borée. 223-225.
- Mau, J., Tsai, S., Tseng, Y., & Huang, S. (2005).** Antioxidant properties of methanolic
- Mcanalley S, Koepke C M, LE L, Vennum E, Mcanalley R et Mcanalley B. (2003).** *In Vitro* methods for testing antioxidant potential: A Review. *GlycoSci. Nut.* 4(2), 1-9.
- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005).** Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571–577.
- method of *Areca catechu* seed. *African Journal of Biotechnology*, 9(46), 7831–7836.

- Moniruzzaman, M., Sulaiman, S., Khalil, M., & Gan, S. (2013).** Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys: A comparison with manuka honey. *Chemistry Central Journal*, 7, 1-138.
- Mouhoubi-Tafinine, Z., Ouchemoukh S., Bachirbey M., Louaileche, H. & Tamendjari, A. (2018).** Effect of storage on hydroxymethylfurfural (HMF) and color of some Algerian honey. *International Food Research Journal*, 25(3), 1044-1050.
- N. (1999).** Membrane stabilizing activity a possible mechanism of action for the anti-inflammatory activity of *Cedrus deodarata* wood oil. *Fitoterapia*, 70, 251-257.
- Nafea, E.A., Zidan, E.W., Asmaa, M.F., & Sehata, I.A.A. (2013).** Determination of organic acids in Saudian Bee honey types. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 5(2), 117-120.
- Nair, S., Meddah, B., & Aoues, A. (2013).** Melissopalynological Characterization of North Algerian Honeys. *Foods*, 2(1), 83–89.
- Naithani, V., Nair, S., & Kakkar, P. (2006).** Decline in antioxidant capacity of Indian herbal teas during storage and its relation to phenolic content. *Food Research International*, 39(2), 176–181.
- Nazarian, H., Taghavizad, R., & Majd, A. (2010).** Origin of honey proteins and method for its quality control. *Pakistan Journal of Botany*, 42(5), 3221-3228.
- Oroian, M., & Ropciuc, S. (2017).** Honey authentication based on physicochemical parameters and phenolic compounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 148–156.
- Otmani, A. (2021).** Paramètres physicochimiques, profils polliniques et phénoliques et propriétés antioxydantes, antibactériennes, anti-inflammatoires et inhibitrices d'enzymes de miels d'Algérie. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Biochimie Appliquée et Biotechnologies.
- Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Mouhoubi-Tafinine, Z., Tighlit, k., Redouan, I., Terrab, A., & Ouchemoukh, S. (2022).** Contribution of organic bee pollen to the determination of botanical origin of honey and its impact on its biological properties. *Current Bioactive Compounds*, 18(5).66-77.
- Ouchemoukh, S. (2012).** Caractérisation physicochimique, profils polliniques, glucidiques et phénoliques et activités antioxydantes de miels Algériens. Thèse Doctorat en Biochimie. Université Abderrahmane Mira-Bejaia, p. 162.

- Ouchemoukh, S., Amessis-Ouchemoukh, N., Gómez-Romero, M., Aboud, F., Giuseppe, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2017).** Characterisation of phenolic compounds in Algerian honeys by RP-HPLC coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 460–469.
- Ouchemoukh, S., Louaileche, H., & Schweitzer, P. (2007).** Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. *Food Control*, 18(1), 52–58.
- Özcan, M. M., & Al Juhaimi, F. (2016).** Honey as source of natural antioxidants. *Journal of Apicultural Research*, 54(3), 145–154.
- Pauliuc, D., Dranca, F., & Oroian, M. (2020).** Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Foods*, 9(3), 1–22.
- phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *African Journal of*
- Pita-Calvo, C., & Vázquez, M. (2017).** Differences between honeydew and blossom honeys: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 79–87.
- Rao, P. V., Krishnan, K. T., Salleh, N., & Gan, S. H. (2016).** Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: a comparative review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26(5), 657–664.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *free radical biology & medicine*, 26 (9), 1231–1237.
- Ribeiro, R. de O. R., Mársico, E. T., Carneiro, C. da S., Monteiro, M. L. G., Conte Júnior, C. A., Mano, S., & de Jesus, E. F. O. (2014).** Classification of Brazilian honeys by physical and chemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF 1H NMR). *LWT- Food Science and Technology*, 55(1), 90–95.
- Rodriguez-Flores, M.S. Escuredo, O. & Carmen-Seijo, M. (2015).** Assessment of physicochemical and antioxidant characteristics of *Quercus pyrenaica* honeydew honeys. *Food Chemistry*, 166: 101–106.
- Rossant A. (2011).** Le miel, un composé complexe aux propriétés surprenante. Thèse de Doctorat en Pharmacie. *Université de Limoges*, p 136.
- Sagdic, O., Silici, S., & Ekici, L. (2013).** Evaluation of the phenolic content, antiradical, antioxidant, and antimicrobial activity of different floral sources of honey. *International Journal of Food Properties*, 16(3), 658–666.

