

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
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie Appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Profils polliniques, paramètres physico-chimiques,
activités antioxydante et anti-inflammatoire *in vitro*
des miels et effet anti-brunissement de miels sur la
pomme**

Présenté par :

M^{elle} SAIDI Hakima & M^{elle} SAIMI Meriem

Soutenu le : 14 / 07 / 2022

Devant le jury composé de :

M ^{me} Aoudia H.	MCB	Présidente
M ^r Ouchemoukh S.	Professeur	Encadreur
M ^{me} Benloukil S.	MAA	Examinatrice
M ^{lle} Guenaoui N.	Doctorante	Invitée

Année universitaire : 2021 / 2022

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
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie Appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Profils polliniques, paramètres physico-chimiques,
activités antioxydante et anti-inflammatoire *in vitro*
des miels et effet anti-brunissement de miels sur la
pomme**

Présenté par :

M^{elle} SAIDI Hakima & M^{elle} SAIMI Meriem

Soutenu le : 14 / 07 / 2022

Devant le jury composé de :

M ^{me} Aoudia H.	MCB	Présidente
M ^r Ouchemoukh S.	Professeur	Encadreur
M ^{me} Benloukil S.	MAA	Examinatrice
M ^{lle} Guenaoui N.	Doctorante	Invitée

Année universitaire : 2021 / 2022

Remerciements

Louange à Dieu, le tout miséricordieux, le très miséricordieux de nous avoir aidé et nous donner la santé, la patience et la puissance pour réaliser ce mémoire.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre promoteur, le Professeur OUCHEMOUKH Salim pour avoir proposé ce thème, de nous avoir guidés et supervisés durant ces quelques mois, pour ses précieux conseils et orientations et surtout sa grande disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici le témoignage de notre grand respect.

Nos remerciements s'adressent également à notre Co-promotrice M^{elle} GUENAOUI Nawel de nous avoir consacré son temps durant ces mois de pratique, pour les efforts qu'elle avait consenti avec beaucoup de sympathie et de patience, pour sa gentillesse, son expérience et sa disponibilité. Qu'elle trouve ici l'expression de nos plus profondes reconnaissances.

Nous tenons également à remercier tous les membres du jury M^{me} AOUDIA Hassiba et M^{me} BENLOUKIL Malika de l'université de Bejaia pour avoir accepté de juger ce travail. Recevez ici nos immenses gratitudee.

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers :

À ma chère **mère** qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tous son amour depuis mon enfance. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés et le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse dieu vous accordez la santé, le bonheur et une longue vie.

À la Mémoire de mon **père** qui nous a quittés voilà dix-sept ans, que dieu l'accueille à son vaste paradis.

À mon **fiancé** que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu depuis ma première année universitaire.

À ma **belle-sœur** qui m'a soutenu et qui m'a encouragé tout le long de mon parcours d'études.

À mes **frères (ABDALLAH, YANIS, HAMID et TAHAR)** et **sœurs (ALDJA et NOUARA)** que j'aime beaucoup.

À ma **famille** et ma **belle-famille** que j'aime beaucoup.

À ma chère collègue **MERIEM** que je remercie dieu qui nous a fait rencontrer depuis ma première année universitaire. Merci pour ton grand cœur et ton soutien plus que précieux. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ta présence et ton amour.

HAKIMA

Dédicaces

C'est avec honneur que je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont tout donnés sans rien en retour ; mes chers parents **ZOUBIR** dit **KAMEL** et **YASMINA**, qu'ils trouvent ici mes profondes reconnaissances pour leur amour, patience, soutien et leurs encouragements tout au long de ma vie.

À la mémoire de ma chère **Khalti DIDA** qui m'a recueillis par son amour depuis mon enfance, que dieu la garde dans son vaste paradis.

À mes chers frères bien aimé **MOHAMED ISLEM** et **MOUSLIM** pour l'amour qu'ils me réservent.

À mon unique et adorable sœur **KHADIDJA** qui m'a toujours soutenu et à qui je souhaite plus de succès.

À ma famille et cousines **ROMAISSA, CHAIMA, AYA** et **RAHMA**.

À ma meilleure amie **REKIA**, celle qui est loin des yeux mais près du cœur.

À **HAKIMA** ma chère amie avant d'être ma collègue dans la réalisation de ce mémoire à laquelle je souhaite une vie pleine de bonheur et de succès, merci d'être présente dans ma vie et de partager avec moi des souvenirs inoubliables.

MERIEM

Sommaire

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Partie bibliographique

Chapitre I. Le miel : définition et composition chimique

I.1. Définition	2
I.2. Composition chimique du miel	2
I.2.1 Glucides.....	2
I.2.2. Eau.....	2
I.2.3. Acides aminés et protéines.....	3
I.2.4. Enzymes.....	3
I.2.5. Acides organiques.....	3
I.2.6. Minéraux.....	3
I.2.7. Vitamines.....	4
I.2.8. Caroténoïdes.....	4
I.2.9. Composés phénoliques.....	4
I.2.9.1. Acides phénoliques.....	4
I.2.9.2. Flavonoïdes.....	5
I.2.10. Pollen.....	6
I.2.10.1. Définition et composition chimique.....	6
I.2.10.2. Analyses polliniques.....	6

Chapitre II. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés biologiques du miel

I. Caractéristiques physico-chimiques	8
I.1. Indice de réfraction et humidité.....	8
I.2. Conductivité électrique.....	8
I.3. pH.....	8
I.4. Couleur.....	8
I.5. Hydroxyméthylfurfural (HMF).....	9
I.6. Proline.....	9
II. Propriétés biologiques	9
II.1. Activité antioxydante.....	9
II.1.1. Stress oxydatif.....	9

II.1.2. Radicaux libres.....	9
II.1.3. Activité antioxydante du miel.....	10
II.2. Activité anti-inflammatoire.....	10
II.2.1. Inflammation.....	10
II.2.2. Mécanisme d'action de l'activité anti-inflammatoire du miel.....	11
II.3. Activité anti-brunissement enzymatique.....	11
II.3.1. Brunissement enzymatique.....	11
II.3.2. Activité anti-brunissement enzymatique du miel.....	12

Partie expérimentale

Partie I. Matériel et méthodes

I.1. Echantillons.....	13
I.2. Analyses polliniques.....	14
I.3. Analyses physico-chimiques.....	14
I.3.1. Indice de réfraction, teneur en eau et brix.....	14
I.3.2. Mesure de pH.....	15
I.3.3. Conductivité électrique.....	15
I.3.4. Couleur.....	15
I.3.5. Dosage de l'hydroxyméthylfurfural (HMF).....	16
I.3.6. Dosage de la proline.....	16
I.3.7. Dosage des protéines.....	17
I.4. Dosage des antioxydants.....	17
I.4.1. Polyphénols.....	17
I.4.2. Flavonoïdes.....	18
I.5. Activité antioxydante.....	18
I.5.1. Activité anti-radicalaire.....	18
I.5.1.1. Test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).....	18
I.5.1.2. Test de l'ABTS (Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).....	19
I.5.2. Pouvoir réducteur.....	19
I.5.3. Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power).....	19
I.5.4. Test à la ferrozine.....	20
I.5.5. Test CUPRAC (Cupric reducing antioxidant capacity).....	20
I.5.6. Test au phosphomolybdate.....	21
I.6. Activité anti-inflammatoire.....	21
I.7. Activité inhibitrice du brunissement enzymatique.....	22
I.8. Analyses statistiques.....	22

Partie II. Résultats et discussion

I. Analyses polliniques	23
II. Analyses physico-chimiques	26
II.1. Brix	26
II.2. Humidité.....	27
II.3. pH	28
II.4. Conductivité électrique	28
II.5. Couleur.....	29
II.6. Teneur en HMF.....	31
II.7. Teneur en proline.....	31
II.8. Teneur en protéines.....	32
III. Taux des antioxydants du miel	34
III.1. Polyphénols.....	34
III.2. Flavonoïdes.....	35
IV. Activité antioxydante du miel	36
IV.1. Activité anti-radicalaire par le DPPH.....	36
IV.2. Activité anti-radicalaire par l'ABTS.....	37
IV.3. Pouvoir réducteur.....	38
IV.4. Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power).....	38
IV.5. Test à la ferrozine.....	39
IV.6. Test CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity Assay).....	40
IV.7. Test de réduction au Phosphomolybdate.....	41
V. Activité anti-inflammatoire du miel	42
VI. Activité anti-brunissement enzymatique du miel	44
VII. Corrélations	48
VII.1. Corrélations entre les paramètres physicochimique, les antioxydants et l'activité antioxydante.....	48
VII.2. Corrélations entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-inflammatoire.....	49
VII.4. Corrélations entre les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique	52
VIII. ACP des paramètres physicochimiques, antioxydants, activités antioxydante et anti-inflammatoire	54
Conclusion	56
Références bibliographiques	57
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Structure chimique des différents acides phénoliques du miel.	5
2	Structure chimiques de quelques flavonoïdes du miel.	5
3	Photos de grains de pollen présents dans le miel fourni par CETAM (Centre d'Études Techniques Apicoles de Moselle, France).	7
4	Photographies des miels analysés.	13
5	Photographie des pommes analysées.	14
6	Réduction du complexe néocuproïne/cuivre (II).	20
7	Photographies de quelques grains de pollen des miels analysés.	25
8	Brix des miels analysés.	26
9	Humidité des miels analysés.	27
10	pH des miels analysés.	28
11	Conductivité électrique des échantillons de miels.	29
12	Couleur des miels analysés.	30
13	Teneur en HMF des miels analysés.	31
14	Teneur en proline des miels analysés.	32
15	Teneur en protéine des miels analysés.	33
16	Teneur en polyphénols des miels analysés.	34
17	Teneur en flavonoïdes des miels analysés.	35
18	Pourcentage de réduction du radical DPPH par les miels analysés.	36
19	Pourcentage de réduction du radical ABTS par les miels analysés.	37
20	Pouvoir réducteur des miels analysés.	38
21	Test FRAP des miels analysés.	39
22	Test à la ferrozine des miels analysés.	40
23	Test CUPRAC des miels analysés.	41
24	Réduction du phosphomolybdate par les miels analysés.	42
25	Unité de brunissement des tranches de pommes traitées par des solutions de miels (10 %) à 30 °C.	44
26	Unité de brunissement des tranches de pommes traitées par des solutions de miels (10 %) à 4 °C.	45
27	Photographie de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 à 30 et 4 °C.	46

N°	Titre	Page
28	Photographie de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 à 30 et 4 °C.	47
29	Cercle de corrélation des paramètres physicochimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-inflammatoire des échantillons de miels analysés.	55
30	ACP des paramètres physicochimiques, teneur en composés antioxydants et activités biologiques des miels analysés.	55

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Caractéristiques des échantillons de miels analysés.	13
II	Spectres polliniques et pourcentages de pollens des miels analysés.	24
III	Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de BSA par les échantillons de miels.	43
IV	Matrice de corrélations entre les paramètres physicochimiques, les antioxydants et l'activité antioxydante.	50
V	Matrice de corrélation entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-inflammatoire.	51
VI	Matrice de corrélation entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique.	53

Liste des abréviations

Liste des abréviations

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

ACP : Analyse en composantes principales

ANOVA : Analysis of one variance

BSA : Bovine Serum Albumin

CUPRAC : Cupric reducing antioxidant capacity

DO : Densité Optique

DPPH : 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl

ERO : Espèce réactive de l'oxygène

FRAP : Ferric Reducing Antioxydant Power

HMF : Hydroxyméthyl furfural

IL : Interleukine

iNOS : inducible Nitric Oxide Synthase

IR : Indice de réfraction

PPO : Polyphénol oxydase

ROS : Reactive Oxygen Species

TCA : Trichloroacetic acid

TNF- α : Tumor Necrosis Factor alpha

TPTZ : 2,4,6-tripyridyl-1,3,5-s-triazine

Tris-HCl : 2-amino-2hydroxyméthylpropane-1,3-diol

UB : Unité de brunissement

X : Rayon X

γ : Rayon gamma

Introduction

Introduction

Le miel est un aliment naturel produit par l'abeille *Apis mellifera*. Il était utilisé comme édulcorant avant l'apparition de la canne à sucre et de la betterave (**Ouchemoukh, 2012 ; Da Silva et al., 2016**).

Le miel est composé essentiellement d'eau (17 %) et de glucides (80 %) ainsi que de composés mineurs comme les minéraux, les vitamines, les caroténoïdes, les acides organiques, les protéines, les pollens,... Il représente une source naturelle d'antioxydants tels que les acides phénoliques et les flavonoïdes responsables de ses propriétés biologiques (antioxydante, anti-inflammatoire, antimicrobienne,...) (**Nguyen et al., 2018 ; Biluca et al., 2020**). En outre, d'après les recherches faites par **Oszmianski et Lee (1990)** et **Chen et al. (2000)**, le miel possède un pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique provoqué par la PPO (polyphénol oxydase) sur les tranches de pommes. Ce pouvoir dépend essentiellement du type de miel et de sa teneur en composés antioxydants.

L'Algérie est un pays vaste ayant une flore très diversifiée permettant une production qualitative et quantitative du miel (**Ouchemoukh, 2012**). Selon **ITEV (2020)**, la production du miel est en moyenne de 74 420 quintaux/an avec une croissance de 85 % enregistrée ces dix dernières années. En 2019, l'Algérie a contribué de 0,3 % à la production mondiale du miel. Ces pourcentages restent faibles malgré ses capacités naturelles très variées qui pourraient développer la production nationale et d'éviter les importations de cet aliment (**FAOSTAT, 2019**). Afin de diminuer les risques de fraude et de préserver la qualité des miels, la commission internationale du miel a établi certaines normes de paramètres physicochimiques tels que l'humidité, le pH, la conductivité électrique ainsi que le taux d'HMF (hydroxyméthylfurfural) et de proline (**Bogdanove et al., 1997**).

Il y a beaucoup de miels importés qui se vendent à des prix bas dans les grandes surfaces. Ont-ils une composition chimique et des propriétés biologiques semblables à celles des miels locaux ? C'est dans ce contexte que ce travail est réalisé afin d'établir une comparaison entre les miels locaux et ceux importés du point de vue paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants et activités antioxydante et anti-inflammatoire. En outre, il s'intéresse à évaluer l'efficacité d'anti-brunissement enzymatique des miels locaux sur les tranches de pomme. La présente étude s'articule autour de trois grandes parties :

- La première partie synthétise les différentes connaissances bibliographiques sur le miel, sa composition et ses propriétés physicochimiques et biologiques (activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique).
- La seconde partie illustre le matériel et les méthodes utilisées pour réaliser cette étude.
- La troisième partie présente la discussion des résultats obtenus avec une conclusion.

Partie bibliographique

Chapitre I

Le miel : définition et composition chimique

Chapitre I. Le miel : définition et composition chimique

I.1. Définition

Selon le **Codex alimentaire (2001)** et le journal officiel de la **Commission Européenne (2002)**, le miel est défini comme une substance sucrée produite par les abeilles mellifiques à partir du nectar des fleurs ou des sécrétions provenant des parties vivantes de plantes ou d'insectes laissés sur celles-ci, que les abeilles butinent, transforment et combinent avec des matières spécifiques qu'elles sécrètent et emmagasinent dans les rayons de la ruche.

Le nectar des fleurs et le miellat, qui est l'excrétion des insectes suceurs sur des plantes, sont les matières premières butinées par l'abeille pour l'élaboration du miel (**Ricordel et Bonmatin, 2003 ; Bonté et Desmoulière, 2013**).

I.2. Composition chimique du miel

I.2.1. Glucides

Les glucides représentent la plus grande proportion (95 %) de la matière sèche du miel et sont à l'origine de son haut pouvoir calorifique (320 calories / 100 g) (**Ouchemoukh, 2012**). Un taux de 75 % de ces sucres sont des monosaccharides avec la dominance de fructose (38 %) et de glucose (31 %) qui résultent de l'action de l'invertase sur le saccharose (**Meda et al., 2005 ; Missio da silva et al., 2016**).

De nombreux autres sucres sont également présents dans le miel avec des faibles quantités qui sont représentés par les disaccharides dont principalement le maltose (7,5 %) et le saccharose (1,5 %). Cependant, les tris et polysaccharides sont présents à l'état de trace dans ce produit de la ruche (erlose, raffinose, mélézitose, mélibiose,...) (**Lazaridou et al., 2004 ; Pita- Calvo et Vazquez, 2017**).

I.2.2. Eau

La teneur en eau est l'une des caractéristiques les plus importantes des miels. Elle est comprise entre 13 et 20 %. Cette teneur conditionne la conservation et la cristallisation du miel (**Bogdanov et al., 2004 ; Terra et al., 2002**). L'humidité du miel dépend essentiellement de son degré de maturité et de ses origines botanique et géographique (**Galhardo et al., 2020**). Elle peut affecter ses propriétés physiques (viscosité et cristallisation) et favoriser sa fermentation sous l'action des micro-organismes (**Codex alimentaire, 2001**).

I.2.3. Acides aminés et protéines

Les protéines sont présentes en quantité infime dans le miel. Il s'agit essentiellement de peptones, d'albumines et de globulines qui proviennent du nectar, du miellat, du pollen et des sécrétions d'abeilles (**Bogdanov et al., 2004 ; Desmoulière et Bonté, 2013**). Le miel possède divers acides aminés libres tels que l'aspartate, le glutamate, l'alanine, l'arginine, l'asparagine, la glycine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la sérine, le tryptophane, la tyrosine, la valine et la proline. Ce dernier est un indicateur de l'authenticité du miel qui représente 50 % des acides aminés (**Bogdanov et al., 1999 ; Meda et al., 2005**).

I.2.4. Enzymes

Les enzymes du miel ont deux origines, animale (sécrétions salivaires des abeilles) et végétale (nectar et/ou miellat). Parmi les enzymes, l'invertase est responsable de la scission du saccharose en fructose et en glucose, l'amylase (ou diastase) assure la dégradation de l'amidon en dextrine puis en maltose (**Blanc, 2010**). Egalement, il en existe la catalase, la phosphatase et la glucose oxydase (**Serrano et al., 2007**).

I.2.5. Acides organiques

Le miel contient des acides organiques (0,57 à 1,5 %) provenant des nectars des fleurs ou des miellats. Il existe une vingtaine d'acides organiques dans le miel tels que les acides acétique, benzoïque, citrique, glucuronique, lactique, tartrique, malique, oxalique, butyrique, propénoïque, pyroglutamique et gluconique (**Nafea et al., 2013**). L'acide citrique peut être utilisé pour différencier entre les miels de nectar et de miellat. Sa teneur dans les miels de miellat est remarquablement supérieure à celle des miels de nectar (**Keke et Cinkmanis, 2019**).

I.2.6. Minéraux

Le miel est un aliment qui apporte de nombreux oligo-éléments indispensables à la santé humaine. Il présente des concentrations variables en matières minérales mais elles sont plus abondantes dans les miels foncés (**Hoyet, 2005**). Les sels de potassium représentent près de la moitié des minéraux mais il y a également du calcium, sodium, magnésium, cuivre, manganèse, chlore, soufre, silicium, fer, ... Leur teneur dépend des plantes visitées par les abeilles ainsi que du type de sol sur lequel elles poussent (**Rossant, 2011**). Bien que le miel est considéré comme un produit relativement propre mais il peut contenir des polluants présents en très faible quantité comme le plomb et le cadmium (**Rossant, 2011**).

I.2.7. Vitamines

Le miel est relativement pauvre en vitamines si on le compare à d'autres aliments. On y trouve essentiellement les vitamines du groupe B provenant des grains de pollen en suspension dans le miel : thiamine B1, riboflavine B2, l'acide nicotinique B3, l'acide pantothénique B5, pyridoxine B6 et l'acide folique B9. Il existe également de la vitamine C provenant du nectar des menthes (**Rossant, 2011**).

I.2.8. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments lipophiles synthétisés par les plantes et ils participent à la coloration du miel. Ils possèdent une activité antioxydante très importante en piégeant notamment l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) (**Agarwal et Rao, 2000**) et en protégeant contre les radiations UV par l'absorption de l'énergie des radiations solaires (**Stahl et Sies, 2004**). Les principaux caroténoïdes du miel sont l' α -carotène, le β -carotène, la zéaxanthine, la lutéine et le lycopène (**Ouchemoukh, 2012**).

I.2.9. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires spécifiques du règne végétal. Ces substances sont impliquées dans la qualité organoleptique du miel et elles assurent plusieurs activités biologiques (antioxydantes, anti-inflammatoires,...). Les activités sont attribuées à la capacité de ces composés à réduire les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles et le super-oxyde (**Ouchemoukh et al., 2017 ; Nkhili, 2009**). La teneur des composés phénoliques dans le miel dépend de l'origine botanique du nectar butiné par les abeilles et leur concentration varie de 5 à 1300 mg/kg (**Oroian et Ropciuc, 2017 ; Issaad et al., 2018**). Parmi les polyphénols retrouvés dans le miel, il y a les acides phénoliques et les flavonoïdes.

I.2.9.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un groupement hydroxyle (**Pandey et Rizvi, 2009**). Deux sous-groupes peuvent être distingués : les acides hydroxy-benzoïques tels que l'acide salicylique et les acides hydroxy-cinnamiques comme l'acide caféique (**Bruneton, 2008**). Ces composés possèdent des propriétés antibactérienne, antifongique et antioxydante. Les acides caféique, abscissique, syringique, benzoïque, vanillique et gallique sont identifiés dans le miel (**Tahir et al., 2017**). La figure 01 montre la structure chimique de quelques acides phénoliques.

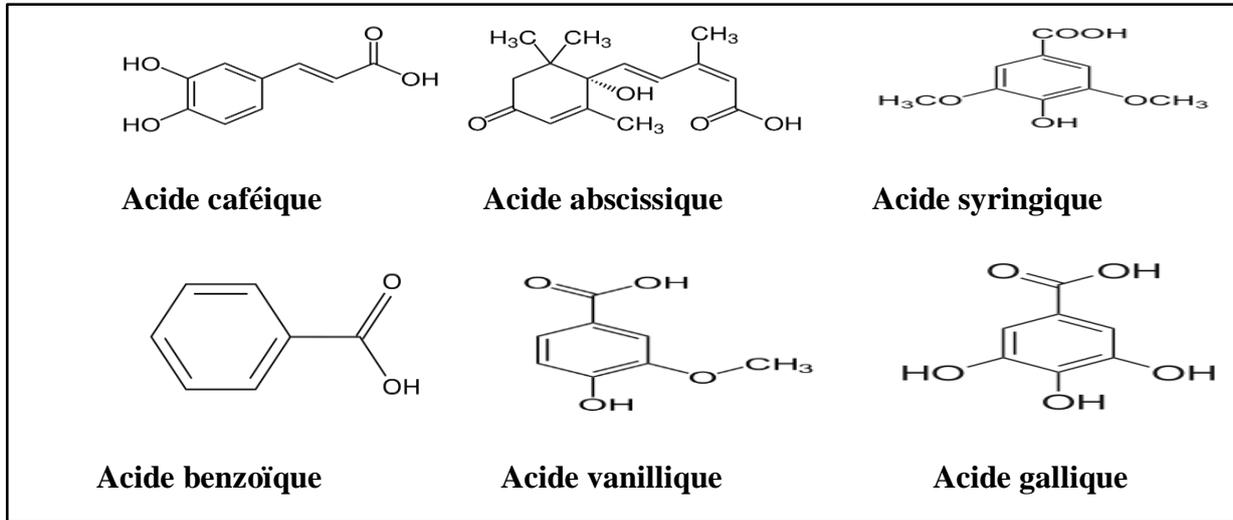


Figure 01 : Structure chimique des différents acides phénoliques du miel (**Ribereau-Gayon, 1968**).