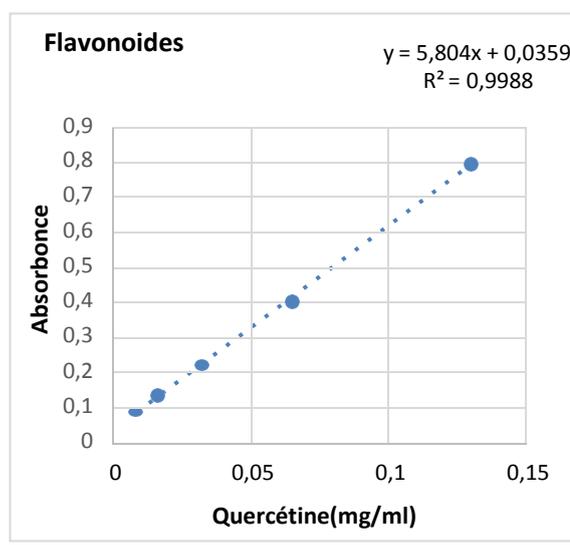
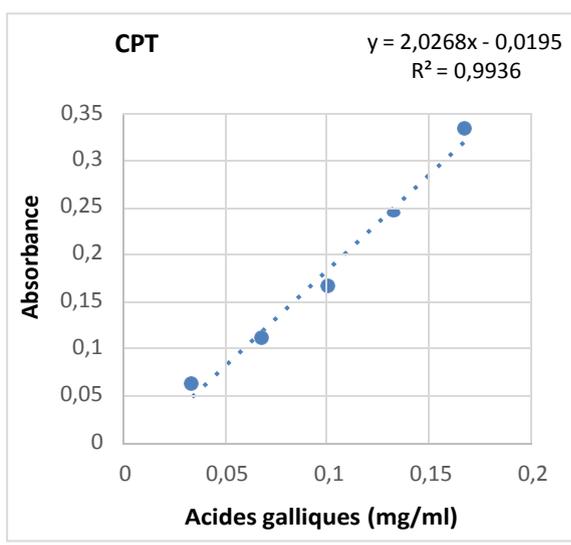
- Sajid, M., Yamin, M., Asad, F., Yaqub, S., Ahmad, S., Mubarik, M. A. M. S., Ahmad, B., Ahmad, W., & Qamer, S. (2020).** Comparative study of physio-chemical analysis of fresh and branded honeys from Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(1), 173–176.
- Sakač, M. B., Jovanov, P. T., Marić, A. Z., Pezo, L. L., Kevrešan, Ž. S., Novaković, A. R., & Nedeljković, N. M. (2019).** Physicochemical properties and mineral content of honey samples from Vojvodina (Republic of Serbia). *Food Chemistry*, 276, 15–21.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., & Toth-Markus, M. (2005).** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8-9), 1023–1029.
- Serrano, S., Espejo, R., Villarejo, M. & Jodral, M. L. (2007).** Diastase and invertase activities in Andalusian honeys. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 76-79.
- Sesta, G., Piana, M.L., Oddo, L.P., Lusco, L. & Belligoli, P. (2008).** Methyl anthranilate in citrus honey. Analytical method and suitability as a chemical marker. *Apidologie*, 39, 344-342.
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd. Razak, S.-B., Jambari, N.N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019).** Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 239–264.
- Shinde, U. A., Phadke, A. S., Nair, A. M., Mungantiwar, A. A., Dikshit, V. J., & Saraf, M. (2014).** Physicochemical parameters and sensory properties of honeys from Buenos Aires region. *Food Chemistry*, 152, 500–507.
- Sousa, J. M., de Souza, E. L., Marques, G., Meireles, B., de Magalhães Cordeiro, Â. T., Gullón, B., & Magnani, M. (2016).** Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honeys produced by Meliponini in the Brazilian semiarid region. *Food Research International*, 84, 61–68.
- Stankovic, M., Nikcević, M., Radotić, K. (2020).** Annual variation of proteins and phenols in honey of a Bee society using fluorescence spectroscopy: A way to assess effects of antivarroa treatments on honey composition. *Food Research Technology*, 246, 1515–1518.
- Wang, H., Gao, X., Zhou, G., Cai, L., & Yao, W. (2008).** *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of aqueous extract from *Choerospondias axillaris* fruit. *Food Chemistry*, 106(3), 888–895.
- Wong, S. P., Leong, L. P., & William Koh, J. H. (2006).** Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry*, 99, 775-783.