I.2.9.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments largement distribués dans le règne végétal et ils contribuent à la coloration du miel. Ils possèdent des propriétés antioxydantes très intéressantes car ils participent à la neutralisation des radicaux libres de l'organisme. La quantité et le type de flavonoïde varient selon la source florale. En règle générale, plus les miels sont foncés (comme ceux issus du tournesol et de miellat), plus ils sont riches en flavonoïdes (**Rossant, 2011**). Parmi les flavonoïdes identifiés dans le miel, il y a la catéchine, la quercétine, la chrysrine, la galangine, le kaempférol et l'apigénine (**Tahir et al., 2017**). La figure 02 illustre la structure chimique de quelques flavonoïdes.

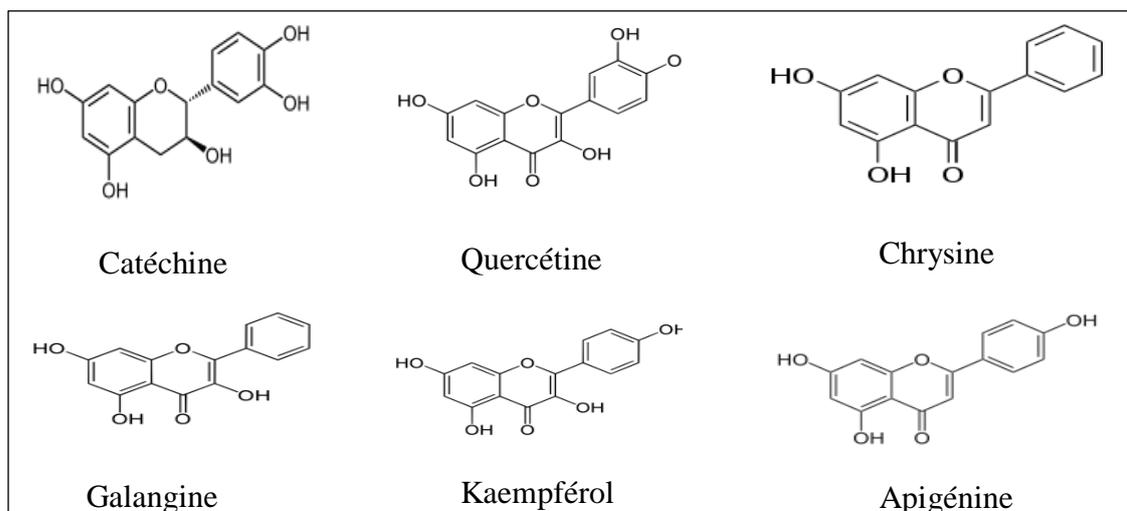


Figure 02 : Structure chimique de quelques flavonoïdes du miel (**Robards et al., 1999**).

I.2.10. Pollen

I.2.10.1. Définition et composition chimique

Le pollen constitue chez les plantes à graine l'élément fécondant mâle mobile produit par la fleur. Ce sont des grains minuscules (20 à 55 μm de diamètre) de forme très variée suivant leur origine florale, initialement contenus dans l'anthère à l'extrémité des étamines. Le pollen présente une forte proportion de protéines (20 à 40 %). Il contient environ 36 % de glucides, 11 % d'eau, 5 % de lipides et 3 % de sels minéraux (K, Mg, Ca, Fe,...). Egalement, il renferme des pigments tels que les caroténoïdes et quelques vitamines (B, C, D, E, et A) (**Le conte, 2002**).

I.2.10.2. Analyses polliniques

L'analyse pollinique est basée sur la relation entre les grains de pollen contenus dans le miel et la plante productrice de nectar. Elle permet l'étude des grains de pollens dans un miel pour but d'identifier la source florale, les pourcentages des pollens des différentes espèces, les éventuelles fraudes ainsi que la classification du miel selon son origine botanique (**Ouchemoukh, 2012**). Lorsque la proportion des grains de pollens d'une seule plante représente plus de 45 % de l'ensemble du pollen, le nom de cette plante est donné au miel correspondant (**Bonté et Desmoulière, 2013 ; Mohdaly et al., 2015**) (Figure 03).

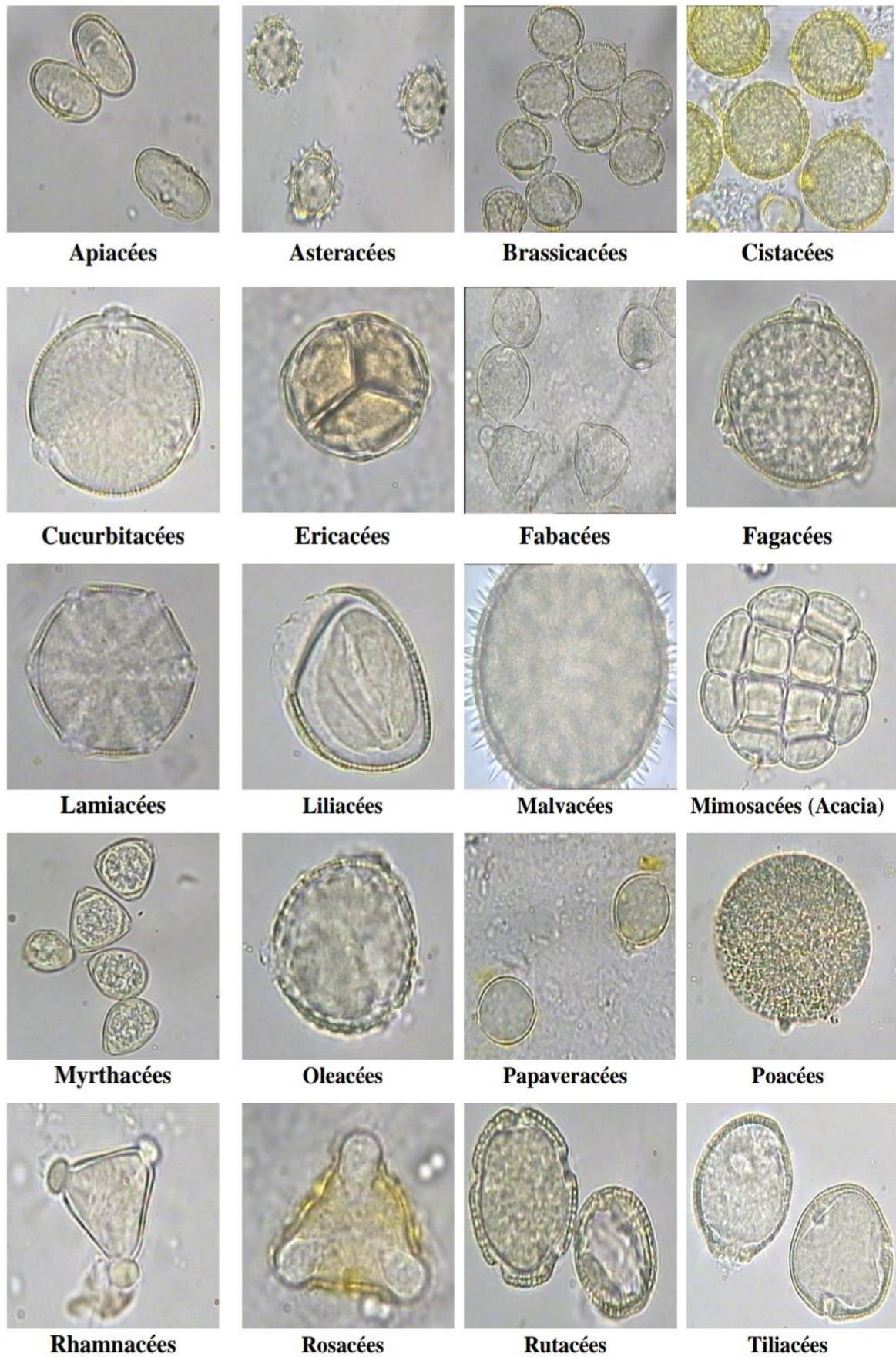


Figure 03 : Photos de grains de pollen présents dans le miel fourni par CETAM (Centre d'Études Techniques Apicoles de Moselle, France).

Chapitre II

**Caractéristiques physico-
chimiques et propriétés
biologiques du miel**

Chapitre II. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés biologiques du miel

I. Caractéristiques physico-chimiques

I.1. Indice de réfraction et humidité

L'indice de réfraction du miel est le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide par la vitesse de la lumière dans ce milieu (**Bogdanov et al., 1999**). Sa mesure par un réfractomètre constitue la méthode la plus rapide pour évaluer l'humidité des miels (**Nair, 2014**). En effet, l'indice de réfraction du miel est d'autant plus élevé que son humidité est plus basse. Il varie entre 1,5041 à 1,4915 à 20 °C correspondant à 13 et 18 % d'humidité (**Idris et al., 2011**).

I.2. Conductivité électrique

Selon **Bogdanov et al. (2005)**, la conductivité électrique est l'une des paramètres de différenciation entre les miels de nectar (< 0,80 mS/cm) et les miels de miellat (> 0,80 mS/cm) ainsi que la classification des miels monofloraux. Elle dépend de l'acidité du miel et de sa teneur en minéraux, en acides organiques et en glucides. La conductivité électrique et la teneur en minéraux sont élevées dans les miels foncés par rapport aux miels clairs (**Alqarni et al., 2012 ; Bogdanov et al., 1995**).

I.3. pH

La plupart des miels ont un caractère relativement acide et leur pH sont compris entre 3,5 et 5,5. Le pH des miels de nectar est inférieur à 4,5 tandis qu'il dépasse les 4,5 pour les miels de miellat (**Belhadj et al., 2015 ; Bogdanov et al., 2004**). Ce paramètre est affecté par les conditions de l'extraction et de stockage (**yucel et sultanoglu, 2013**). L'acidité est due à la présence des acides organiques, des acides aromatiques et d'ions inorganiques (phosphate, chlorure) (**Mbogning et al., 2011**).

I.4. Couleur

La couleur est un paramètre de qualité utilisé dans la classification des miels (**Moniruzzaman et al., 2013**). Le miel peut présenter une coloration d'une très grande variabilité qui peut aller du jaune très pâle (miels d'acacia et de lavande) au brun très foncé (miels de chêne et de sarrasin) en passant par toutes les gammes de jaune, d'orange, de marron et même du vert (**Bruneau, 2002**) sous l'effet de plusieurs facteurs tels que l'origine botanique, la cristallisation et la composition en polyphénols, en caroténoïdes (carotènes, xanthophylles), en minéraux (fer, cuivre) et en acides aminés (tyrosine, tryptophane) (**Petretto et al., 2017**).

I.5. Hydroxyméthylfurfural (HMF)

Le 5-hydroxyméthylfurfural est un aldéhyde cyclique qui résulte de la déshydratation des sucres simples plus particulièrement le fructose dans un environnement acide suite à un traitement thermique. L'acidité et l'humidité favorisent cette transformation mais l'excès de chaleur est un facteur plus important dans ce processus, ce qui indique le sur-chauffage du miel. La teneur en HMF ne doit pas dépasser 40 mg/kg. Plus sa teneur est faible, meilleur est le miel du point de vue fraîcheur (**Chernetsova et Morlock, 2012 ; Cozzolino *et al.*, 2011**).

I.6. Proline

La proline est le plus abondant des acides aminés du miel. Il est incorporé par l'abeille ouvrière à partir de ses sécrétions salivaires durant le processus de son élaboration. La quantité de proline donne une indication sur la qualité du miel qui doit être supérieure à 183 mg/kg. Une teneur inférieure à cette norme indique une immaturité ou une falsification en nourrissant les abeilles avec du sucre ou en ajoutant du sucre au miel (**Meda *et al.*, 2005**).

II. Propriétés biologiques

Le miel est une source de plusieurs composants bioactifs. Il possède un large spectre d'activités biologiques telles que les activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique.

II.1. Activité antioxydante

II.1.1. Stress oxydatif

Le stress oxydatif est reconnu comme étant un acteur clé dans l'apparition et la complication de nombreuses pathologies chroniques. Il résulte d'un déséquilibre entre les systèmes producteurs d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les systèmes antioxydants enzymatiques et non-enzymatiques de l'organisme, en faveur des premiers. Dans cette situation, l'organisme ne contrôle plus la présence excessive de ces radicaux oxygénés toxiques ce qui conduit à différentes pathologies comme l'athérosclérose, le cancer, les maladies cardiovasculaires, la dégénérescence musculaire... (**Zbadi *et al.*, 2018 ; Goodarzi et Khosravi, 2013**).

II.1.2. Radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, atome ou molécule, contenant un électron non apparié sur sa couche externe. Extrêmement instable, ce composé peut réagir avec les molécules les plus stables pour appairer son électron, ce qui provoque des dommages au niveau des protéines, l'ADN et les membranes cellulaires.

Les radicaux libres sont produits en permanence dans l'organisme à partir de l'oxygène au cours de la respiration et/ou suite à l'exposition aux irradiations X, γ et UV (Garait, 2006).

II.1.3. Activité antioxydante du miel

L'efficacité du miel dans la désactivation des espèces réactives oxygénées s'explique par sa richesse en antioxydants. Ces derniers sont des substances capables de supprimer, retarder ou empêcher les processus d'oxydation et ses conséquences. Le mécanisme protecteur antioxydant du miel utilise à la fois des antioxydants enzymatiques tels que la catalase, la peroxydase et la glucose-oxydase ainsi que des antioxydants non-enzymatiques tels que les composés phénoliques, les caroténoïdes, les acides organiques comme l'acide ascorbique et les acides aminés comme la proline (Linkon *et al.*, 2015 ; Özcan et Al Juhaimi, 2016). Les antioxydants sont classés en fonction de leurs mécanismes d'action :

- Les antioxydants primaires ou anti-radicalaires (type I) tels que les composés phénoliques. Leurs actions reposent, d'une part, sur leurs capacités à inhiber la réaction en chaîne de la peroxydation lipidique en cédant leurs atomes d'hydrogène (H^+) aux radicaux peroxydes ($LOO\bullet$) pour former des radicaux plus stable ($LOOH$), d'autre part, sur leur pouvoir piègeur de radicaux libres tels que le radical super-oxyde ($O_2\cdot^-$) et le radical hydroxyle ($\bullet OH$) (Genot *et al.*, 2004 ; Kähkönen *et al.*, 1999 ; Stahl et Sies, 2004).
- Les antioxydants secondaires ou préventifs (type II) empêchent la formation des radicaux libres par différents mécanismes. Certains chélatent les ions métalliques réduisant ainsi l'effet pro-oxydant des ions de fer et du cuivre, c'est le cas de certains acides organiques et protéines et d'autres sont des piègeurs d'oxygène singulet (1O_2) et protègent contre les radiations UV comme par exemple l'acide ascorbique, le β -carotène, le lycopène et la lutéine (Genot *et al.*, 2004).

En règle générale, les miels foncés possèdent un taux important en composé phénoliques totaux et ils ont une capacité antioxydante plus importante que celle des miels clairs. De plus, la variation de l'activité antioxydante d'un miel à un autre dépend essentiellement de son origine botanique et de la nature quantitative et qualitative des différents antioxydants qu'il contient (Aljadi et Kamaruddin, 2004 ; Berreta *et al.*, 2005).

II.2. Activité anti-inflammatoire

II.2.1. Inflammation

L'inflammation est une réponse tissulaire à un traumatisme ou à des agents pathogènes. Elle peut être aiguë ou chronique et elle se manifeste par une douleur, chaleur, rougeur et gonflement (Ferrero *et al.*, 2007).

Le processus inflammatoire est déclenché par plusieurs substances biologiques y compris les cytokines pro-inflammatoires telles que le facteur de nécrose tumoral (TNF- α) ainsi que les interleukines (IL-1 et IL-6) produits par les macrophages (Flynn *et al.*, 1995), les enzymes pro-inflammatoires comme la cyclooxygénase-2 (COX-2) qui catalyse la transformation de l'acide arachidonique à la prostaglandine et les métallo-protéinases qui inhibent les facteurs de croissance (Ke-Lyke *et al.*, 2004). Parmi les cellules impliquées dans ce processus, il existe les monocytes et les leucocytes qui phagocytent les micro-organismes, les plaquettes qui interagissent avec le collagène mature en favorisant la cicatrisation ainsi que les fibroblastes qui synthétisent le collagène et l'élastine (Kingsley, 2002).

II.2.2. Mécanisme d'action de l'activité anti-inflammatoire du miel

Le miel est utilisé pour soigner les plaies infectées et les inflammations tout en favorisant la régénération des tissus morts qui offrent un environnement propice à la croissance des micro-organismes (Song et Salcido, 2011 ; Benhanifia *et al.*, 2011). La glucose-oxydase est un composant principal du miel qui contribue à son activité anti-inflammatoire. Elle est ajoutée par les abeilles lors de la fabrication du miel. Cette enzyme est responsable de la production du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et elle convertit le glucose en acide gluconique, ce qui rend le miel très acide et donc elle diminue le risque d'infection (Weston, 2002 ; Bang *et al.*, 2003 ; Adams *et al.*, 2008).

Le miel inhibe la synthèse des prostaglandines responsables de la chaleur et de la douleur associées à l'inflammation (Kassim *et al.*, 2010). Il inhibe également la COX-2 et la formation des espèces réactives oxygénées (ROS) en favorisant ainsi la cicatrisation. En outre, il empêche l'expression de l'oxyde nitrique synthase (iNOS) et la production de la métalloprotéinase-9 matricielle dans les kératinocytes (Zare *et al.*, 2007 ; Leong *et al.*, 2012 ; Hussein *et al.*, 2012 ; Majtan *et al.*, 2013).

Woo *et al.* (2005) et Palmieri *et al.* (2012) ont démontré que la chrysine du miel joue un rôle anti-inflammatoire efficace. Ce composé diminue l'expression de la COX-2 par l'inhibition de la synthèse du facteur nucléaire de cette enzyme pro-inflammatoire.

II.3. Activité anti- brunissement enzymatique

II.3.1. Brunissement enzymatique

Le brunissement enzymatique résulte de l'oxydation en présence de l'oxygène des composés phénoliques endogènes des fruits et légumes.

Cette oxydation est catalysée par les polyphénol-oxydases (PPO) où les premiers produits de réaction sont les quinones de couleur jaune. Ces derniers sont très instables et se condensent rapidement et forment des polymères bruns. Ce phénomène n'apparaît qu'après décompartmentation cellulaire permettant ainsi la mise en contact des substrats phénoliques contenus initialement dans la vacuole avec la PPO cytoplasmique (**Rigal, 2001**).

Les méthodes de prévention du brunissement enzymatique ont fait l'objet de nombreux travaux qui se trouvent fortement relancés depuis près de 15 ans. Les différentes techniques actuelles de contrôle exploitent chacune un aspect différent du processus biochimique et utilisent souvent des méthodes physiques et/ou chimiques. En général, les méthodes physiques d'inhibition du brunissement enzymatique reposent sur la pasteurisation et la réfrigération (**Barrett et al., 2005**). Par contre, les procédés chimiques impliquent l'addition d'adsorbants comme la gélatine, le charbon actif, le sulfite et ses dérivés. En raison des problèmes toxicologiques posés par l'emploi des produits chimiques notamment les sulfites (**Taylor et al., 1986**) et les inconvénients du traitement thermique sur la qualité organoleptique du produit (**Rigal, 2000**), plusieurs produits d'origine naturelle sont utilisés dans la lutte contre le brunissement enzymatique tels que les extraits des plantes médicinales (l'arbutine et l'hinokitiol) (**Sakuma et al., 1999**) ainsi que le miel déjà connu pour son pouvoir antioxydant important.

II.3.2 Activité anti-brunissement enzymatique du miel

Oszmianski et Lee (1990) ont démontré que le miel possède un pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique provoqué par la PPO sur des tranches de pommes. Ces chercheurs rapportent qu'un peptide de 600 Da contenu dans le miel agit comme un inhibiteur non-compétitif de la PPO en chélatant le cuivre essentiel au site actif de cette enzyme tout en formant des complexes stables.

Chen et al. (1998) ont déduit que le pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique du miel dépend largement du type de miel. En outre, l'addition de différents échantillons de miel à des broyats de pomme de terre entraîne une réduction de l'activité PPO environ 50 % et une diminution de l'indice de brunissement.

Chen et al. (2000) ont établi une relation entre le brunissement et la teneur du miel en composés antioxydants : plus les miels sont riches en antioxydants tels que l'acide ascorbique, les flavonoïdes et l' α -tocophérol, plus ils ont une meilleure capacité anti-brunissement.

Partie expérimentale

Partie I

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

La partie expérimentale est réalisée au niveau du laboratoire de Techniques d'Analyses Biochimiques de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie au sein de l'université de Bejaïa.

Ce travail a pour but la comparaison entre les miels locaux et ceux de l'importation, en effectuant des analyses polliniques, physico-chimiques et activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique sur des tranches de pommes.

I.1. Echantillons

La partie pratique de cette étude est réalisée sur six échantillons de miel de l'année 2021 (Figure 04) dont quatre échantillons locaux proviennent de Bejaïa (Ouzellaguen et Gouraya) et de Tizi-ouzou (Yakouren) tandis que les deux autres échantillons d'importation sont achetés dans une supérette localisée dans la ville de Bejaïa.

Les échantillons sont conservés à température ambiante et à l'abri de la lumière et de l'humidité. Le tableau I illustre le codage utilisé pour ces différents échantillons : la région de récolte, la consistance et la couleur.

Tableau I : Caractéristiques des échantillons de miels analysés.

Echantillon	Code	Consistance	Région de récolte	Couleur
Miels locaux	M 1	Cristallisé	Ouzellaguen (Bejaïa)	Jaune claire
	M 2	Cristallisé	Yakouren (tizi-ouzou)	Jaune foncé
	M 3	Semi-liquide	Yakouren (tizi-ouzou)	Marron foncé
	M 4	Cristallisé	Gouraya (Bejaïa)	Marron très foncé
Miels importés	M 5	Liquide	Importé (Turquie)	Marron clair
	M 6	Semi-cristallisé	Importé (Arabie Saoudite)	Marron très clair



Figure 04 : Photographies des miels analysés.

Six pommes (Figure 05) achetées d'une supérette de la ville de Bejaia sont utilisées comme échantillon dans l'étude de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel. Le poids moyen des pommes analysées est de 100 g.



Figure 05 : Photographie des pommes analysées.

I.2. Analyses polliniques

L'analyse pollinique consiste à identifier quantitativement et qualitativement les pollens présents dans le miel à l'aide d'un microscope, tout en comparant les résultats à une base de données (**Louveaux *et al.*, 1978**).

Afin de comprendre le rapport existant entre l'abeille et la plante, l'analyse pollinique est réalisée selon la méthode décrite par **Louveaux *et al.* (1978)**. Une solution de miel (25 %, m/v) est centrifugée à 4500 tours / min pendant 10 min. Le surnageant est éliminé et 10 ml d'eau distillée sont ajoutés au culot, la solution obtenue est soumise à une deuxième centrifugation dans les mêmes conditions. Un volume de 100 μ l du culot récupéré est étalé sur une lame en verre puis recouverte d'une lamelle après séchage. L'identification des grains de pollens est effectuée avec un microscope photonique avec l'objectif (G \times 40) en se référant aux banques de données numériques du CETAM (Centre d'Etudes Techniques Apicoles de Moselle, France).

I.3. Analyses physico-chimiques

I.3.1. Indice de réfraction, teneur en eau et brix

La teneur en eau est un indice de la conservation qui conditionne la cristallisation et la stabilité du miel. Sa détermination s'effectue par une mesure optique de l'indice de réfraction (IR) de miel à 20 °C qui se fait simplement au moyen d'un réfractomètre selon la méthode de **Bogdanov *et al.* (1997)**.

La mesure de l'IR est effectuée comme suit : une goutte du miel liquide est étalée en couche mince sur la platine du prisme d'un réfractomètre Abbe, préalablement étalonné avec de l'eau distillée.

La lecture est faite à travers l'oculaire du réfractomètre suite au partage de la ligne horizontale entre une zone claire et obscure. Cette ligne coupe deux échelles verticales graduées directement en pourcentage de brix et en indice de réfraction, respectivement. Cet indice permet la détermination de la teneur en eau du miel par correspondance à la table de CHATAWAY à 20 °C (annexe 1) (**Bogdanov et al., 1997**).

I.3.2. Mesure de pH

En général, le pH varie de 3,5 à 4,5 pour les miels de fleurs et 4,5 à 5,5 pour les miels de miellat. Le pH-mètre mesure la tension entre deux électrodes, une électrode de référence « calomel saturé » et une électrode en verre « indicateur de pH ». Celle-ci est directement liée au pH de la solution dans laquelle la sonde est émergée (**Bogdanov et al., 1997**).

Une solution aqueuse de miel (10 %, m/v) est préparée. La lecture de la valeur du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre, après rinçage de l'électrode avec de l'eau distillée. La valeur du pH est déterminée directement sur l'écran de l'appareil. L'analyse est répétée trois fois pour chaque échantillon (**Bogdanov et al., 1997**).

I.3.3. Conductivité électrique

Selon la méthode de **Bogdanov et al. (1997)**, la conductivité électrique (CE) du miel est mesurée par un conductimètre. Son principe consiste à plonger la sonde de l'appareil dans une solution aqueuse de matière sèche. Elle permet de différencier entre les miels de miellat (> 0,8 mS/cm) et de nectar (< 0,8 mS/cm) et indique leur richesse en minéraux.

Une quantité X g de miel est dissoute dans 25 ml d'eau distillée avec $X = (5 \times 100) / MS$ (MS est la matière sèche de l'échantillon de miel). La cellule de mesure du conductimètre est introduite dans la solution préparée contenant 20 % de la matière sèche à 20 °C et la valeur exprimée en mS/cm est lue sur l'appareil (**Bogdanov et al., 1997**). La conductivité électrique est calculée selon l'équation suivante :

$$CE \text{ (mS/cm)} = \text{Valeur mesurée} - A$$

A : (valeur mesuré \times 0,032) \times (T° = 20 °C).

0,032 : facteur de correction.

T° : température ambiante de mesure (dans notre cas varie entre 16 et 18 °C).

I.3.4. Couleur

La couleur du miel est relativement liée à sa richesse en pigments dont les flavonoïdes et les caroténoïdes. Plus le miel est clair, moins il est riche en pigments et inversement (**Blanc, 2010**).

La détermination de l'intensité de la coloration des miels est réalisée selon la méthode décrite par **Al et al. (2009)**. Une quantité de 1 g de miel est dissoute dans 4 ml d'eau distillée et homogénéisée à l'aide d'un homogénéisateur magnétique. La densité optique est mesurée par un spectrophotomètre à 450 nm.

I.3.5. Dosage de l'hydroxyméthylfurfural (HMF)

L'hydroxyméthylfurfural est un composé de dégradation naturelle des sucres en milieu acide. Son taux augmente avec l'élévation de la température. C'est un indice de fraîcheur et de sur-chauffage du miel.

Une solution de miel (20 %, m/v) est mélangée avec 1ml de solution de Carrez I (hexacyanoferrate de potassium 15 %, m/v) et 1 ml de solution de Carrez II (acétate de zinc 30 %, m/v). Le mélange est ajusté à 50 ml avec l'eau distillée. La solution est filtrée par un papier Wattman en jetant les premières dizaines ml de filtrat. Un volume de 5 ml de filtrat est additionné à 5 ml d'eau distillée (tube échantillon) ; le même volume de filtrat est ajouté à 5 ml de bisulfite de sodium (0,2 %) pour blanc échantillon. L'absorbance est lue à 286 nm et à 336 nm par un spectrophotomètre UV. Si l'absorbance dépasse 0,6, une dilution est recommandée. La teneur en HMF est exprimée en milligramme par kilogramme et donnée par la formule suivante (**Bogdanov et al., 1997**) :

$$\text{HMF} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = (A_{284} - A_{336}) \times 149,7 \times 5/W$$

A_{284} et A_{336} : absorbances à 284 nm et 336 nm.

149,7 : constante

W : masse (g) de l'échantillon de miel.

5 : poids nominal de l'échantillon.

I.3.6. Dosage de la proline

Le dosage de l'acide aminé proline est basé sur l'action de la ninhydrine sur la proline en milieu acide pour donner une coloration rose. L'intensité de coloration est liée à la quantité de proline et indique la maturité et la conformité du miel. Son taux diminue significativement lorsqu'une falsification est apportée au miel par un ajout de sucres (**Lokossou et al., 2017**).

La teneur des miels en proline est déterminée par la méthode de **Bogdanov et al. (1997)**. Cette méthode colorimétrique consiste à préparer trois tubes contenant un volume de 500 µl de la solution aqueuse de miel (5 %, m/v), trois tubes références renferment 500 µl de la solution de proline et un tube blanc contenant 500 µl d'eau distillée. Dans chaque tube à essai, 1 ml d'acide formique et 1 ml de la ninhydrine éthanolique (3 %, m/v) y sont ajoutés.

Après 15 min d'agitation et de chauffage à 100 °C dans un bain marie, les solutions préparées sont transférées à 70 °C pendant 10 min. Un volume de 5 ml de 2-propanol (50 %, v/v) est ajouté à tous les tubes. Après incubation de 45 min, la lecture des absorbances est effectuée à 510 nm. Les concentrations en proline sont obtenues par l'équation suivante :

$$\text{Proline (mg / kg)} = (A_E \times M_P \times 80) / (A_P \times M_E)$$

A_E : Absorbance de la solution d'échantillon de miel.

M_P : mg de proline pour la solution standard.

A_P : Absorbance de la solution standard de la proline.

M_E : Quantité prise du miel en kg.

80 : Facteur de dilution.

I.3.7. Dosage des protéines

La méthode de Bradford est une méthode de dosage colorimétrique utilisée pour la mesure de la concentration en solution à 595 nm. Ce dosage utilise le principe d'absorption du bleu de Coomassie G 250 qui se fixe sur le groupement NH_3^+ des acides aminés des protéines (arginine, tyrosine, tryptophane, histidine et phénylalanine) et donne une couleur bleue au milieu réactionnel.

La teneur en protéines est déterminée par la méthode d'**Azeredo *et al.* (2003)**. Un volume de 0,1 ml de solution de miel (50 %, v/v) est mélangé avec 5 ml de réactif de Bradford. Dans le blanc, les 100 μl de solution de miel sont remplacés par 100 μl d'eau distillée. Après 2 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 595 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de sérum albumine bovine (BSA) par 100 g de miel en se référant à la courbe d'étalonnage de BSA (Annexe 2, figure 1) ($y = 0,904 x - 0,0936$; $R^2 = 0,9932$).

I.4. Dosage des antioxydants

I.4.1. Polyphénols

Le réactif du Folin-Ciocalteu est un mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3 \text{PW}_{12} \text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3 \text{P Mo}_{12} \text{O}_{40}$). Ce réactif est réduit lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans le miel (**Boizot et Charpentier, 2006**).

Le dosage des polyphénols des six miels étudiés est déterminé selon la méthode mise en évidence par **Naithani *et al.* (2006)**. Le milieu réactionnel contient un mélange de 100 μl de la solution de miel (0,1 g/ml), 100 μl du réactif de Folin-Ciocalteu (50 %, v/v) et 2 ml de la solution de carbonate de sodium ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$, 2 %).

Dans le blanc, les 100 µl de solution de miel sont remplacés par 100 µl d'eau distillée. Après 30 min d'incubation à l'obscurité, la lecture de l'absorbance est faite à 750 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g d'échantillon de miel (mg EAG/100 g) en utilisant la courbe standard d'acide gallique (Annexe 2, figure 2) ($y = 3,71x + 0,06$; $R^2 = 0,9891$).

I.4.2. Flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes présents dans le miel est basé sur la formation du complexe flavonoïde-aluminium responsable de la coloration jaune avec un maximum d'absorbance à 510 nm (Djeridane *et al.*, 2006).

Le contenu en flavonoïdes des échantillons de miels est déterminé par la méthode colorimétrique décrite par Al *et al.* (2009). Un volume de 1 ml de solution de miel (50 %, m/v) est mélangé avec 300 µl de nitrite de sodium (5 %, m/v) et 4 ml d'eau distillée. Après 5 min, un volume de 300 µl de chlorure d'aluminium (10 %, m/v) est additionné. Un volume de 2 ml d'hydroxyde de sodium (1 M) est ajouté au mélange après 6 min d'incubation. L'absorbance est lue à une longueur de 510 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine par 100 g d'échantillon de miel (mg EQ/100 g) en utilisant la courbe standard de quercétine (Annexe 2, figure 3) ($y = 0,368x + 0,0014$; $R^2 = 0,9867$).

I.5. Activité antioxydante

I.5.1. Activité anti-radicalaire

I.5.1.1. Test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl est un radical libre stable de couleur violacée. En présence des antioxydants, il est réduit par un transfert de proton ce qui engendre une diminution de l'intensité de la coloration (Chaabi, 2008).

La capacité des antioxydants présents dans le miel à réduire le radical DPPH est évaluée par la méthode de Meda *et al.* (2005). Un volume de 500 µl de solution aqueuse de miel (2,5 %, m/v) est additionné à 1 ml de solution éthanolique de DPPH (6×10^{-5} M). Un tube blanc contenant 1 ml d'éthanol et un tube de contrôle positif renfermant 1 ml de solution DPPH sont préparés. Après 15 min d'incubation, la lecture de l'absorbance est faite à 517 nm. Le pourcentage de réduction est donné selon la formule suivante :

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

A_C : Absorbance du contrôle (1 ml de solution DPPH).

A_E : Absorbance de l'échantillon.

I.5.1.2. Test de l'ABTS (Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))

Le test ABTS est basé sur la capacité des antioxydants du miel à neutraliser le cation radical ABTS^{•+} de couleur bleu-vert après l'ajout du persulfate de potassium (K₂S₂O₈), en un radical ABTS, ce qui induit la décoloration de la solution (Erel, 2004).

Le test ABTS est effectué selon la méthode décrite par Re *et al.* (1999). Un volume de 800 µl de solution aqueuse de miel (2,5 %, m/v) est ajouté à 1 ml de la solution ABTS (7 × 10⁻³ M). Le contrôle contient 1 ml de solution ABTS et le blanc renferme 1 ml d'éthanol. L'absorbance est lue à 734 nm après 7 min d'incubation à température ambiante.

Le pourcentage de réduction est donné selon la formule suivante :

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

A_C : Absorbance du contrôle (1 ml de solution ABTS).

A_E : Absorbance de l'échantillon.

I.5.2. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur consiste à la réduction du fer ferrique (Fe³⁺) en fer ferreux (Fe²⁺) sous l'action des antioxydants, en milieu acide grâce à l'acide trichloroacétique (TCA) et en présence d'un agent chromogène l'hexacyanoferrate de potassium. Cette réduction donne une couleur verte dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur (Gülcin *et al.*, 2005).

Les échantillons de miels sont évalués pour leur pouvoir réducteur selon la méthode décrite par Beretta (2005). Une quantité de 500 µl de solution aqueuse de miel (2,5 %) est additionnée de 500 µl de tampon phosphate (0,2 M ; pH = 6,6) et 500 µl de solution de potassium hexacyanoferrate (1 %). Après homogénéisation et incubation au bain marie à 50°C durant 20 min, 500 µl de solution de TCA (10 %) sont ajoutés au mélange afin de stopper la réaction. Par la suite, un volume de 100 µl de chlorure ferrique (FeCl₃, 1 %) est ajouté à un volume de 500 µl du mélange puis dilué avec 800 µl d'eau distillée. Enfin, la lecture des absorbances est révélée à 700 nm après 10 min d'incubation. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g d'échantillon de miel (mg EAG/100 g) en utilisant la courbe standard d'acide gallique (Annexe 2, figure 4) ($y = 1,6825 x - 0,0349$; $R^2 = 0,9904$).

I.5.3. Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power)

Le test FRAP permet d'évaluer « l'activité antioxydante ». Le complexe tripyridyletriazine ferrique (Fe³⁺-TPTZ) est réduit en présence des antioxydants en tripyridyletriazine ferreux (Fe²⁺-TPTZ) qui donnent une coloration bleu-violette (Alvarez-Suarez *et al.*, 2010).

Un volume de 500 μl de solution de miel (2,5 %) est mélangé avec 750 μl de réactif FRAP (300 mM de tampon acétate de sodium, 40 mM de TPTZ et 20 mM de la solution de trichlorure de fer, avec un rapport 10/1/1). L'absorbance est lue à 593 nm après incubation à 37 °C pendant 5 min. Les résultats sont exprimés en mg EAG/100 g (Alvarez- Suarez *et al.*, 2010) (Annexe 2, figure 5) ($y = 5,655 x + 0,1217$; $R^2 = 0,9953$).

I.5.4. Test à la ferrozine

D'après Ebrahimzadeh *et al.* (2007), le test à la ferrozine permet d'évaluer le pouvoir chélateur des échantillons de miel. Les agents chélateurs inhibent la formation du complexe ferrozine- Fe^{2+} qui se manifeste par l'atténuation de la coloration rose.

Selon la méthode décrite par Wang *et al.* (2008), un volume de 500 μl du miel (2,5 %, m/v) est mélangé avec 50 μl de chlorure de fer (II) (0,6 Mm) et 900 μl de méthanol. Après 5 min, un volume de 100 μl de la solution ferrozine (10 mM) est ajouté au mélange. L'absorbance est lue à 562 nm après 10 min d'incubation. L'expression des résultats de l'activité chélatrice du miel est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Activité chélatrice du fer (\%)} = \left(1 - \frac{[A1 - A2]}{A0} \right) \times 100$$

A_0 : Absorbance du contrôle (1 ml de solution ferrozine).

A_1 : Absorbance de l'échantillon.

A_2 : Absorbance sans la solution ferrozine.

I.5.5. Test CUPRAC (Cupric reducing antioxidant capacity)

D'après Apak *et al.* (2004), le test Cuprac est basé sur le suivie de la diminution de l'absorbance du complexe néocuproïne-cuivre [$\text{Nc}_2\text{-Cu}^{2+}$] réduit en présence d'un agent antioxydant. La figure 05 montre la réaction de réduction du complexe cuivre-néocuproïne.

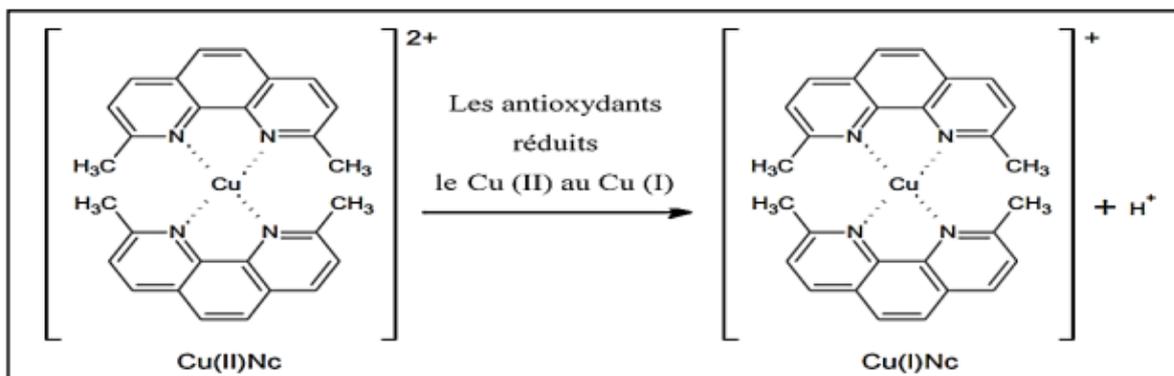


Figure 06 : Réduction du complexe néocuproïne/cuivre (II) (Özyürek *et al.*, 2011).

Un volume de 300 µl de chlorure de cuivre (10^{-2} M) est mélangé avec 300 µl d'acétate d'ammonium (1 M), 300 µl de néocuproïne (7,5 mM), 150 µl de solution de miel (2,5 %) et 150 µl d'eau distillée. Le blanc contient les mêmes concentrations des réactifs précédents tout en remplaçant la solution de miel par 150 µl d'eau distillée. Après 30 min d'incubation à l'obscurité, l'absorbance est lue à 450 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique pour 100 g de miel (**Apak et al., 2004**) (Annexe 2, figure 6) ($y = 15,27 x + 0,0305$; $R^2 = 0,9967$).

I.5.6. Test au phosphomolybdate

Le test au phosphomolybdate est basé sur la réduction de l'ion Mo^{+6} en ion Mo^{+5} par les antioxydants du miel et formation d'un complexe phosphate- Mo^{+5} de couleur bleu-vert dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants (**Sathish-Kumar et al., 2007**).

Le pouvoir réducteur du phosphomolybdate est déterminé suivant la méthode de **Mcanalley et al. (2003)**. Un volume de 50 µl de la solution de miel (0,5 %, m/v) est ajouté à 1 ml de réactif de phosphomolybdate (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate du sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium). Après 90 min d'incubation à 90 °C, l'absorbance est lue à 695 nm. Un blanc est préparé dans les mêmes conditions à l'exception des 50 µl de miel qui sont remplacés par 50 µl d'eau distillée. L'évaluation du pourcentage de réduction du phosphomolybdate est estimée en se référant à la courbe d'étalonnage (Annexe 2, figure 7) réalisée avec l'acide gallique. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g de miel (mg EAG/100 g) ($y = 3,695 x - 0,0035$; $R^2 = 0,9979$).

I.6. Activité anti-inflammatoire

Le test de l'activité anti-inflammatoire *in vitro* des échantillons de miel consiste à inhiber la dénaturation de la BSA provoquée par la chaleur.

Selon **Karthik et al. (2013)**, trois solutions de différentes concentration (0,5 ; 1 et 2 mg/ml) de miel sont préparées. Un volume de 500 µl de chaque concentration est ajouté à 500 µl de solution de BSA préparée dans Tris-HCl. Après 15 min d'incubation à 37 °C puis 5 min à 75 °C, l'absorbance est lue à 660 nm après refroidissement. Un blanc pour chaque concentration est préparé. Les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$\text{Activité anti - inflammatoire (\%)} = [(A_e - A_b)/A_c] \times 100$$

A_e : Absorbance de l'échantillon.

A_b : Absorbance du blanc.

A_c : Absorbance du contrôle (1 ml de solution BSA avec 1 ml de solution Tris-HCl).

I.7. Activité inhibitrice du brunissement enzymatique

Le test de l'activité inhibitrice du brunissement enzymatique est basé sur le pouvoir des antioxydants du miel à former un complexe avec le Cu^{2+} du site actif de l'enzyme PPO ce qui inhibe la transformation des composés phénoliques incolores de la pomme en quinone de couleur brune (**Oszmianski et Lee, 1990**).

Le pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique est testé par la méthode d'**Oszmianski et Lee (1990)**. Quatre tranches de pomme (0,5 cm de diamètre) sont immergées dans une solution de miel (10 %, m/v). Les tranches de pomme témoins sont par contre plongées dans de l'eau distillée. Après 30 min, les tranches traitées sont essuyées puis placées dans des boîtes de Pétri. L'observation s'effectue à l'œil nu à température 30 et à 4 °C durant : 30 min, 1 h, 2 h, 16 h, 24 h, 48 h et 72 h. La mesure de la densité optique des échantillons de pommes est faite à 420 nm après centrifugation à 1200 tours pendant 5 min. Les résultats sont exprimés en unité de brunissement qui représente 0,01 d'absorbance.

I.8. Analyses statistiques

Trois essais sont effectués pour chaque test pour tous les échantillons de miels analysés. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart-type. Le programme Microsoft Office Excel 2007 est utilisé pour calculer les moyennes et les écart-types ainsi que pour tracer les histogrammes.

Le test ANOVA (analyse de la variance à un seul critère de classification) et la matrice de corrélation sont appliquées sur les résultats de cette étude à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1.2. Ces résultats sont classés par ordre décroissant : $a > b > c > d > e > f$.

L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée pour étudier, dans un espace de dimensions plus petites, la similitude entre les différents échantillons de miels ainsi que les liens existants entre les variables.

Partie II

Résultats et discussion

Résultats et discussion

I. Analyses polliniques

Un miel naturel contient en suspension plusieurs types de grains de pollens et leurs absences permet de suspecter une falsification ou bien qu'il s'agit vraiment du sucre inverti. L'analyse pollinique est l'étude quantitative et qualitative des grains de pollens contenus dans le miel. Elle permet d'identifier l'origine botanique et géographique du miel et d'évaluer sa valeur thérapeutique et nutritive ainsi que son authenticité (Reille et Pons, 1990).

Les résultats de l'analyse pollinique révèlent la présence de quatre échantillons de miels monofloraux (les miels M1 et M3 sont de la famille des *Fabaceae* ; les échantillons M2 et M4 font partie de la famille des *Fagaceae*). Un total de 12 familles de pollens est identifié et illustré dans le tableau II. Deux types de pollens (*Fabaceae* et *Fagaceae*) sont détectés comme dominants ($\geq 45\%$) dans les quatre miels naturels (M1, M2, M3 et M4). En revanche, aucun type de pollen n'est identifié dans le miel de commerce (M5). Le miel (M6) possède un seul type de pollen très minoritaire ($< 3\%$) (*Fabaceae*). Ceci indique que les miels d'importation sont falsifiés.