Yucel, Y. & Sultanoglu, P. (2013). Characterisation of honeys from Hatay Region by their physicochemical properties combined with chemometrics. *Food Bioscience*, 16-25.

Zaidi, H., Ouchemoukh, S., Amessis-Ouchemoukh, N., Debbache, N., Pacheco, R., Serralheiro, M. L., & Araujo, M. E. (2019). Biological properties of phenolic compound extracts in selected Algerian honeys — The inhibition of acetylcholinesterase and α -glucosidase activities. *European Journal of Integrative Medicine*, 25, 77–84.

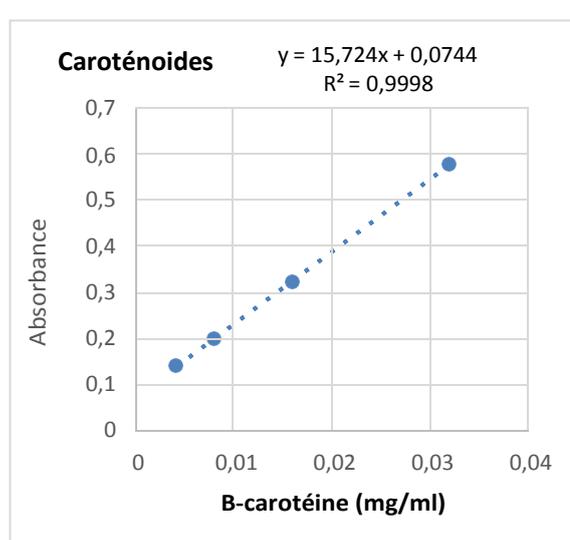
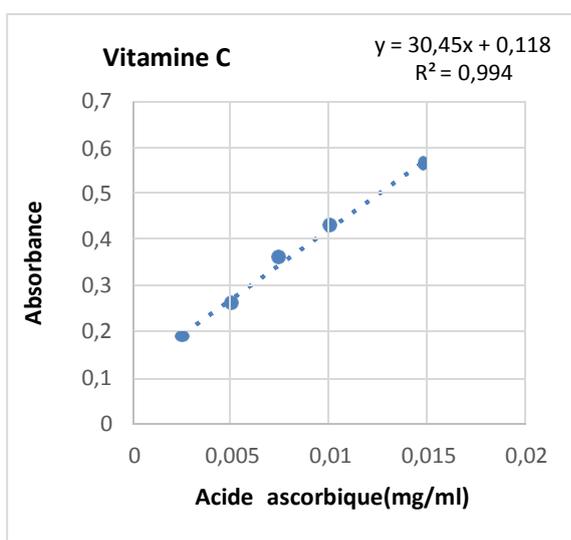
Zerrouk, S., Seijo, M. C., Boughediri, L., Escuredo, O., & Rodriguez-Flores, M. S. (2014). Palynological characterization of Algerian honeys according to their geographical and botanical origin. *Grana*, 53(2), 147-158.