Les *Fabaceae* sont les plus abondants dans les échantillons de miels analysés avec une fréquence de 39 % ce qui indique la richesse de la région Bejaia en cette famille de plantes. Les familles *Fagaceae* et *Rosaceae* arrivent en deuxième ordre et qui sont représentées par 3 échantillons (M1, M2 et M4) avec un pourcentage de 27 et 14 %, respectivement. Puis, il y a les *Liliaceae* (6 %) et les *Rutaceae* (5 %). Cependant, les sept familles de pollens restantes (*Myrtaceae*, *Teliaceae*, *Asteraceae*, *Ericaceae*, *Eucalyptus*, *Poaceae* et *Lamiaceae*) ne représentent que 11 % du pollen total et sont jugés comme pollens minoritaires ou très minoritaires (Figure 07).

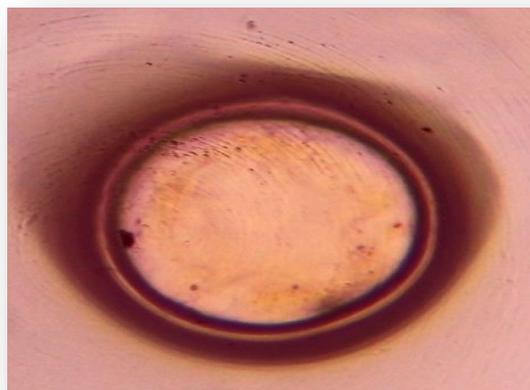
Les variations de la teneur des miels en pollen dépendent de la richesse botanique de la zone de butinage, des conditions climatiques et environnementales, de la localisation de la ruche par rapport au champ de fleur ainsi que de la force de la colonie d'abeille (Ouchemoukh *et al.*, 2007 ; Makhloufi *et al.*, 2010). Les résultats de l'analyse pollinique obtenus sont distincts de ceux enregistrés par Ávila *et al.* en 2019 sur les miels Brésiliens dont l'analyse révèle la présence de neuf familles de pollens dominés par les *Asteraceae*, *Sapindaceae*, *Myrtaceae* et *Verbenaceae*. Cependant, les travaux d'Otmani *et al.* en 2021 ont rapporté les *Fabaceae*, *Apiaceae*, *Brassicaceae*, *Asteraceae* et *Lamiaceae* comme pollens dominants dans 26 miels Algériens.

Tableau II : Spectres polliniques et pourcentages de pollens des miels analysés.

Echantillons de miel	Pollen dominant ($\geq 45\%$)		Pollen d'accompagnement (16 – 44 %)		Pollen minoritaire (15 – 3 %)		Pollen très minoritaire (< 3 %)	
	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)
M1	<i>Fabaceae</i>	46	<i>Rosaceae ; Rutaceae</i>	17 20	<i>Fagaceae</i>	15	<i>Asteraceae</i>	2
M2	<i>Fagaceae</i>	45	<i>Liliacea ; Rosaceae</i>	16 22	<i>Myrtaceae ; Fabaceae</i>	6 10	<i>Tiliaceae</i>	1
M3	<i>Fabaceae</i>	78	Absence	-	<i>Tiliaceae ; Asteraceae</i>	11 9	<i>Ericaceae</i>	2
M4	<i>Fagaceae</i>	46	<i>Fabaceae,</i>	20	<i>Tiliaceae ; Rosaceae ; Liliaceae ; Ericaceae</i>	3 15 8 5	<i>Eucalyptus ; Poaceae ; Lamiaceae</i>	1 1 1
M5	Absence	-	Absence	-	Absence	-	Absence	-
M6	Absence	-	Absence	-	Absence	-	<i>Fabaceae</i>	1



Fabaceae



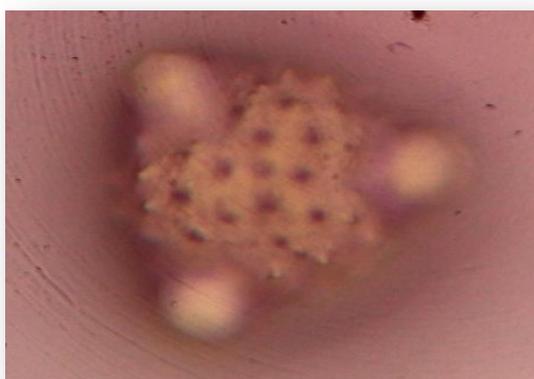
Fagaceae



Rosaceae



Liliaceae



Asteraceae



Rutaceae



Myrtaceae



Rosaceae

Figure 07 : Photographies de quelques grains de pollens des miels analysés.

II. Analyses physico-chimiques

II.1. Brix

Le miel est composé en grande partie de glucides qui sont exprimés par le degré de brix. Ce dernier indique la quantité de la matière sèche (g) contenue dans 100 g de miel refroidit à 20 °C (Conti *et al.*, 2014).

Les valeurs de brix des échantillons analysés varient de 81,4 (*Fagaceae* M4) à 84,1 % (M5) (figure 08). Les miels M1 et M5 montrent le brix le plus élevé (83,5 et 84,1 % respectivement), ce qui indique leur richesse en glucides. Les résultats de ce paramètre pour les six miels étudiés sont largement supérieurs à la limite minimale des miels de nectar (> 65 %) fixée par le **Codex alimentaire (2001)**.

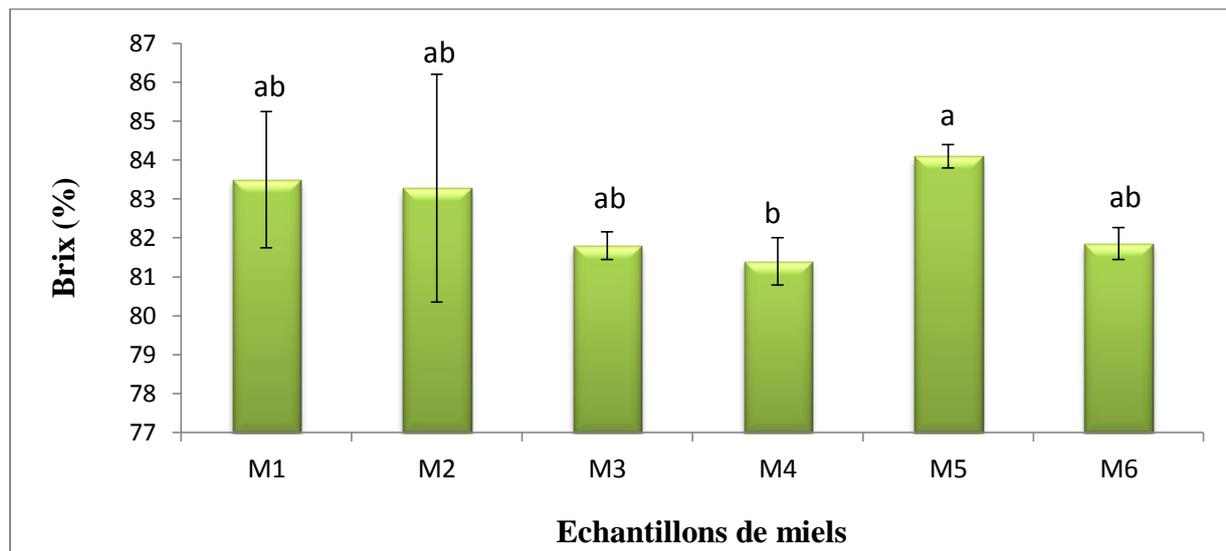


Figure 08: Brix des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

En comparaison aux études antérieures, ces résultats sont proches aux valeurs rapportées par **Al-Farsi *et al.* (2018)** dans les miels Omanis (80 à 83,6 %), inférieurs aux résultats de **Ayad *et al.* (2021)** dans les miels Algériens (81 à 84,5 %) et supérieurs à ceux enregistrés par **Moniruzzaman *et al.* (2013)** dans les miels Malaisiens (55 à 64,9 %). Selon les résultats obtenus, les origines botanique et géographique s'avèrent des facteurs importants qui influencent la teneur en sucres des miels (**Otmani *et al.*, 2021**).

Le test ANOVA du degré de brix des miels étudiés révèle un seul groupe homogène qui contient les miels locaux (M1, M2 et M3) avec le miel de l'importation (M6). Par contre, les autres échantillons possèdent des brix qui sont significativement différents. La variabilité des brix des six échantillons analysés pourraient s'expliquer par la différence de l'origine botanique des plantes sur lesquelles le miellat et/ou le nectar est prélevé, l'environnement, le climat et les conditions de stockage du miel (**Ouchemoukh *et al.*, 2007**).

II.2. Humidité

L'humidité est un paramètre d'évaluation du degré de maturité et la durée de vie de miel. Elle conditionne la cristallisation si son taux est faible. Cependant, une teneur supérieure à 20 % peut provoquer une croissance microbienne ce qui conduit à la fermentation du miel (Doukani *et al.*, 2014 ; Majewska *et al.*, 2019 ; Choi et Nam, 2020).

L'humidité des échantillons de miels analysés varie de 14,8 (M1) à 17 % (M5) correspondant à des indices de réfraction de 1,50 (M1) à 1,502 (M5) (figure 09).

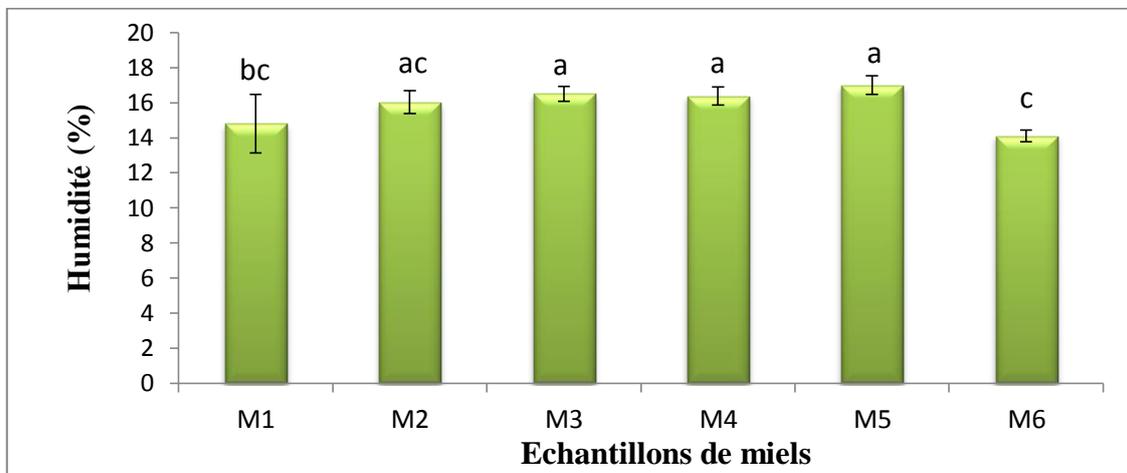


Figure 09 : Humidité des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus montrent que les six miels analysés présentent une humidité inférieure à la limite maximale fixée par la **Commission Européenne (2002)** et le **Codex Alimentaire (2001)** qui est de 20 % ce qui indique que les miels analysés sont mûrs et ne présentent pas un risque de fermentation s'ils sont bien stockés. Les teneurs enregistrées sont supérieures de celles rapportées par **Ayad *et al.* (2021)** (13,21 et 16,44 %) et sont similaires à celles obtenues par **Otmani *et al.* (2021)** (14 et 15 %) dans les miels Algériens. Le miel M5 possède l'humidité la plus élevée (17 %) et ne présente aucune différence significative ($p < 0,05$) avec celle des miels locaux M3 et M4. Par conséquent, ils forment un groupe homogène pour ce paramètre.

L'humidité du miel est liée principalement à l'humidité du nectar et/ou du miellat, à la force de la colonie d'abeille, aux conditions climatiques, à l'humidité relative dans la zone de récolte et aux conditions de transformation et de stockage du miel (Majewska *et al.*, 2019).

II.3. pH

Selon **Bogdanov et al. (1999)**, la plupart des miels ont un potentiel d'hydrogène (pH) relativement acide. Il varie de 3,5 à 4,5 pour les miels de nectar et de 4,5 à 5,5 pour les miels de miellat. Les valeurs de pH des miels étudiés varient de 4,02 (*Fabaceae* M1) à 4,52 (*Fabaceae* M3) (figure 10).

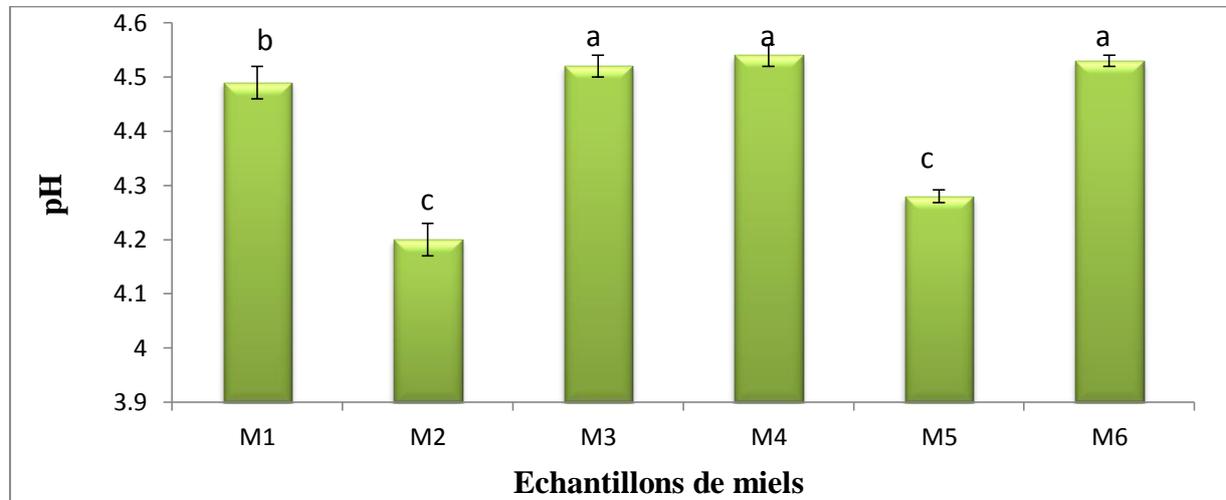


Figure 10 : pH des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus indiquent que les miels locaux M1, M3 et M4 sont un mélange de miel de nectar et de miellat ($\text{pH} > 4,5$) et que le miel naturel M2 est d'origine nectar ($< 4,5$). Les valeurs enregistrées par les miels analysés sont en accord avec celles de **Ayad et al. (2021)** qui varient de 4,26 à 4,43 et elles sont similaires à celles rapportées par **Mouhoubi et al. (2018)** (3,97 à 4,5). Le miel *Fabaceae* M1 présente une différence significative par rapport aux pH des autres miels. Le test ANOVA indique l'existence de deux groupes homogènes : M2 et M5 ; M3, M4 et M6. Un groupe homogène signifie que les miels du même groupe ne présentent aucune différence significative entre eux pour un paramètre donné. Les différents pH obtenus peuvent s'expliquer par maints facteurs tels que l'origine botanique, le sol, l'action de la glucose-oxydase ainsi que la composition en acides organiques (acides gluconique, acétique, benzoïque et citrique) et en ions inorganiques (phosphate, chlorure) (**Finola et al., 2007 ; Mbogning et al., 2011 ; Khalil et al., 2012**).

II.4. Conductivité électrique

D'après le **Codex Alimentaire (2001)**, la conductivité électrique (CE) est un paramètre de qualité qui permet d'estimer la richesse du miel en minéraux et de différencier entre les miels de miellat ($\text{CE} > 0,8 \text{ mS/cm}$) et celui des nectars ($\text{CE} < 0,8 \text{ mS/cm}$). La conductivité électrique des miels analysés varie de 0,15 (M6) à 2,3 mS/cm (M3) (figure 11).

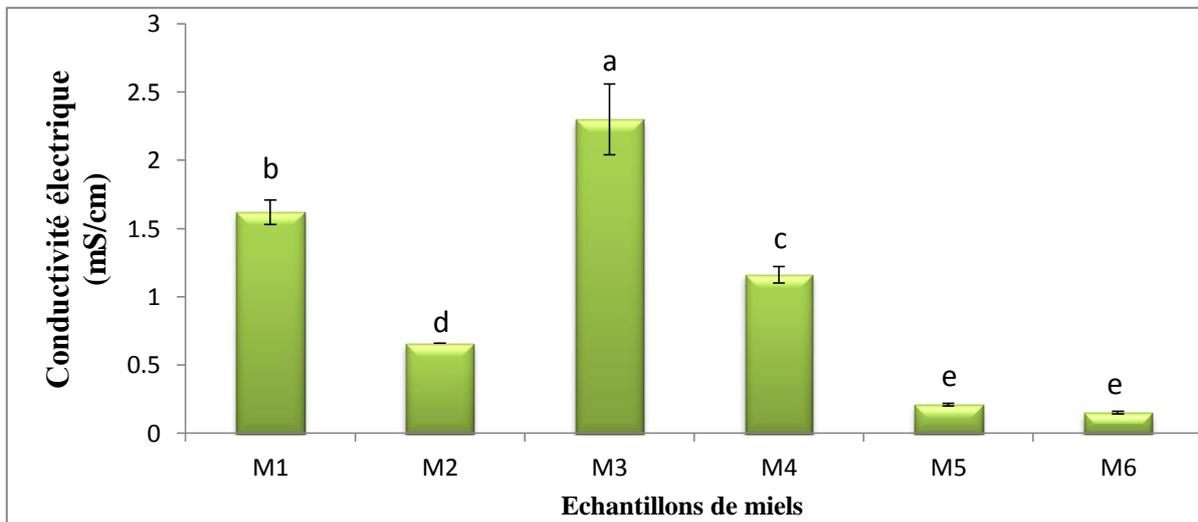


Figure 11 : Conductivité électrique des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats des miels obtenus pour ce paramètre sont supérieurs à ceux des miels de Jijel (0,29 à 1,13 mS/cm) rapportés par **Bouhala et al. (2020)** et ceux de **Ouchemoukh et al. (2007)** pour les miels Algériens (0,21 à 1,61 mS/cm). La CE du miel *Fagaceae* (M2) (0,65 mS/cm) est inférieure à 0,8 mS/cm ce qui suggère qu'il provient du nectar. Cependant, la conductivité électrique obtenue par les miels monofloraux M1, M3 et M4 (1,61 ; 2,30 et 1,16 mS/cm, respectivement) est supérieure à 0,8 mS/cm ce qui signifie qu'ils sont un mélange de miels de nectar et de miellat.

Le test ANOVA de la conductivité électrique révèle un seul groupe homogène qui correspond aux miels de commerce (M5 et M6). Ces derniers présentent la conductivité la moins élevée par rapport à celle des autres miels.

Les différentes conductivités électriques des miels étudiés pourraient s'expliquer par la variabilité de leur composition chimique en substances ionisables (teneurs en minéraux, acides organiques, glucides et protéines) (**Da Silva et al., 2016**).

II.5. Couleur

La couleur des miels est un caractère physique indiquant la présence de pigments tels que les flavonoïdes et les caroténoïdes (**Moniruzzaman et al., 2013**). Les résultats de couleur des miels analysés enregistrent des intensités allant de 0,15 jusqu'à 0,98 DO pour le miel d'importation M6 et le miel local M4, respectivement (Figure 12).

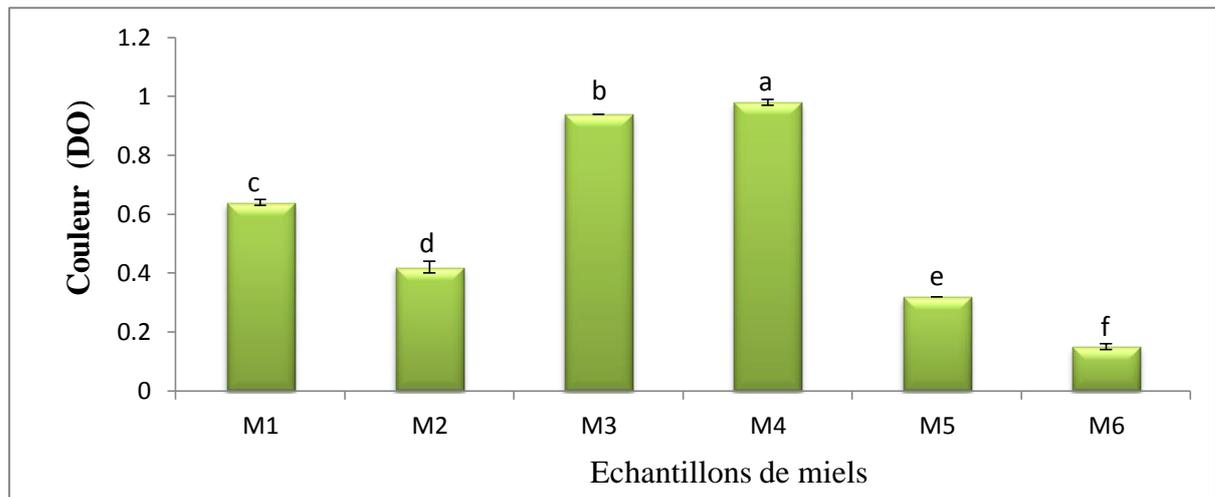


Figure 12 : Couleur des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes. DO : densité optique.

Les valeurs obtenues sont différentes de celles rapportées par **Imtara et al. (2018)** pour les miels Palestiniens qui sont caractérisés par une couleur relativement claire (0,07 et 0,23 DO) et par **Ayad et al. (2021)** pour les miels Algériens (0,27 et 0,81 DO) d'une couleur qui varie entre le jaune clair et le marron. L'analyse statistique indique une différence significative de couleur entre les six échantillons de miel ($p < 0,05$). Ces différentes couleurs obtenues peuvent être expliquées par la variabilité de la composition chimique pour chaque miel (teneur en minéraux, en flavonoïdes et en caroténoïdes) (**Berreta et al., 2005 ; Moniruzzaman et al., 2013**).

La couleur des échantillons oscille du jaune clair (M1 de Ouzellaguen, Bejaia) jusqu'au marron très foncé (M4 de Gouraya, Bejaia) et cela dépend de leur composition en composés phénoliques, en caroténoïdes et en cendres ainsi que la température de stockage et la lumière (**Moniruzzaman et al., 2013**). La couleur la plus élevée est enregistrée par le miel *Fagaceae* de Gouraya (M4) (0,98 DO) et par le miel de Turquie (M5) (0,32 DO) ; l'intensité la plus faible est obtenue par l'échantillon *Fagaceae* de Yakouren (M2) (0,42 DO) et par le miel de l'Arabie Saoudite (M6) (0,15 DO). Ce paramètre représente un indicateur de la richesse des miels locaux M3 et M4 en acides phénoliques, flavonoïdes, caroténoïdes (carotènes, xanthophylles), minéraux (fer, cuivre) et en acides aminés (tyrosine, tryptophane). En effet, **Petretto et al. (2017)** ont démontré que plus un miel est de couleur foncée, meilleure est sa composition chimique.

II.6. Teneur en HMF

L'hydroxyméthylfurfural est un produit de déshydratation des monosaccharides. D'après **Sajid *et al.* (2020)**, il est utilisé pour évaluer la fraîcheur ou le sur-chauffage du miel et sa teneur ne doit pas dépasser 40 mg/kg (**Turhan *et al.*, 2008**). Le taux d'HMF des différents miels varie de 8,09 (M5) à 51 mg/kg (M6) (Figure 13).

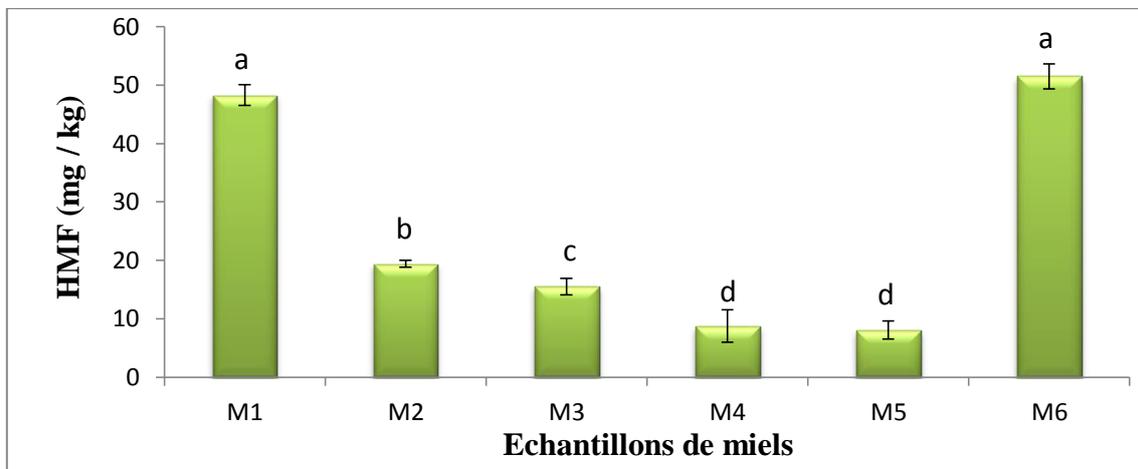


Figure 13: Teneur en HMF des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

L'intervalle des résultats obtenus est différent de celui enregistré par **Amessis-Ouchemoukh *et al.* (2021)** (1 à 34 mg/kg) et il est supérieur aux résultats des miels de Jijel (2 à 9 mg/kg) rapportés par **Bouhala *et al.* (2020)**. Les miels M2, M3, M4 et M5 possèdent une teneur en HMF qui ne dépassent pas 20 mg/kg. Par conséquent, ils sont frais (non exposés à des températures élevées). Cependant, les miels M1 et M6 présentent un taux d'HMF qui passe au-delà de la limite tolérée (> 40 mg/kg). Cette élévation peut s'expliquer par un chauffage excessif afin d'éviter la cristallisation pour le miel M6. Par contre, les mauvaises conditions de stockage peuvent être à l'origine de la concentration élevée en HMF pour le miel M1. Pour le miel de commerce M5, sa faible teneur en HMF peut s'expliquer par sa faible concentration en monosaccharides. L'analyse statistique montre deux groupes homogènes (M1 et M6 ; M4 et M5) pour ce paramètre qui diffèrent significativement des autres miels analysés.

La variabilité de la concentration de l'HMF dépend de l'augmentation de la température du stockage et le profil glucidique (**Mouhoubi *et al.*, 2018 ; Molina *et al.*, 2020**).

II.7. Teneur en proline

La proline est l'acide aminé libre majoritaire du miel et du pollen et il représente un indicateur de conformité.

En effet, les normes internationales fixent le taux de la proline à un seuil minimal de 183 mg/kg et toute teneur inférieure à cette valeur renseigne généralement sur une immaturité (récolte précoce) ou une falsification (Meda *et al.*, 2005). Le taux de la proline des échantillons de miels locaux varie de 321,46 (M2) à 802,28 mg/kg (M3) (Figure 14), ce qui prouve qu'ils sont authentiques et mûres.

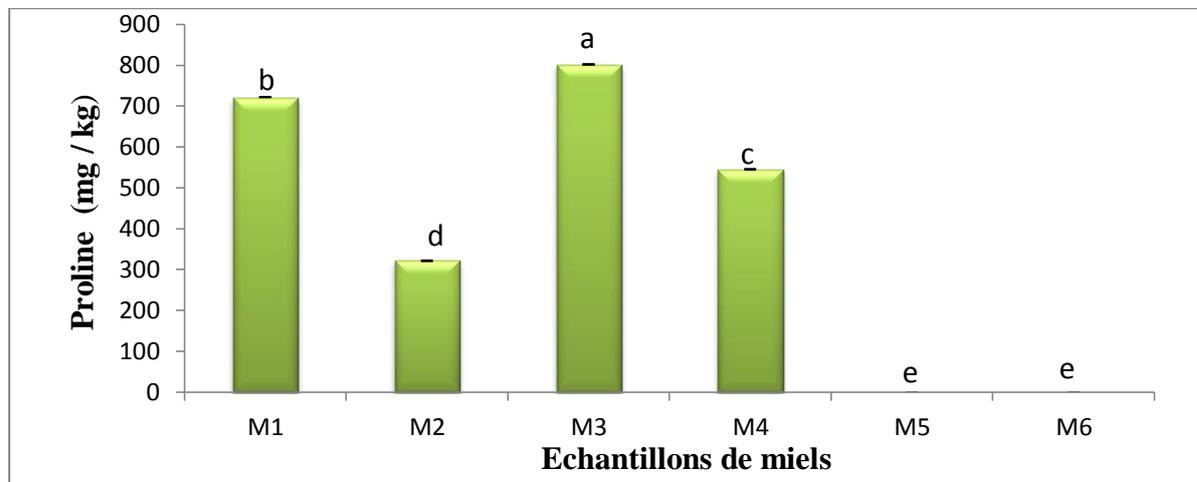


Figure 14 : Teneur en proline des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus montrent que les miels *Fabaceae* (M1, M3) et *Fagaceae* (M2, M4) ont des taux de proline supérieurs à la limite minimale fixée par le **Codex Alimentaire (2001)** ce qui confirme la maturité de ces miels. Cependant, les miels d'importation M5 et M6 présentent un taux nul en cet acide aminé ce qui prouve qu'ils ont subi une falsification suite à l'ajout de sucre à ces miels. Par ordre décroissant, les teneurs des miels en proline sont comme suit : $M3 > M1 > M4 > M2$ ($p < 0,05$). $M2 > M5 = M6$.

Les valeurs obtenues de proline sont supérieures à celles rapportées par **Boussaid *et al.* (2018)** (59 à 102 mg/kg) sur les miels Tunisiens et de **Ouchemoukh *et al.* (2007)** sur les miels de la région de Bejaia (202 à 680 mg/kg). Les miels M1, M2, M3 et M4 présentent tous une différence significative concernant la concentration en cet acide aminé due probablement à la force de la colonie d'abeilles (plus il y a le phénomène de trophallaxie, plus le miel est enrichi en proline).

II.8. Teneur en protéines

Les protéines et les acides aminés sont présents en petites quantités dans le miel à environ 0,26 % (**Ouchemoukh *et al.*, 2007**). Selon le **codex alimentaire (2001)**, la teneur en protéines varie de 0,2 à 0,4 mg/100 g pour les miels de nectar et de 0,4 à 0,7 mg/100 g pour les miels de miellat.

La teneur en protéines des miels étudiés varie de 3,83 (miel de commerce M6) à 491 mg EBSA/100 g (miel local M1) (Figure 15). Les protéines du miel sont généralement des peptones, albumines et globulines (**Bonte et Desmoulière, 2013**).

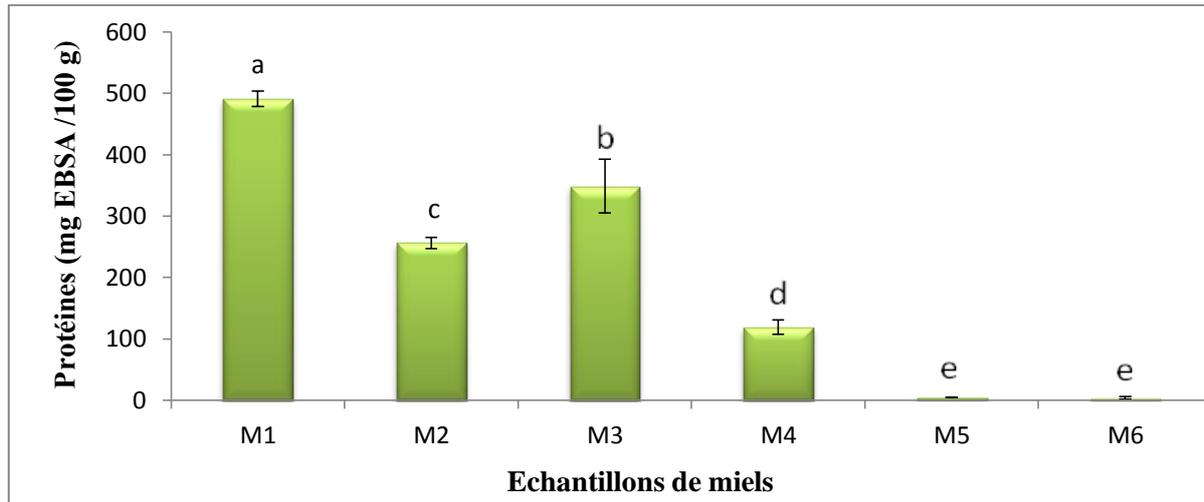


Figure 15 : Teneur en protéines des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux rapportés par **Otmani et al. (2021)** et **Amessis-Ouchemoukh et al. (2021)** dans les miels Algériens (46 à 134 mg EBSA/100 g et 35 à 137 mg EBSA/100 g, respectivement). Cependant, les valeurs observées sont proches à celles démontrées par **Milek et al. (2021)** dans des miels Polonais locaux et ceux importés (10 à 475 mg EBSA/100 g).

Les miels d'importation (M5 et M6) ne présentent pas de différence significative dans leur teneur en protéines et forment un groupe homogène. Le miel *Fabaceae* M1 présente le taux le plus élevé en protéines qui diffère significativement de celle des autres échantillons locaux. Ceci peut être expliqué par la présence d'une forte concentration en pollen dans ce miel et par l'ajout de sécrétions salivaires des abeilles qui ont synthétisées ce miel.

En effet, les protéines ont deux origines : l'une animale (sécrétions salivaires d'abeilles) et l'autre végétale (fleurs butinées) (**Dasilva et al., 2016**).

D'après les recherches faites par **Moniruzzaman et al. (2013)**, les différentes concentrations en protéines des miels analysés sont dues aux origines botanique et géographique, aux conditions et temps de stockage, à la quantité de grains de pollens présente dans le miel ainsi qu'à la présence d'enzymes ajoutées par les abeilles au cours de la production de miel (amylase, gluco-invertase, catalase, glucose-oxydase, phosphatase). L'activité enzymatique du miel est utilisée comme indicateur de chauffage (**Lequet, 2010**).

III. Taux des antioxydants du miel

III.1. Polyphénols

Les polyphénols sont les principaux composants responsables de l'activité antioxydante du miel (**Bueno-Costa et al., 2016**). Les résultats obtenus montrent que les concentrations en polyphénols des miels analysés varient de 56 (M6) à 248 mg EAG/100 g (M4) (Figure 16).

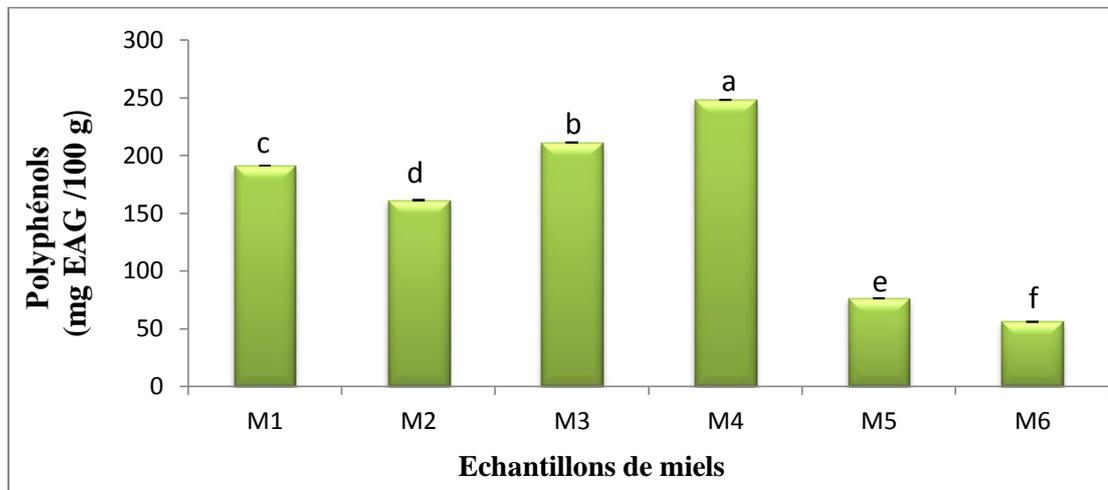


Figure 16 : Teneur en polyphénols des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus sont plus élevés par rapport à ceux rapportés par **Can et al. (2015)** dans les miels de Turquie (16 à 120 mg EAG/100 g). Cependant, des valeurs plus élevées sont rapportées par **Ouchemoukh et al. (2017)** dans les miels Algériens (90 à 318 mg EAG/100 g).

En effet, un miel foncé possède une teneur importante en composés phénoliques (**Meda et al., 2005**) et cela explique la richesse des miels M3 et M4 en ces composés (211 et 248 mg EAG/100 g, respectivement). Les acides 4-hydroxybenzoïque, gallique, gentisique, vanillique, syringique, benzoïque et caféique pourraient être des composants de ces miels. En effet, **Ouchemoukh et al. (2017)** et **Otmani et al. (2021)** ont identifié ces acides phénoliques dans 35 et 26 échantillons de miels Algériens, respectivement. Les miels importés M5 et M6 enregistrent le taux le plus faible en ces composés (76 et 56 mg EAG/100 g, respectivement). La couleur marron de ces miels peut être due à leur chauffage.

Selon **Nabas et al. (2014)** et **Rodríguez-Flores et al. (2015)**, la variabilité en phénols totaux des miels analysés dépend de la composition chimique en pollen de chaque miel, de la source florale, du climat, de la santé de la plante et des facteurs environnementaux.

III.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés à faible poids moléculaire présents dans le miel et ils représentent jusqu'à 50 % des polyphénols (**Wali *et al.*, 2020**). Les résultats enregistrés pour la teneur en flavonoïdes des échantillons de miel indiquent un intervalle allant de 47 (M6) à 74 (M2) mg EQ / 100 g (Figure 17).

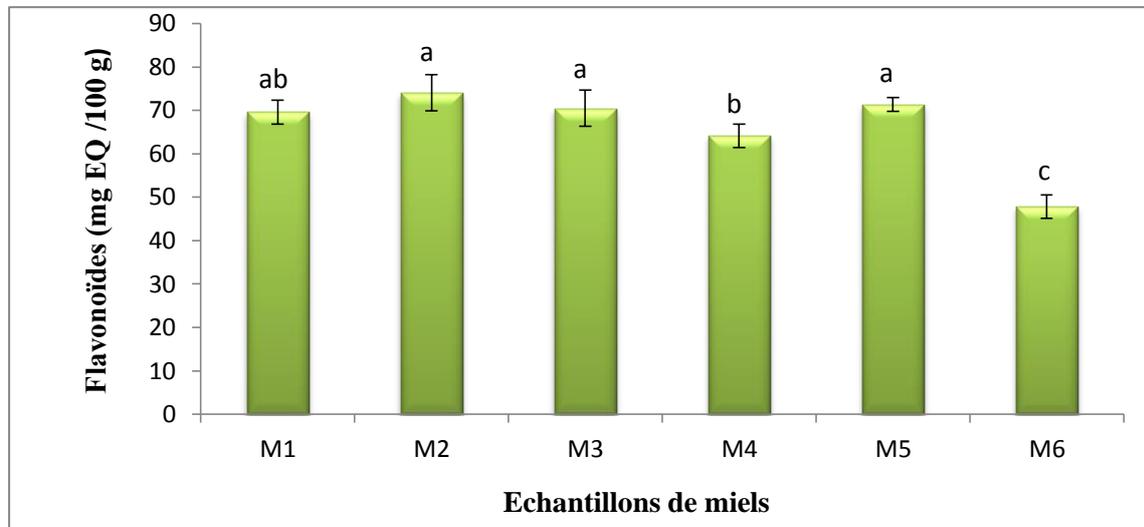


Figure 17 : Teneur en flavonoïdes des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes

Les miels M2, M3 et M5 possèdent la teneur la plus élevée en flavonoïdes et forment un groupe homogène qui diffère significativement par rapport à celle des autres miels. Le miel M6 en possède la valeur la plus basse. Ces résultats obtenus sont plus élevés par rapport à ceux rapportés par **Ayad *et al.* (2021)** et **Otmani *et al.* (2021)** sur les miels Algériens (7 à 20 mg EC /100 g ; 3 à 28 mg EQ/100 g, respectivement).

La variabilité des concentrations en flavonoïdes des miels tels que les flavonols (quercétine, kaemferol, isorhmmetine), les flavones (galangine, chrisine,...), les flavonones (isosakurametine, pinobanksin,...) et les isoflavonones (génistéine et diadzéine) dépend principalement de ses origines florale et géographique (**Sousa *et al.*, 2016 ; Tahir *et al.*, 2017**). En effet, **Ouchemoukh *et al.* (2017)** ont identifié ces flavonoïdes dans des miels Algériens. Par conséquent, les miels locaux analysés pourraient avoir certains de ces flavonoïdes dans leur composition chimique.

IV. Activité antioxydante du miel

IV.1. Activité anti-radicalaire par le DPPH

Le radical DPPH est utilisé pour l'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante du miel. Les six échantillons analysés ont démontré un pourcentage de réduction de DPPH qui varie de 50 (M6) à 76 % (M5) (Figure 18).

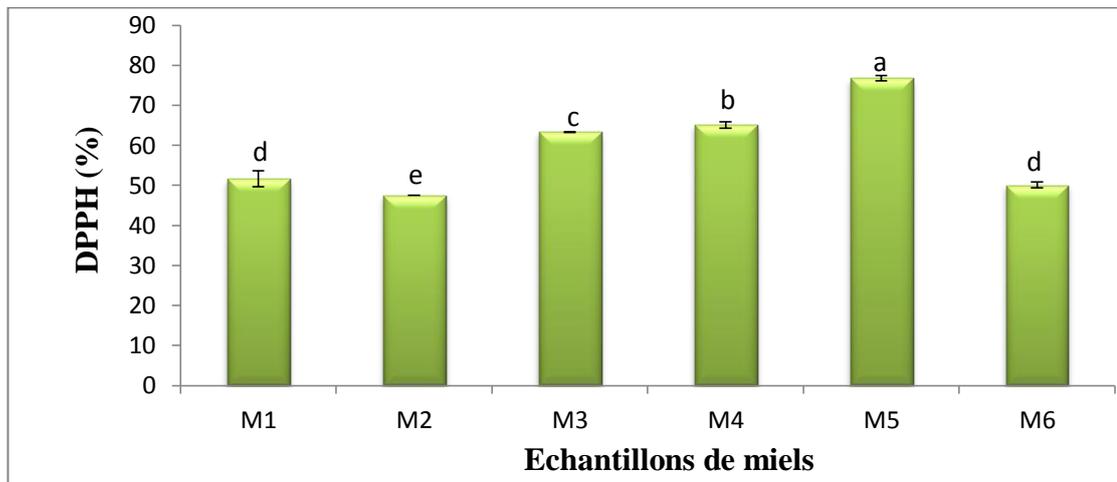


Figure 18 : Pourcentage de réduction du radical DPPH par les miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Cet intervalle de valeurs est proche de celui obtenu par **Wilczyńska (2014)** sur les miels de la Pologne (47 à 83 %) et supérieur à celui rapporté par **Sousa *et al.* (2016)** (11 à 46 %) dans les miels Brésiliens.

Le pouvoir inhibiteur du radical DPPH[•] présenté par le miel *Fagaceae* marron foncé M4 est de 65 % cela est dû peut être à la présence d'antioxydants ayant un fort pouvoir réducteur tels que les composés phénoliques, les vitamines, les enzymes ainsi que le cuivre et le fer qui agissent comme des piègeurs de radicaux libres. Cependant, les miels d'importation M5 et M6 expriment un pourcentage d'inhibition de 76 et 50 %, respectivement. Ils pourraient avoir d'autres substances dotées de cette activité biologique.

La réduction du DPPH est liée au pouvoir des différents antioxydants à donner des atomes d'hydrogène et à stabiliser les radicaux phénoxyles résultants (**Alisi, 2012 ; Lewoyehu et Amare, 2019**).

Les échantillons analysés expriment des différences significatives pour ce paramètre à l'exception des miels M1 et M6 qui forment un groupe homogène. Selon les travaux d'**El-Seedi *et al.* (2012)** et **Tahir *et al.* (2017)**, les variations du pouvoir anti-radicalaire par le DPPH des miels dépendent de l'origine botanique, de la quantité du pollen ainsi que des concentrations élevées en acides hydroxycinnamiques tels que les acides caféique, férulique, sinapique, p-coumarique et cinnamique.

Ces acides montrent les meilleurs pourcentages d'inhibition du radical DPPH' grâce à la présence des groupes $-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$. Ces derniers sont responsables de la grande capacité de don d'atome d'hydrogène et de la stabilisation ultérieure des radicaux. Par conséquent, les miels M4 et M3 pourraient avoir ces acides.

IV.2. Activité anti-radicalaire par l'ABTS

Le potentiel d'inhibition d'ABTS des différents échantillons de miels étudiés oscille de 2 (M6) à 48 % (M3) (Figure 19). Ces résultats sont proches à ceux de **Wilczyńska (2014)** dans les miels de Pologne (2 à 31 %). En revanche, ils sont inférieurs aux résultats d'**Otmani et al. (2021)** dans les miels Algériens (8 à 75 %).

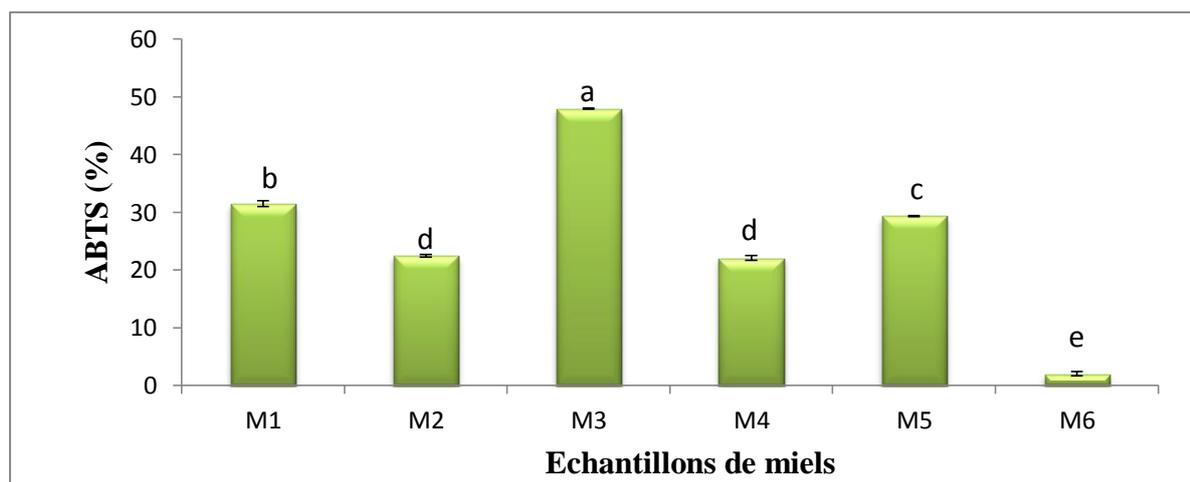


Figure 19 : Pourcentage de réduction du radical ABTS par les miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

L'échantillon *Fabaceae* M3 et d'importation M5 montrent l'activité anti-radicalaire la plus élevée avec des valeurs de 48 et 29 %, respectivement. Cependant, le miel M6 enregistre le potentiel antioxydant le plus faible (2 %). L'analyse statistique indique la présence d'un seul groupe homogène dans ce paramètre (M2 et M4) et qui diffère significativement du reste des échantillons. La variabilité des résultats obtenus peut être expliquée par la source florale et le profil qualitatif et quantitatif des phénols présents dans chaque miel.