Annexe 1



**Courbe d'étalonnage des composés
phénoliques totaux**

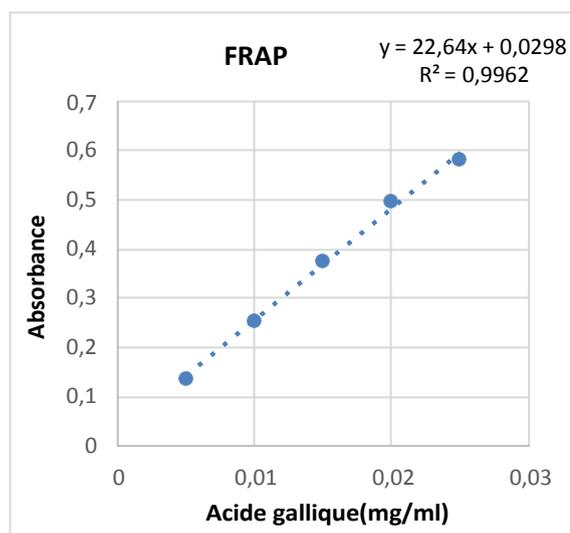
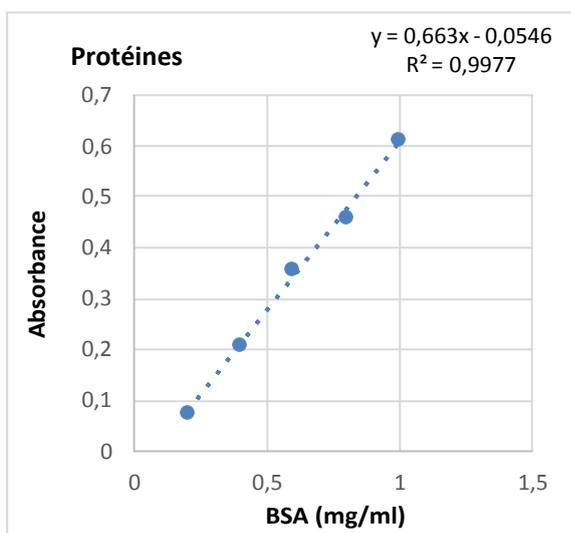
Courbe d'étalonnage des flavonoïdes



Courbe d'étalonnage de la vitamine C

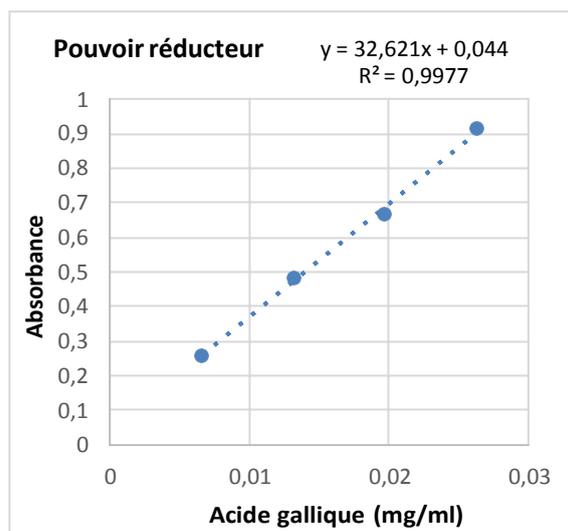
Courbe d'étalonnage des caroténoïdes

Annexe 2



Courbe d'étalonnage de protéines

Courbe d'étalonnage de FRAP



Courbe d'étalonnage de pouvoir réducteur

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de comparer les miels locaux et importés, leurs paramètres physico-chimique (humidité, pH, conductivité électrique, couleur, HMF, et proline), leurs activités antioxydant, anti-hémolytique et la teneur en composés bioactifs. L'étude pollinique a montré que parmi les quatre miels locaux y'a deux miels sont d'origine mono-floraux avec deux pollens dominants (*Fagaceae* et *Fabaceae*) tandis que les miels d'importation sont poly-floraux. Cette étude comparative est établie en se basant sur 19 paramètres physico-chimiques. Tous les tests effectués montrent que la majorité des miels étudiés sont conformes aux normes internationales. D'après les résultats obtenus les miels locaux M3 et M1 possèdent des teneurs en composés phénoliques totaux, très élevée varient de 102,87 à 352,03 mg EAG/100g, des flavonoïdes 111,48 à 218,78 mg EQ/100g, des protéines 84,95 à 121,75 mg EBSA/100g, des caroténoïdes 0,53 à 9,42 mg EBC/100g à l'exception de miel 7 qui possède des teneurs comparables aux miels locaux (M3, M1), avec des valeurs de 345,13 mg EAG/100g, 261,2 mg EQ/100g et 1,06 mg EBC/100g, respectivement. Le miel M3 enregistre la meilleure activité antioxydante qui a été montrée par les deux méthodes DPPH et ABTS. Le miel M3 montre également le meilleur pourcentage d'inhibition d'hémolyse 76,28 %. L'analyse statistique a révélé une corrélation entre composants antioxydants et ses activités biologiques.