L'activité anti-radicalaire du miel dépend généralement de la teneur et de la structure moléculaire des polyphénols (acides cinnamique, phénylacétique, protocatéchuïque...). Le nombre et la position des groupes hydroxyles dans ces composés sont également importants dans la neutralisation des radicaux libres (**El-Seedi et al., 2012 ; Kolayli, 2016**).

Le potentiel anti-radicalaire du miel est attribué à la présence de plusieurs antioxydants tels que les flavonoïdes, les vitamines (acide ascorbique, α -tocophérol), les caroténoïdes et les enzymes (catalase, glucose oxydase).

La quantité et le type de ces antioxydants dépendent essentiellement de la source florale du miel (Al-Mamary *et al.*, 2002 ; Khalil *et al.*, 2012).

IV.3. Pouvoir réducteur

Les échantillons de miels analysés enregistrent une activité réductrice qui varie de 124 (M6) jusqu'à 412 (M3) mg EAG/100 g (Figure 20). Ils possèdent des composants (polyphénols, vitamines, caroténoïdes...) qui cèdent leurs électrons et s'oxydent afin de réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) (Ouchemoukh, 2012).

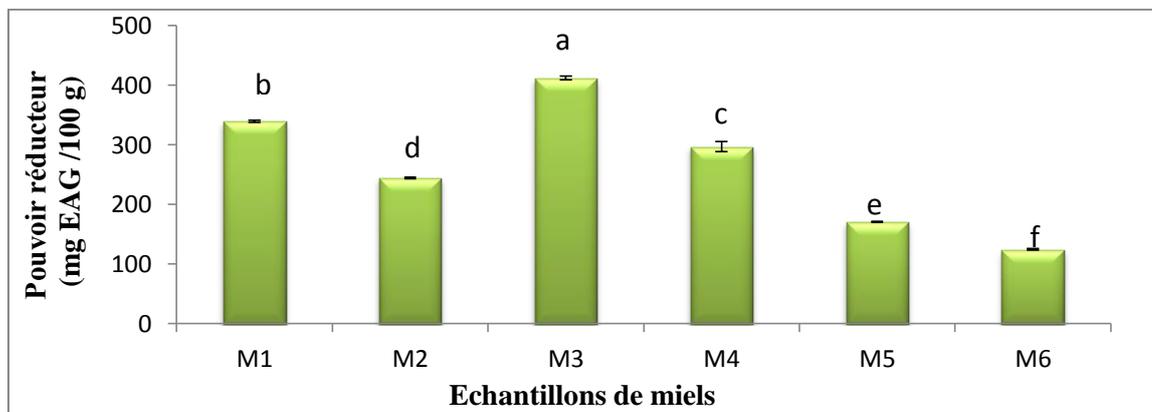


Figure 20 : Pouvoir réducteur des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les miels *Fabaceae* de Yakouren M3 (412 mg EAG/100 g) et d'Ouzellaguen M1 (339 mg EAG/100 g.) enregistrent le meilleur pouvoir réducteur. En revanche, les échantillons de l'importation M5 et M6 montrent la plus faible capacité réductrice (171 et 124 mg EAG/100 g, respectivement). Ces résultats obtenus sont supérieurs à ceux de Čanadanovic-Brunet *et al.* (2014) (39 à 120 mg EAG/100 g) et ceux de Ouchemoukh (2012) (0,17 à 0,71 mg EAG/100 g).

Les valeurs enregistrées pour ce pouvoir montrent l'absence de groupes homogènes avec une différence significative entre les miels analysés liée probablement à leur composition quantitative et qualitative distincte en acides phénoliques, en flavonoïdes, en vitamine (C, E) et en caroténoïdes. Cependant, le pouvoir réducteur des miels d'importation M5 et M6 peut être expliqué par l'ajout d'antioxydants synthétiques lors de la fabrication de ces miels.

IV.4. Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Le test FRAP permet d'évaluer la capacité réductrice du fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) par les antioxydants enzymatiques (catalase, glucose oxydase et peroxydase) et non enzymatiques (acides ascorbique, caroténoïdes et polyphénols) du miel.

D'après l'histogramme illustré dans la figure 21, tous les miels analysés montrent une capacité réductrice du fer avec des valeurs qui varient considérablement entre les échantillons. Le miel *Fabaceae* M3 présente la capacité réductrice la plus importante (332 mg EAG/100 g) qui s'explique par sa richesse en composés antioxydants (acides phénoliques et flavonoïdes). Cependant, le miel de l'Arabie saoudite M6 possède la plus faible activité réductrice du fer (28 mg EAG/100 g) ce qui confirme sa pauvreté en composés antioxydants.

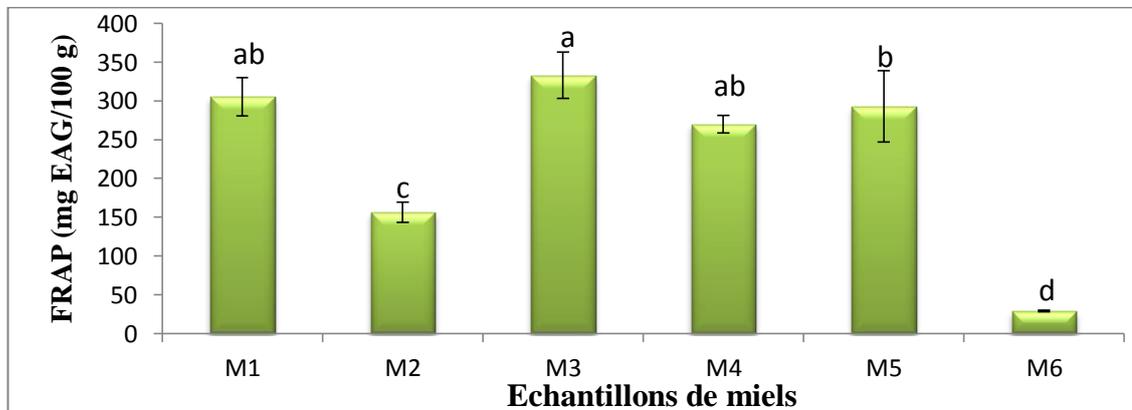


Figure 21 : Test FRAP des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les valeurs obtenues sont supérieures à celles rapportées par **Otmani et al. (2021)** dans les miels Algériens (9 à 257 mg EAG/100 g) et par **Doukani et al. (2014)** (8 à 240 mg EAG/100 g). Le test ANOVA pour cette activité révèle un seul groupe homogène (M1 et M4) qui présente une différence significative par rapport aux autres échantillons.

IV.5. Test à la ferrozine

L'un des mécanismes secondaires importants pour estimer l'activité antioxydante d'un composé est la capacité à chélater les métaux de transition (**Dastmalchi et al., 2008**). Des études récentes ont démontré que certains métaux de transition en particulier le Fe^{2+} et le Cu^{2+} sont impliqués dans les maladies cardiovasculaires, Alzheimer, Parkinson et Wilson ainsi que le stress oxydatif (**Santos et al., 2017**).

À la première vue de l'histogramme illustré de la figure 22, tous les miels analysés montrent une activité chélatrice de fer indiquant que la formation du complexe Fe^{2+} -ferrozine n'est pas complète. Les pouvoirs chélateurs de fer sont compris entre 27 (M3) et 41 % (M4).

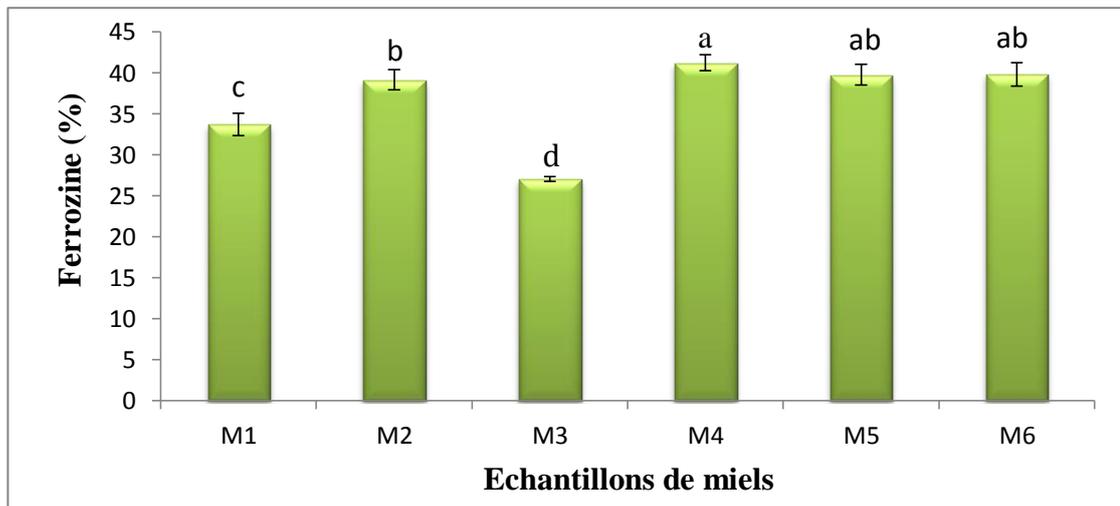


Figure 22 : Test à la ferrozine des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Ces résultats sont plus proches à ceux obtenus par **Temizer *et al.* (2018)** (36 à 37 %). Cependant, ils sont inférieurs à ceux obtenus par **Tahir *et al.* (2017)** (52 à 88 %). Les miels de commerce (M5 et M6) présentent la même activité chélatrice de fer (39 %) qui s'explique par leur enrichissement en composés chélateurs tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les vitamines...

Les analyses des échantillons de miels faites par le test ANOVA révèlent un seul groupe homogène M5 et M6 qui se différencie significativement avec les autres échantillons. La variabilité du pouvoir chélateur des miels analysés reflète la nature distincte des composés chélateurs présents ainsi que leur affinité différente pour le fer, en concurrence avec la ferrozine.

Parmi les composés phénoliques du miel connus pour leur pouvoir chélateur, il y a les acides férulique et caféique, la quercétine, le kampférol et la naringénine (**Zduńska *et al.*, 2018**). Plusieurs études ont rapporté que les composés phénoliques sont capables de complexer et de stabiliser les ions métalliques de transition, ce qui est probablement dû au fort caractère nucléophile de leurs cycles aromatiques (**Amessis-Ouchemoukh, 2021**).

IV.6. Test CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity Assay)

Les résultats du pouvoir réducteur du cuivre des échantillons de miels analysés varient de 0,021 (M6) à 56 mg EAG/100 g (M3) (Figure 23).

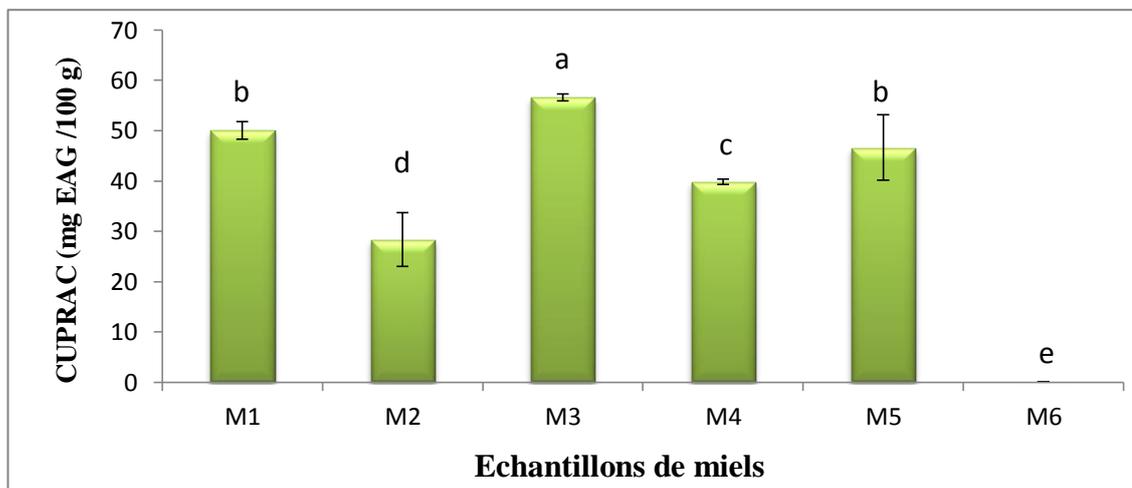


Figure 23 : Test CUPRAC des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Ces valeurs obtenues sont proches à celles rapportées par **Ayad *et al.* (2021)** dans les miels de Jijel (12 à 49 mg TR/100 g) mais sont différentes de celles rapportées par **Ulusoy *et al.* (2010)** sur neuf échantillons de Turquie (12 à 53 mg TR/100 g). Le miel *Fagaceae* M2 présente la plus faible capacité réductrice du cuivre des miels monofloraux (28 mg EAG/100 g) cela est peut être justifié par sa faible teneur en composés phénoliques. Le miel de Turquie M5 présente une valeur moyenne qui s'explique par une falsification ou par un enrichissement en minéraux, essentiellement en cuivre. Cependant, le miel d'importation M6 n'a aucun pouvoir réducteur du cuivre ce qui confirme sa falsification.

Le test ANOVA indique l'existence du groupe homogène (M1 et M5) qui présente une différence significative par rapport aux autres échantillons de miels analysés. La différence de pouvoir réducteur de cuivre de chaque miel dépend de leur composition en sels minéraux et en composés phénoliques (flavonoïdes, acides phénoliques) ainsi que de l'origine florale.

IV.7. Test de réduction au phosphomolybdate

Le test de réduction au phosphomolybdate d'ammonium est un indicateur du pouvoir antioxydant exercé par les composés phénoliques du miel. Les six échantillons de miels analysés possèdent une capacité réductrice du Molybdate (VI) en Molybdate (V) qui oscille de 51 à 90 mg EAG / 100 g, enregistrés respectivement par les échantillons *Fabaceae* de Yakouren (M3) et de Ouzellaguen (M1). Par ordre décroissant, les résultats de réduction au phosphomolybdate sont comme suit : M1 > M6 > M5 > M2 > M4 > M3 ($p < 0,05$) (figure 24).

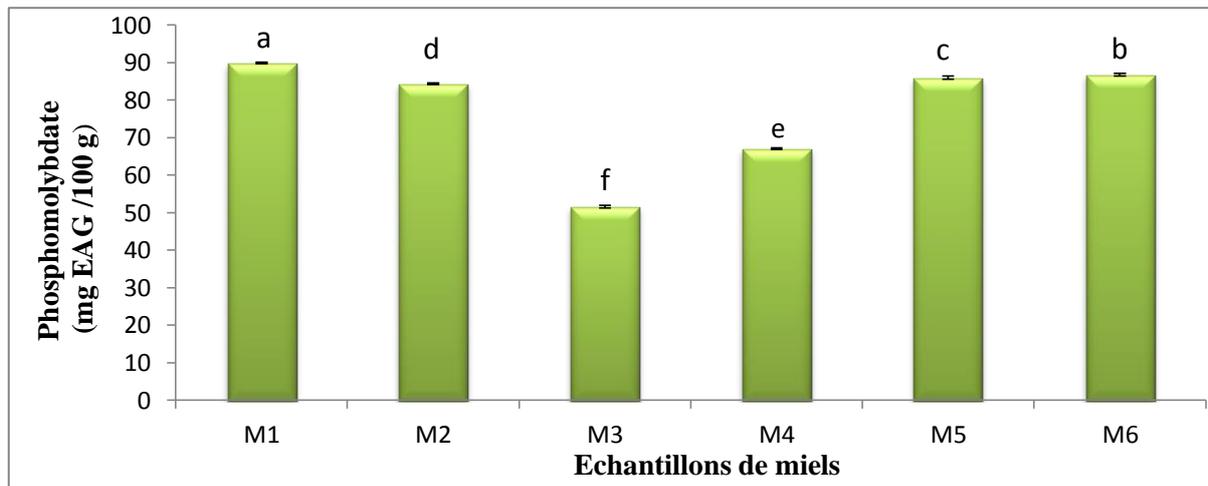


Figure 24 : Réduction du phosphomolybdate par les miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Ces résultats sont proches à l'intervalle rapporté par **Tornuk *et al.* (2013)** (59 à 81 mg EAA/ g) mais ils sont inférieurs à celui obtenu par **Ayad *et al.* (2021)** (87 à 104 mg EAG/ g) dans les miels Algériens et par **Imtara *et al.* (2018)** (87 à 102 mg EAA/ g) dans les miels Palestiniens.

Les résultats de l'histogramme montrent que le miel *Fabaceae* M1 de Ouzelanguen (90 mg EAG/100 g) et celui de l'Arabie saoudite M6 (86 mg EAG/100 g) présentent la capacité réductrice la plus importante. Par contre, les miels M3 de Yakouren (51 mg EAG/100 g) et M4 de Gouraya (67 mg EAG/100 g) montrent la capacité réductrice la plus faible. L'analyse statistique révèle l'absence de groupes homogènes avec une différence significative entre tous les échantillons étudiés. Cette variabilité de résultats peut s'expliquer par la composition chimique différente en composés phénoliques.

V. Activité anti-inflammatoire du miel

La dénaturation des protéines telles que la BSA (Albumine de sérum bovin) est un phénomène qui se produit lors de l'inflammation et l'inhibition de cette dénaturation induite par la chaleur fait partie du mode d'action anti-inflammatoire du miel (**Otmani *et al.*, 2021**). Le tableau suivant illustre les pourcentages d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des miels analysés.

Tableau III : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de BSA par les échantillons de miels. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

% d'inhibition par concentration de miel	0,5 mg / ml	1 mg / ml	2 mg / ml
M1	70,63 \pm 0,8 ^b	58,59 \pm 1,39 ^c	55,81 \pm 1,39 ^c
M2	56,27 \pm 0,8 ^d	47,94 \pm 1,6 ^d	48,87 \pm 1,39 ^d
M3	69,24 \pm 1,6 ^b	67,39 \pm 0,8 ^b	59,98 \pm 0,00 ^b
M4	79,42 \pm 0,0 ^a	73,40 \pm 0,8 ^a	66,00 \pm 0,8 ^a
M5	59,14 \pm 1,39 ^c	49,70 \pm 1,39 ^a	37,20 \pm 1,39 ^e
M6	38,03 \pm 1,39 ^f	23,87 \pm 2,41 ^e	11,09 \pm 2,41 ^f

Les résultats obtenus montrent que tous les échantillons analysés ont une capacité inhibitrice de la dénaturation de la BSA qui varie de 11 à 79 % avec un maximum d'activité à la concentration 0,5 mg/ml. Ces résultats rentrent dans l'intervalle de **Zaidi et al. (2019)** pour les miels Algériens (2 à 85 %). Le miel marron foncé M4 présente l'activité la plus élevée par rapport à celle des autres échantillons. Cette activité importante est due peut être à la richesse de ce miel en acides phénoliques et flavonoïdes qui possèdent la capacité à réduire la formation des radicaux libres. En revanche, la plus faible activité protectrice de la BSA est enregistrée par le miel d'importation M6 aux concentrations 0,5 ; 1 et 2 mg/ml avec un pourcentage d'inhibition de 38, 23 et 11 %, respectivement. L'activité inhibitrice des miels de commerce peut s'expliquer par leurs enrichissements en antioxydants synthétiques. L'analyse statistique révèle deux groupes homogènes M1 et M3 à la concentration 0,5 mg/ml et M2 et M5 à la concentration 1 mg/ml.

D'après les études effectuées par **Takzaree et al. (2016)** et **Kamruzzaman et al. (2019)**, les composés phénoliques du miel, en grande partie, sont responsables de l'activité anti-inflammatoire par la diminution de l'expression des médiateurs inflammatoires (TNF- α , NO, IL-4 et IL-13) via l'acide ellagique tandis que l'acide syringique module la prolifération des cellules inflammatoires (neutrophiles, macrophages et lymphocytes).

Selon **Kassim et al. (2010)**, le miel entraîne une diminution significative de deux médiateurs de l'inflammation (la COX-2 et le TNF- α), ceci en bloquant la translocation du NF-kB dans le noyau réduisant ainsi la concentration des prostaglandines E₂ (PGE₂), des prostaglandines F_{2 α} (PGF_{2 α}) et des thromboxanes B₂ responsables des symptômes de l'inflammation.

La variabilité de l'activité protectrice de la BSA par les miels peut s'expliquer par des teneurs distinctes en composés bioactifs tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques.

Ces derniers sont capables d'interagir avec les différents sites de la BSA ce qui empêche sa dénaturation (Liu *et al.*, 2013 ; Zaidi, 2019).

VI. Activité anti-brunissement enzymatique du miel

L'activité anti-brunissement enzymatique est réalisée uniquement avec les vrais miels (M1, M2, M3 et M4) puisque les miels d'importation M5 et M6 sont falsifiés. Les résultats de l'activité anti-PPO (anti-polyphénol oxydase) des miels monofloraux testés sur des tranches de pomme varient de 30 (M4) à 41 UB (unité de brunissement) (M1) après incubation à 30 °C comme le montre la figure 25.

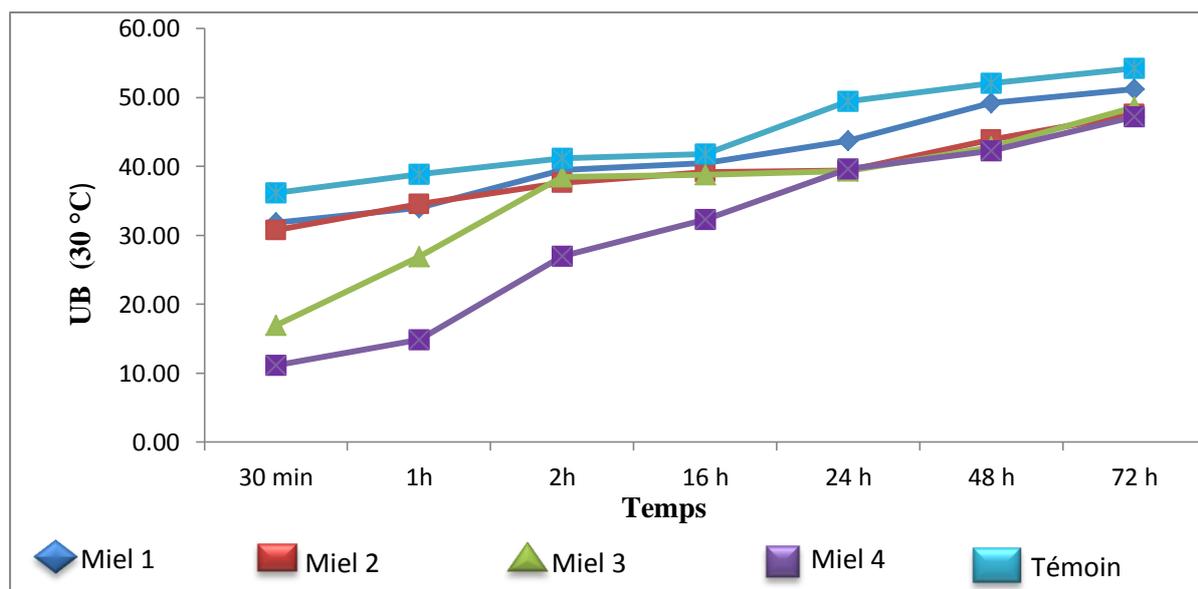


Figure 25 : Unité de brunissement des tranches de pommes traitées par des solutions de miels (10 %) à 30 °C.

Les valeurs obtenues montrent que le miel marron foncé M4 possède l'unité de brunissement la plus basse avec la meilleure capacité inhibitrice de l'enzyme PPO (11 après 30 min à 47 UB après 72 h), suivi des miels marron clair M3 et jaune foncé M2 (17 et 30 UB après 30 min jusqu'à 48 et 47 UB après 72 h, respectivement). Le miel jaune clair M1 enregistre le plus faible pouvoir anti-brunissement avec l'unité la plus élevée (31 après 30 min à 51 UB après 72 h). En revanche, le témoin possède la plus grande unité de brunissement par rapport aux miels analysés (36 à 30 min jusqu'à 54 UB à 72 h).

L'intervalle de l'activité anti-brunissement enzymatique à 4 °C des quatre miels naturels est de 23 (M4) jusqu'à 34 UB (M1).

Les résultats obtenus (Figure 26) indiquent que le miel *Fagaceae* (M4) de Gouraya a la plus grande inhibition de l'enzyme PPO (10 après 30 min jusqu'à 36 après 72 h). En second ordre, les miels de Yakouren *Fabaceae* (M3) et *Fagaceae* (M2) avec des unités de brunissement proches (13 et 12 UB après 30 min à 42 et 41 après 72 h, respectivement) alors que le pouvoir inhibiteur du brunissement le plus faible est observé par le miel *Fabaceae* (M1) (22 à 30 min jusqu'à 45 UB à 72 h). Les valeurs du témoin oscillent de 23 à 30 min et 49 UB à 72 h.

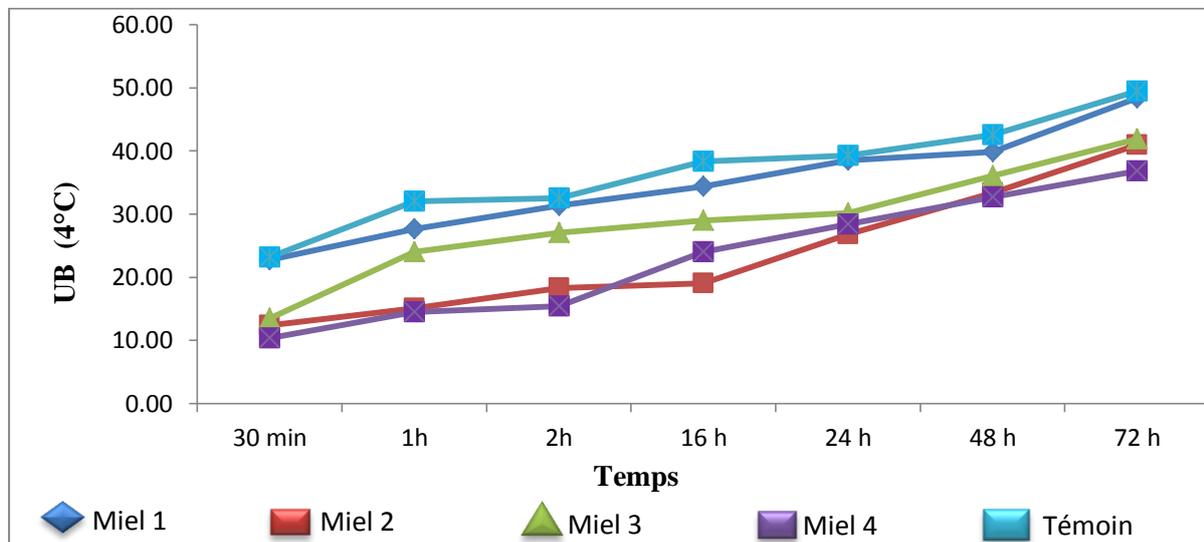


Figure 26 : Unité de brunissement des tranches de pommes traitées par des solutions de miels (10 %) à 4 °C.

Les figures 27 et 28 représentent le suivi temporel de l'évolution du brunissement enzymatique des tranches de pomme traitées par les solutions de miels M2 et M4 (10 %) à 30 et à 4 °C.

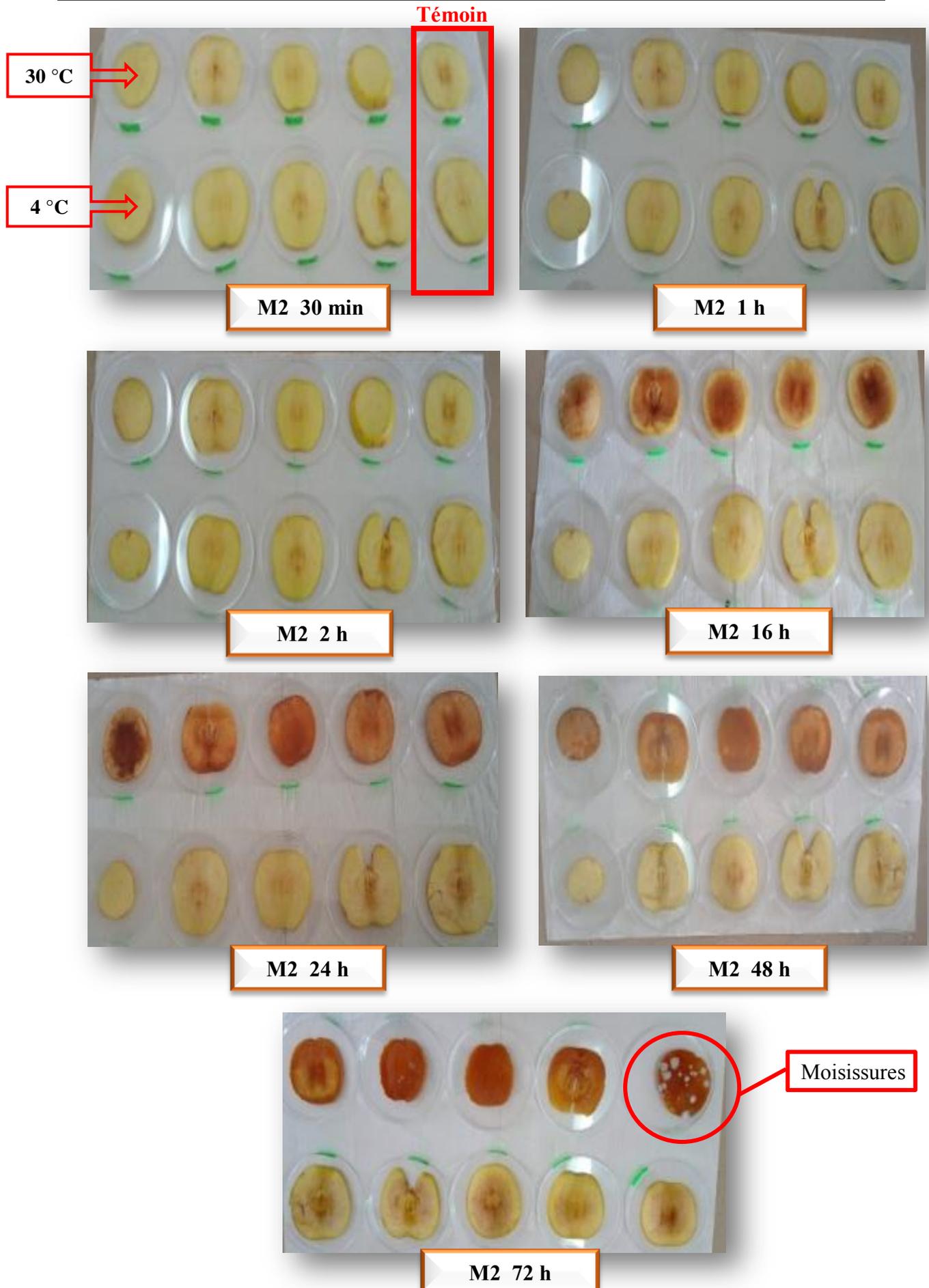


Figure 27 : Photographies de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 à 30 et à 4 °C. **Couleur marron :** brunissement enzymatique. **Témoin :** tranche de pomme sans traitement. Chaque 4 tranches de pomme sont traitées avec une solution de miel à 10 % puis incubées à 30 ou à 4 °C.

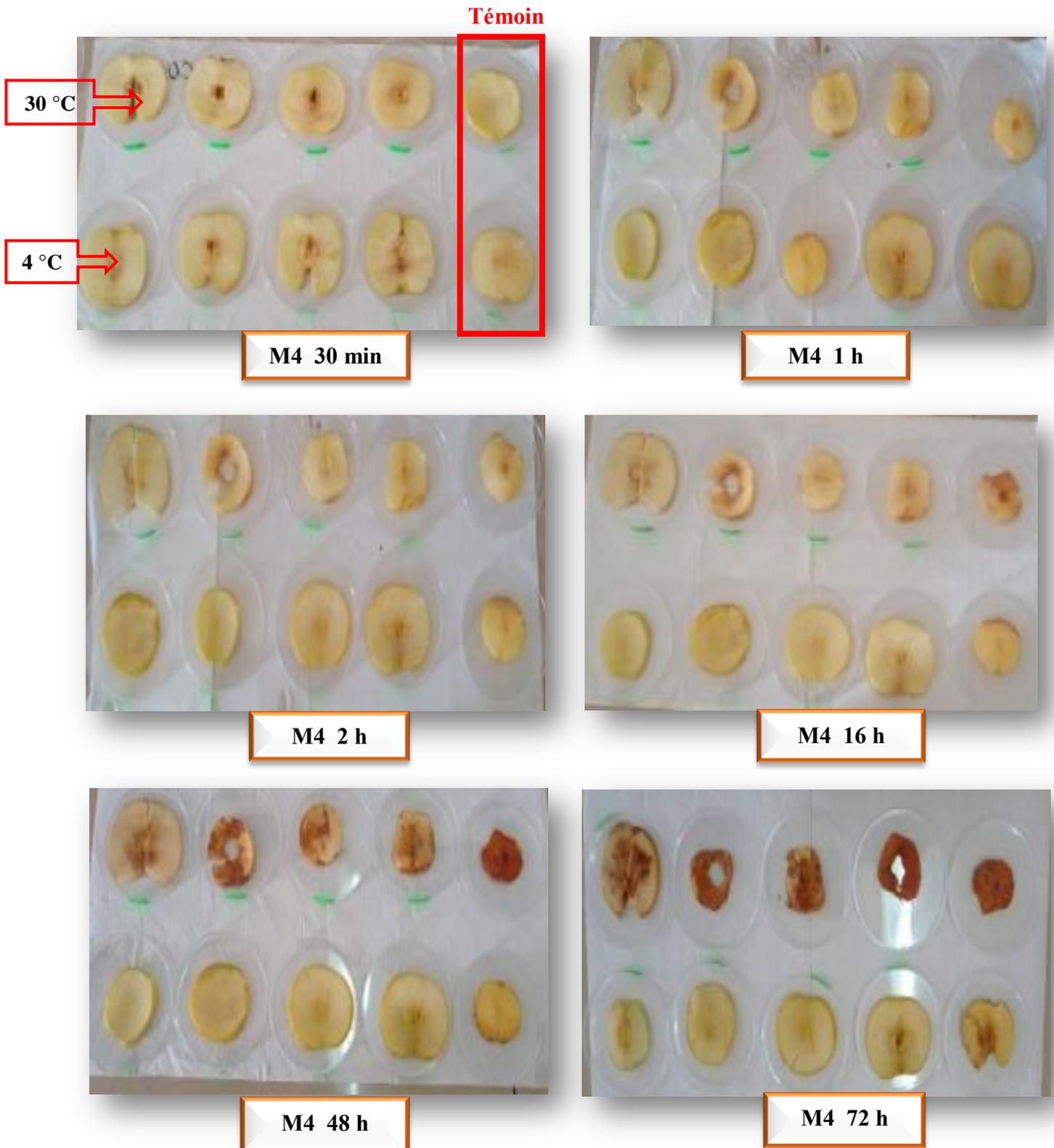


Figure 28 : Photographies de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 à 30 et à 4 °C. **Couleur marron :** brunissement enzymatique. **Témoin :** tranche de pomme sans traitement. Chaque 4 tranches de pomme sont traitées avec une solution de miel à 10 % puis incubées à 30 ou à 4 °C.

Dans la figure 27, le brunissement enzymatique (couleur marron des tranches de pommes) est nettement clair au bout de 16 h jusqu'à 48 h d'incubation à une température de 30 °C. À 72 h d'incubation, il y a apparition de moisissures sur la tranche de pomme témoin (tranche de pomme à droite) par rapport aux tranches de pomme imbibées de miel M2. Cependant, le brunissement enzymatique apparaît après 24 h d'incubation à 4 °C. La courbe du miel M2 concernant cette activité est proche de celle du témoin.

La figure 28 montre bien que le miel M4 possède la meilleure activité anti-brunissement enzymatique puisque l'apparition nette de la couleur brune des tranches de pommes est remarquable au bout de 48 h jusqu'à 72 h d'incubation à 30 °C. En revanche, le brunissement enzymatique des tranches de pommes traitées à 4 °C est non détectable au bout de 72 h d'incubation. La courbe du miel M4 pour cette activité n'est pas très proche de celle du témoin.

La capacité anti-brunissement enzymatique du miel est due à sa teneur en composés phénoliques ce qui explique la meilleure activité inhibitrice de PPO pour les miels M4 et M3 possédant les taux les plus élevés en polyphénols. Egalement, la différence de concentration du peptide 600 Da d'un miel à autre peut jouer un rôle dans le ralentissement du brunissement enzymatique par la formation d'un complexe stable entre le cuivre de l'enzyme PPO et le peptide (**Oszmianski et Lee, 1990**).

L'effet de la température est impliqué également dans cette activité, la combinaison miel-basse température montre une activité anti-PPO plus grande par rapport à la combinaison miel-température élevée. Cette étude confirme les résultats antérieurs de **Jeon et Zhao (2005)** sur des tranches de pommes traitées d'une solution de miel poly-floral (10 %) et stockées sous vide à 3 °C. Les résultats obtenus indiquent des valeurs en unité de brunissement (UB) supérieures à celles rapportées par **Chen et al. (2000)** dans 6 miels poly-floraux avec un intervalle de 21 à 25 UB. Des photographies de l'effet anti-brunissement enzymatique des deux miels restants (M1 et M3) sur les tranches de pommes testées sont données dans l'annexe 3.

VII. Corrélations

VII.1. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et l'activité antioxydante

La couleur présente une corrélation très hautement significative avec la conductivité électrique ($r = 0,92$) et le taux des polyphénols ($r = 0,92$). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Zaidi et al. (2019)**.

Elle présente aussi une corrélation hautement significative avec le taux des protéines ($r = 0,65$) et les activités antioxydantes suivantes : tests CUPRAC, FRAP et phosphomolybdate ($r = 0,65$; $r = 0,63$; $r = 0,65$, respectivement). Ces résultats obtenus sont en accord à ceux enregistrés par **Ayad *et al.* (2021)**. Les polyphénols possèdent une corrélation très hautement significative avec la conductivité électrique ($r = 0,81$) et une corrélation significative avec le taux des protéines ($r = 0,55$). Le test CUPRAC révèle une corrélation très hautement significative avec les tests FRAP, pouvoir réducteur et ABTS ($r = 0,84$; $r = 0,84$ et $r = 0,91$, respectivement). La conductivité électrique manifeste une corrélation très hautement significative avec le test ABTS ($r = 0,77$) (tableau IV). Aussi, les résultats de cette activité antioxydante présente une corrélation significative avec le taux en flavonoïdes des miels analysés. Les miels M3 et M4 de couleur foncée présentent les teneurs les plus élevées en polyphénols et flavonoïdes, les meilleurs paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, humidité,...) et activité antioxydante (test ABTS, pouvoir réducteur, FRAP, ferrozine et CUPRAC).

VII.2. Corrélations entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-inflammatoire

La matrice de corrélation (Tableau V) révèle une corrélation significative entre la teneur en proline des miels analysés et l'activité anti-inflammatoire à 0,5 mg/ml avec un coefficient de 0,84 qui diffère de celui obtenu par **Zaidi *et al.* (2019)**. Cette relation est justifiée par le pouvoir anti-radicalaire de la proline ce qui confère au miel son activité anti-inflammatoire (**Takzaree *et al.*, 2016**). Egalement, cette matrice indique un lien entre l'activité anti-inflammatoire (1 mg/ml) et le test ABTS ($r = 0,50$). Les résultats montrent une relation significative entre l'activité anti-inflammatoire à 1 mg/ml avec le test DPPH (0,51) et entre l'activité inhibitrice de la dénaturation de la BSA (0,5 et 1 mg/ml) avec le test à la ferrozine (0,49 et 0,51, respectivement). Des corrélations très hautement significatives sont observées entre le DPPH et l'activité protectrice de la BSA à de 0,5 mg/ml ($r = 0,7$). Parallèlement, une corrélation significative est démontrée entre l'activité anti-inflammatoire à 2 et 1 mg/ml d'une part et entre l'activité anti-inflammatoire à 1 et 0,5 mg/ml d'autre part avec des coefficients de corrélations de 0,86 et 0,74, respectivement. En effet, le miel M4 présente la meilleure activité chélatrice du fer (ferrozine) et enregistre l'activité anti-inflammatoire la plus grande aux différentes concentrations (0,5 ; 1 et 2 mg/ml).

Tableau IV : Matrice de corrélations entre les paramètres physicochimiques, les antioxydants et l'activité antioxydante.

	HMF	CUPRAC	FRAP	Protéine	Ferro	Brix	H	CE	pH	P-molyb	PR	DPPH	ABTS	F	P	Couleur	Proline
HMF	1,00																
CUPRAC	0,35	1,00															
FRAP	0,36	0,84 ***	1,00														
Protéine	0,20	0,58*	0,56*	1,00													
Ferro	0,27	0,59 **	0,54 *	0,66 **	1,00												
Brix	0,03	0,10	0,11	0,03	0,00	1,00											
H	0,64	0,37	0,32	0,02	0,01	0,27	1,00										
CE	0,17	0,74	0,72 ***	0,82***	0,58*	0,12	0,14	1,00									
pH	0,18	0,03	0,01	0,25	0,02	0,41	0,15	0,10	1,00								
P-molyb	0,59	0,29	0,22	0,04	0,01	0,27	0,37	0,42	0,65 **	1,00							
PR	0,61	0,84 ***	0,79***	0,20	0,30	0,33	0,51 *	0,42	0,05	0,20	1,00						
DPPH	0,74	0,50 *	0,45	0,27	0,22	0,02	0,58*	0,08	0,20	0,26	0,71***	1,00					
ABTS	0,20	0,91***	0,83 ***	0,69 **	0,74***	0,20	0,35	0,77***	0,04	0,20	0,75 ***	0,24	1,00				
F	0,21	0,40	0,32	0,39	0,34	0,18	0,36	0,31	0,42	0,13	0,43	0,04	0,51 *	1,00			
P	0,45	0,49*	0,51	0,55 *	0,10	0,25	0,20	0,81***	0,19	0,60**	0,26	0,27	0,39	0,03	1,00		
Couleur	0,37	0,65 **	0,63**	0,65 **	0,39	0,27	0,28	0,92***	0,29	0,65 **	0,34	0,21	0,61 **	0,17	0,92***	1,00	
Proline	0,03	0,67 **	0,67**	0,84***	0,61**	0,17	0,05	0,96***	0,14	0,39	0,28	0,01	0,70 **	0,19	0,79***	0,90***	1,00

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

HMF : Hydroxyméthylfurfural. **CUPRAC**: Cupric Reducing Antioxidant Capacity Assay. **FRAP**: Ferric Reducing Antioxidant Power. **Ferro**: ferrozine. **H**: Humidité. **CE**: conductivité électrique. **P-molyb** : phosphomolybdate. **PR** : pouvoir réducteur. **DPPH**: 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl. **ABTS**: Acide 2-2-azinobis -3- éthylbenzothiazoline-6-sulfonique. **P** : polyphénols. **F** : flavonoïdes.

Tableau V : Matrice de corrélation entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-inflammatoire.

	Couleur	Proline	P	F	DPPH	ABTS	PR	FRAP	Ferro	CUPRAC	P-moly	A,anti-inf 2 mg/ml	A,anti-inf 1 mg/ml	A,anti-inf 0,5 mg/ml
Couleur	1,00													
Proline	0,90***	1,00												
P	0,92***	0,79***	1,00											
F	0,17	0,19	0,03	1,00										
DPPH	0,21	-0,01	0,27	-0,04	1,00									
ABTS	0,61	0,70**	0,39	0,51*	0,24	1,00								
PR	0,91***	0,96***	0,81***	0,28	0,08	0,75***	1,00							
FRAP	0,63**	0,67**	0,51	0,32	0,45	0,83***	0,71***	1,00						
Ferro	-0,39	-0,61**	-0,10	-0,34	0,22	-0,74***	-0,59**	-0,54*	1,00					
CUPRAC	0,65**	0,67**	0,49	0,40	0,50*	0,91***	0,75***	0,84***	-0,59**	1,00				
P-moly	-0,65**	-0,39	-0,60**	-0,13	-0,26	-0,20	-0,42	-0,22	0,01	-0,29	1,00			
A,anti-inf 2 mg/ml	-0,59	-0,12	-0,00	-0,72***	0,27	-0,42	-0,21	-0,25	0,28	-0,21	-0,11	1,00		
A,anti-inf 1 mg/ml	-0,16	-0,33	-0,02	-0,71***	0,51*	-0,50*	-0,36	-0,22	0,51*	-0,24	-0,08	0,86***	1,00	
A,anti-inf 0,5 mg/ml	-0,27	0,49*	-0,14	-0,30	0,7***	-0,25	-0,41	0,05	0,49*	-0,01	0,13	0,45	0,74***	1,00

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

P : polyphénols. F : flavonoïdes. DPPH : 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl. ABTS: Acide 2-2-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique. PR : pouvoir réducteur. FRAP: Ferric Reducing Antioxydant Power. Ferro: ferrozine. CUPRAC: Cupric Reducing Antioxydant Capacity Assay. P-moly : phosphomolybdate. A.anti-inf : activité anti-inflammatoire

VII.3. Corrélations entre les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique

La matrice de corrélation (tableau VI) montre des corrélations très hautement significatives entre l'activité anti-brunissement enzymatique à 48 h et à 72 h avec un coefficient de corrélation de 0,94. Il est à noter également des corrélations très significatives entre l'activité anti-PPO (24 h), le taux de proline, le pouvoir réducteur et les tests FRAP et CUPRAC (0,76 ; 0,74 ; 0,74 et 0,75, respectivement). De plus, elle est observée entre l'activité anti-PPO (48 et 72 h) et le test ABTS avec 0,72 et 0,77, respectivement. Il y a aussi des corrélations significatives entre l'activité anti-brunissement à 24 h et les tests à la ferrozine et ABTS (0,21 ; 0,61, respectivement). En outre, l'activité anti-brunissement enzymatique à 24 h présente une corrélation significative avec les polyphénols ($r = 0,21$). En effet, le miel *Fagaceae* M4 présente la plus grande teneur en polyphénols et la meilleure activité anti-PPO qui peut être expliquée par sa richesse en acides phénoliques tels que les acides cafféique, férulique, sinapique et cinnamique ainsi qu'en peptide 600 Da.