Mots clés :

Miels locaux, Miels d'importation, Analyses polliniques, paramètres physicochimiques, antioxydants, activités

Summary

The main objective of this work is to compare local and imported honeys, their physico-chemical parameters (humidity, pH, electrical conductivity, color, HMF, and proline), their antioxidant, anti-hemolytic activities and the content of bioactive compounds. The pollen study showed that among the four local honeys there are two honeys of mono-floral origin with two dominant pollens (*Fagaceae* and *Fabaceae*) while the imported honeys are poly-floral. This comparative study is established on the basis of 19 physico-chemical parameters. All the tests carried out show that the majority of the honeys studied comply with international standards. According to the results obtained, local honeys M3 and M1 have very high levels of total phenolic compounds ranging from 102.87 to 352.03 mg AGE/100g, flavonoids 111.48 to 218.78 mg QE/100g, proteins 84.95 to 121.75 mg BSAE/100g, carotenoids 0.53 to 9.42 mg BCE/100g with the exception of honey 7 which has levels comparable to local honeys (M3, M1), with values of 345.13 mg EAG/100g, 261.2 mg QE/100g and 1.06 mg BCE/100g, respectively. M3 honey records the best antioxidant activity which was shown by both DPPH and ABTS methods. M3 honey also shows the best percentage of hemolysis inhibition 76.28 %. Statistical analysis revealed a correlation between antioxidant components and its biological activities.

Key words :

Local honeys, imported honeys, pollen analyses, physicochemical parameters, antioxidants, antioxidant activities,

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو مقارنة أنواع العسل المحلي والمسنوردة، ومعاييرها الفيزيائية والكيميائية (الرطوبة، ودرجة الحموضة، والنوصيل ريول، واللون، والمواد المضادة للأكسدة، والمضادة للزحاح، ومحتوى البروتينات، والمواد المضادة للأكسدة، و HMF الكهربائي، واللون، و *Fagaceae*) حبوب اللقاح أنه من بين أنواع العسل المحلية الأربعة، يوجد عسلان من أصل الأزهار الأحادية مع اثنين من حبوب اللقاح السائدة العسل المسنوردة من عدد الأزهار. تم إجراء هذه الدراسة المقارنة على أساس 19 معياراً فيزيائياً وكيميائياً. أظهرت جميع عينات العسل (M3 و *Fabaceae*) أن غالبية العسل المحروس يتوافق مع المعايير الدولية. وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، فإن عسل M3 و M1 يمتلكان مستويات عالية جداً من المركبات الفينولية تتراوح من 102.87 إلى 352.03 mg EAG/100g، الفلافونويدات 111.48 إلى 218.78 mg EQ/100g، بروتينات 84.95 إلى 121.75 mg EBSA/100g، وبيتا كاروتينات 0.53 إلى 9.42 mg EBC/100g، مع استثناء للعسل 7 الذي يمتلك مستويات قابلة للمقارنة مع العسل المحلي (M3، M1)، مع قيم 345.13 mg EAG/100g، 261.2 mg EQ/100g و 1.06 mg EBC/100g، على التوالي. سجل عسل M3 أعلى نشاط مضاد للأكسدة والذي تم عرضه بواسطة كل من طرق DPPH و ABTS. عسل M3 يظهر أيضاً أفضل نسبة من تثبيط انحلال الدم 76.28%. كشفت التحليل الإحصائي عن وجود علاقة ارتباطية بين مستويات مضادات الأكسدة M3 وأنشطتها البيولوجية.

الكلمات الدالة

العسل المحلي، العسل المسنوردة، تحليلات حبوب اللقاح، المعايير الفيزيائية والكيميائية، مضادات الأكسدة، الأنشطة المضادة للأكسدة،