Tableau VI : Matrice de corrélation entre la couleur, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique.

	Couleur	Proline	P	F	DPPH	ABTS	PR	FRAP	Ferro	CUPRAC	P-moly	A. brun T	A. brun 24 h	A. brun 48 h	A. brun 72 h
Couleur	1,00														
Proline	0,74**	1,00													
P	0,77**	0,37	1,00												
F	-0,45	-0,09	-0,79**	1,00											
DPPH	0,77**	0,38	0,94**	-0,72**	1,00										
ABTS	0,49	0,82***	-0,07	0,23	-0,04	1,00									
PR	0,73**	0,93***	0,40	-0,12	0,35	0,78**	1,00								
FRAP	0,66*	0,90***	0,30*	-0,09	0,29	0,74**	0,90**	1,00							
Ferro	-0,40	-0,78**	0,16	-0,30	0,12	-0,90**	-0,75**	-0,81**	1,00						
CUPRAC	0,74**	0,94***	0,37*	-0,12	0,41	0,83**	0,93**	0,87**	-0,79**	1,00					
P-moly	-0,78**	-0,38	-0,60*	0,24	-0,55	-0,23	-0,39	-0,26	0,19	-0,36	1,00				
A. brun T	0,02	0,56	-0,40	0,36	-0,36	0,75	0,53	0,63	-0,76	0,57	0,38	1,00			
A. brun 24 h	0,40	0,76**	0,21*	-0,14	0,20	0,61*	0,74**	0,74**	-0,53	0,75**	0,17	0,75**	1,00		
A. brun 48 h	0,03	0,56	-0,38	0,39	-0,38	0,72**	0,54	0,62*	-0,72**	0,54	0,36	0,97***	0,77**	1,00	
A. brun 72 h	-0,01	0,57	-0,40	0,37	-0,39	0,77**	0,55	0,62*	-0,74**	0,56	0,39	0,96***	0,73**	0,94***	1,00

Chiffre en rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

P : polyphénols. **F** : flavonoïdes. **DPPH**: 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl. **ABTS**: Acide 2-2-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique. **PR** : pouvoir réducteur. **FRAP**: Ferric Reducing Antioxydant Power. **Ferro**: ferrozine. **CUPRAC**: Cupric Reducing Antioxydant Capacity Assay. **P-moly**: phosphomolybdate. **A. brun T** : Activité anti-brunissement enzymatique du témoin. **A. brun** : Activité anti-brunissement enzymatique des miels.

VIII. ACP des paramètres physicochimiques, antioxydants, activités antioxydante et anti-inflammatoire

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode de réduction de dimension de l'information contenue dans une large base de données en un certain nombre de variables synthétiques appelées « Composantes principales (CP) ». Elle est utilisée pour déterminer les similitudes entre les miels analysés ainsi que les relations entre les variables étudiées dans un espace bidimensionnel (Otmani *et al.*, 2021).

Le cercle de corrélation (Figure 29) montre deux composantes principales CP1 et CP2 qui représentent 74,58 % de la variation totale et qui sont utilisées dans l'interprétation des données. La CP1 explique 57,19 % des données et elle représente dans la partie positive l'HMF tandis que dans la partie négative, il y a la teneur en eau et les activités antioxydantes (test de DPPH, ABTS, CUPRAC et FRAP) et activité anti-inflammatoire à différentes concentrations. Cependant, la CP2 explique 17,39 % des données et représente la proline, les protéines, la conductivité électrique, le pouvoir réducteur, les polyphénols ainsi que la couleur dans la partie positive ; le pH, le brix et les tests à la ferrozine et phosphomolybdate dans la partie négative. En outre, cette figure montre qu'il y a une corrélation étroite entre les plusieurs paramètres (couleur, conductivité électrique, protéines, proline, polyphénols, flavonoïdes, activités anti-inflammatoire et antioxydante (tests CUPRAC, pouvoir réducteur, DPPH, ABTS et FRAP)) car ils sont regroupés dans le cercle de corrélation.

La discrimination par CP1 montre cinq groupes d'échantillons de miels. Deux groupes se retrouvent dans la partie gauche de la figure 30 : le premier groupe représente l'échantillon M3 qui possède la meilleure teneur en proline, conductivité électrique, pouvoir réducteur et test FRAP le deuxième groupe contient le miel M4 qui montre une meilleure activité anti-inflammatoire à (0,5 ; 1 et 2 mg/ml) et antioxydante (tests de DPPH, à la ferrozine et teneur en polyphénols). Les deux autres groupes localisés dans la partie droite contiennent les échantillons de miels d'importation M5 et M6 et montrent des valeurs faibles en paramètres physicochimiques et activités biologiques. Le dernier groupe se situe au centre et regroupe les miels M1 et M2. Ces miels présentent une similarité dans leurs teneurs en eau et brix. Les résultats de l'ACP montrent une différence significative entre les miels naturels M1 et M2, M3, M4 et les miels falsifiés M5 et M6 en terme des paramètres physicochimiques, teneurs en composés antioxydants et activités antioxydante et anti-inflammatoire. Le cercle de corrélation confirme les corrélations obtenues dans cette étude. En effet, la proline et la conductivité électrique manifestent une corrélation très hautement

significative ($r = 0.96$) qui se traduit par le rapprochement très fort de ces paramètres dans le figure 29.

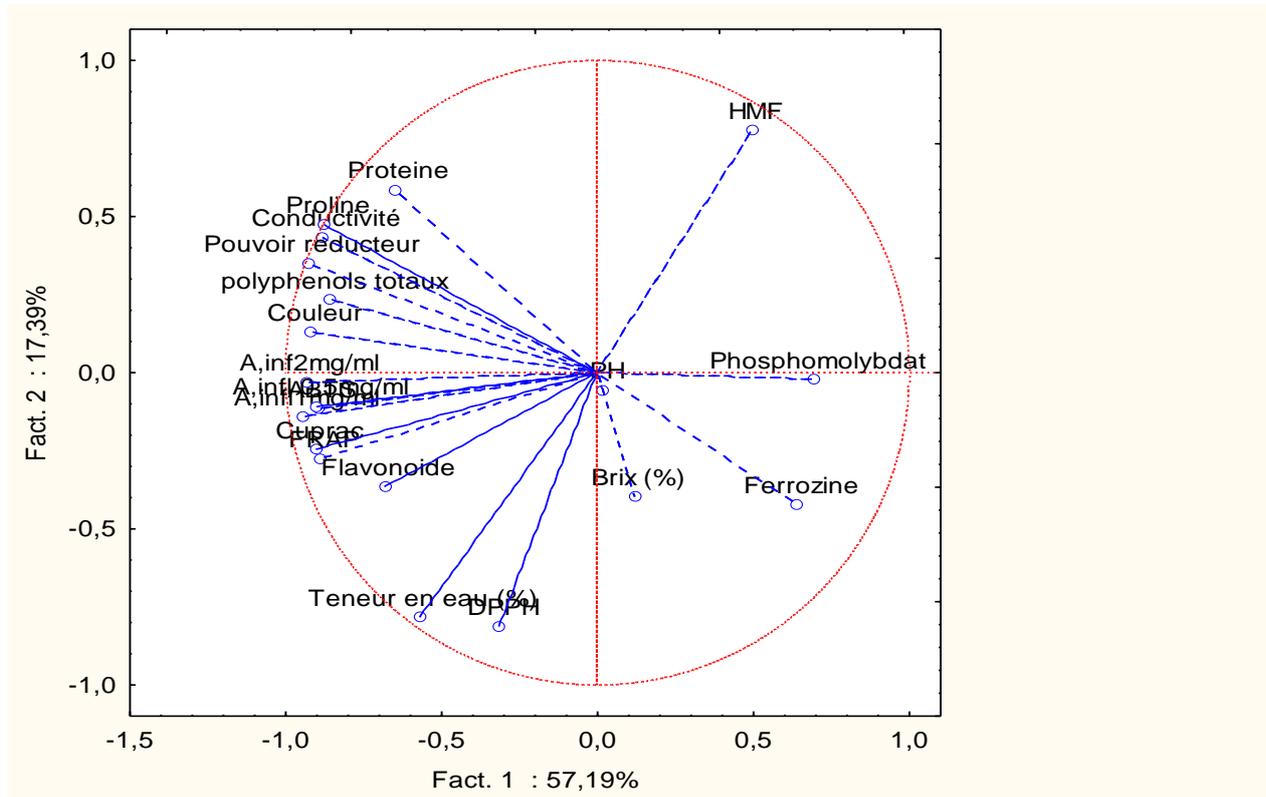


Figure 29 : Cercle de corrélation des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-inflammatoire des échantillons de miels analysés.

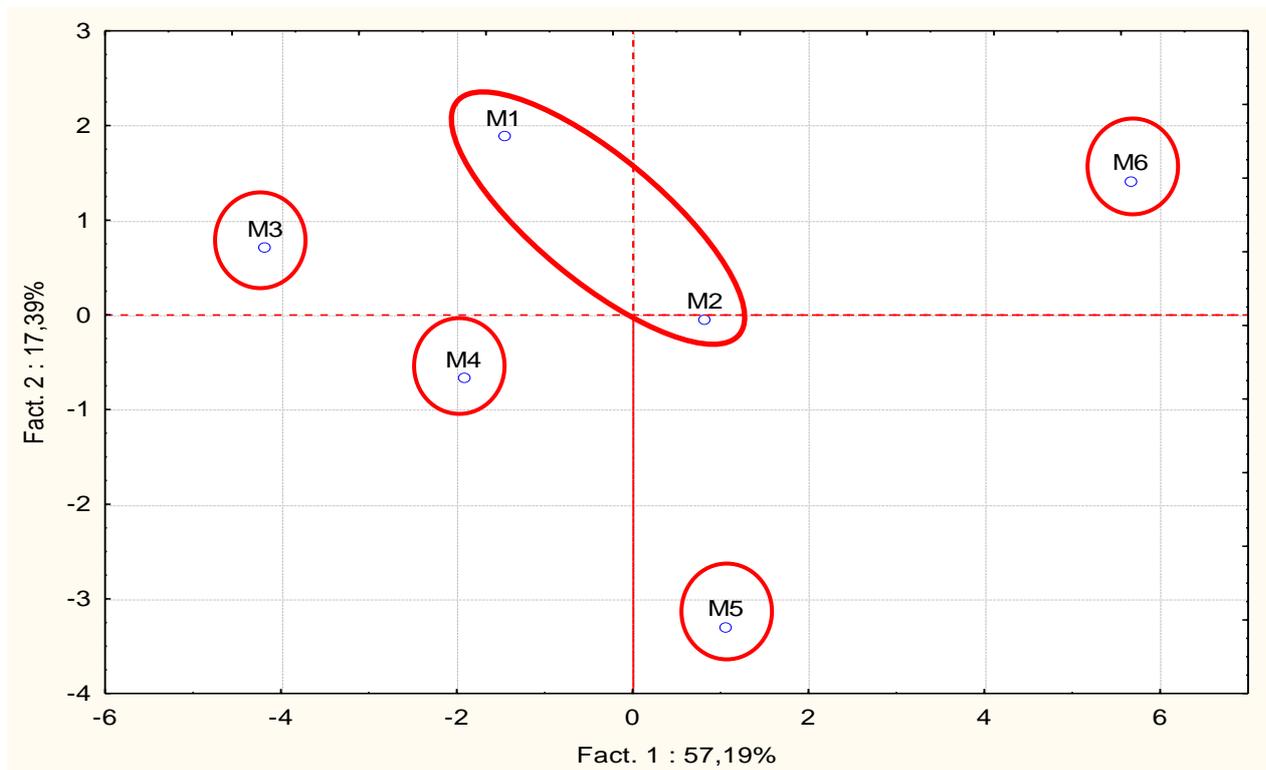


Figure 30 : ACP des paramètres physicochimiques, teneurs en antioxydants et activités biologiques des miels analysés.

Conclusion

Conclusion

Ce travail de recherche est concentré sur l'étude des origines botaniques, des propriétés physico-chimiques, des activités antioxydante et anti-inflammatoire ainsi que le pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique de quatre miels locaux (Ouzellaguen, Yakouren, Gouraya) et de deux miels d'importation. L'analyse pollinique montre quatre miels monofloraux avec deux pollens dominants (*Fabaceae* et *Fagaceae*) et l'absence de pollens dans les miels d'importation (M5 et M6) ce qui confirme leurs falsifications.

Les résultats des paramètres physico-chimiques montrent que l'humidité, le brix, le pH et la conductivité électrique des six miels analysés sont en accord avec les normes internationales et varient de 14 à 17 % ; 81 à 84 % ; 4 à 4,5 ; 0,1 à 2,3 mS/cm, respectivement. Cependant, les teneurs en HMF et en proline des miels commerciaux (M5 et M6) ne répondent pas aux limites tolérées contrairement aux vrais miels (8 à 51 mg/kg ; 0 à 802 mg/kg, respectivement).

Les taux en protéines, polyphénols et flavonoïdes varient de 0,2 à 0,4 mg EBSA/100 g ; 56 à 248 mg EAG/100 g et 47 à 74 mg EQ/100 g, respectivement. Les six échantillons de miels révèlent une activité antioxydante démontrée par sept méthodes différentes : activités anti-radicalaires DPPH et ABTS, le pouvoir réducteur, les tests FRAP, ferrozine, CUPRAC et la réduction de phosphomolybdate, les résultats obtenus oscillent de 50 à 76 % ; 2 à 48 % ; 124 à 412 mg EAG/100 g ; 28 à 332 mg EAG/100 g ; 27 à 41 % ; 0,021 à 56 mg EAG/100 g ; 51 à 90 mg EAG/100 g, respectivement.

Les résultats de l'activité anti-inflammatoire par inhibition de la dénaturation de la BSA varient de 11 à 79 %. Aussi, l'activité anti-PPO des miels naturels testés sur les tranches de pomme oscille entre 30 et 41 UB. De différentes corrélations (très hautement et hautement significative) sont observées entre les paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique. Ces corrélations indiquent que les miels locaux M3 et M4 présentent les meilleurs résultats en paramètres physico-chimiques et activités biologiques contrairement aux miels d'importation M5 et M6.

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

- Réalisation d'autres activités biologiques notamment l'activité antifongique.
- Etude de l'effet de suivi du temps d'incubation au-delà de 72 h pour les pommes imbibées de miel.
- Etude de l'effet anti-brunissement enzymatique sur les pommes sans addition de miel à 4 °C.
- Etude du pouvoir anti-brunissement enzymatique du miel avec d'autres techniques et sur d'autres fruits et légumes.
- Etude des profils des composés phénoliques et des minéraux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adams, C.J., Boulton, C.H., Deadman, B.J., Farr, J.M., Grainger, M.N.C., Manley-Harris, M., & Snow, M.J. (2008).** Isolation by HPLC and characterisation of the bioactive fraction of New Zealand manuka (*Leptospermum scoparium*) honey. *Carbohydrate Research*, 343, 651–659.
- Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000).** Tomato lycopene and its role in human health and chronic disease. *Canadian Medical Association*, 163 (6), 739-744.
- Al, M.L., Daniel, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., & Bogdanov, S. (2009).** Physicochemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania. *Food Chemistry*, 112, 863-867.
- Al-Farsi, M., Al-Amri, A., Al-Hadhrami, A., & Al-Belushi, S. (2018).** Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*, 4 (10), 1-14.
- Alisi, C. (2012).** Antioxidant content and free radical scavenging activity of honeys of *Apis mellifera* of Obudu cattle ranch. *International Journal of Biochemistry Research*, 2(4), 164–175.
- Aljadi, A.M., & Kamaruddin, M.Y. (2004).** Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. *Food Chemistry*, 85 (4), 513–518.
- Al-Mamary, M., Al-Meerri, A., & Al-Habori, M. (2002).** Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, 22 (9), 1041–1047.
- Alqarni, A.S., Owayss, A.A. & Mahmoud, A.A. (2012).** Physicochemical characteristics, total phenols and pigments of national and international honeys in Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry*, 9 (1), 114-120.
- Alvarez-Suarez, J.M., Tulipani, S., Díaz, 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, polyphenols content and other chemical compounds. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (9), 2490–2499.
- Amessis-Ouchemoukh, N., Maouche, N., Otmani, A., Terrab, A., Madani, K., & Ouchemoukh, S. (2021).** Evaluation of Algerian's honey in terms of quality physicochemical analysis and their antioxidant powers. *Mediterranean journal of nutrition and metabolism*, 14, 305- 324.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S.E. (2004).** New total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reduction capacity in the presence of neocuproin: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7970-7981.
- 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.

- Ayad, R., Amessis-Ouchemoukh, N., Ouchemoukh, S., Madani, K., & Boulekbache-Makhlouf, L. (2021).** Pollen profiles, physicochemical characteristics, and antioxidant activities of two honey samples from Jijel city (Algeria). *Food Technology*, 45 (2), 147-167.
- Azeredo, L.C., Azeredo, M.A.A., 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.
- Barrett, D.M., Somogyi, L.P., & Ramaswamy, H.S. (2005).** Processing fruits (Sciences and Technology). 2^e ed. USA: *CRC Press*, 841.
- Bang, L.M., Bunting, C., & Molan, P.C. (2003)** .The effect of dilution on the rate of hydrogen peroxide production in honey and its implications for wound healing. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 9, 267–273.
- 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.
- Benhanifia, M.B., Boukraâ, L., Hammoudi, S.M., Sulaiman, S.A., & Manivannan, L. (2011).** Recent patents on topical application of honey in wound and burn management. *Recent Patents on inflammation & Allergy Drug Discovery*, 5 (1), 81–86.
- Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Maffei-Faciano, R. (2005).** Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric and two-Dimensional High-Resolution Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (15), 8495-8501.
- Bertoncelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007).** Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105 (2), 822-828.
- Biluca, F.C., Da-Silva, B., Caon, T., Mohr, E.T.B., Vieira, G.N., Gonzaga, L.V., Vitali, L., Micke, G., Fett, R., Dalmarco, E.M., & Costa, A.C.O. (2020).** Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (*Meliponinae*). *Food Research International*, 129, 108-756.
- Blanc, M. (2010).** Propriétés et usage médical des produits de la ruche. Thèse de doctorat : université Limoges, 142.
- Bogdanov, S. (1999).** Stockage, Cristallisation et liquéfaction du miel. *Centre Suisse de Recherche Apicole*, 1-5.
- Bogdanov, S., Bieri, K., Figar, M., Figueiredo, V., Iff, D., Känzig, A., Stöckli, H. & Zürche, K. (1995).** Miel: définition et directives pour l'analyse et l'appréciation. *Centre Suisse de Recherches Apicoles*, 1-26.
- Bogdanov, S., Bieri, K., Kilchenmann, V., Gallmann, P., Pollenanalyse, I F., & Kehrsatz. (2005).** Miels monofloraux suisses. *Centre Suisse de recherches apicoles*, 55.
- Bogdanov, S., Lüllman, C., Martin, P., Von-Der, W., Russmann, H., Vorwohl, G., Persano-Oddo, L., Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., Piro, R., Flamini, C., Morlot, M., Heritier, J., Borneck, R., Marioleas, P., Tsigouri, A., Kerkvliet, J., Ortiz, A., Ivanov, T., Darcy, B., Mossel, B. & Vit, P. (1999).** Honey quality and international regulatory standards: review by the international honey commission. *Bee World*, 80 (2), 61–69.

- Bogdanov, S., Mrtin, P., Lullman, C., Borneck, R., Flamini, C.H., Marlot, M., Heritier, J., Ortiz, O., & Ivano, T.Z. (1997).** Harmonised methods of the European Honey commission. *Apidologie*, 1-59.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & Persano, O.L. (2004).** Physico-chemical methods for characterisation of unifloral honeys. *Apidologie*, 35 (1), 4-17.
- Boizot N., Charpentier, J.P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. INRA, Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, *Journal of Chemistry*, 206, 25-39.
- Bonté, F., & Desmoulière, A. (2013).** Le miel : origine et composition. *Actualités Pharmaceutiques*, 52, 18–21.
- Bouhala, A., Ouchemoukh, S., Moussi, A., & Beldjoudi, S. (2020).** Altitude effect on the properties of honeys from the region of Jijel (Algeria). *Food quality and functionality*.70, 169-178.
- 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. (2002).** Les produits de la ruche. In : *Le traité rustica de l'apiculture*. Paris : Rustica, 354-384.
- Bruneton, J. (2008).** Pharmacognosie : phyto-chimie et plantes médicinales. 5th ed, Parie : Tec et Doc, 199–339.
- Bueno-Costa, F.M., Zambiasi, R.C., Bohmer, B.W., Chaves, F.C., Silva, W.P., Zanusso, J.T., & Dutra, I. (2016).** Antibacterial and antioxidant activity of honeys from the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Science and Technology*, 65, 333–340.
- Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Akyuz, E., Silici, S., & Kolayli, S. (2015).** An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry*, 180, 133–141.
- Čanadanović-Brunet, J., Četković, G., Šaponjac, V.T., Stajčić, S., Vulić, J., Djilas, S., Štajner, D., & Popović, B. (2014).** Evaluation of phenolic content, antioxidant activity and sensory characteristics of Serbian honey-based product. *Industrial Crops and Products*, 62, 1-7.
- Chaabi, M. (2008).** Etude phytochimique et biologique d'espèces végétales africaines: *Euphorbia stenoclada* Baill. (Euphorbiaceae), *Anogeissus leiocarpus* Guill. Thèse de Doctorat : Université Mentouri. 250, 33-34.
- Chauvin, R. (1987).** Le miel. In « La ruche et l'homme ». Edition Calmann-Lévy, 27-76.
- Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., & Engeseth, N. (1998).** The potential use of honey as an inhibitor of enzymatic browning. *Presented at Annual Meeting Institute of Food Technologists*, 29, 12-26.

- Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., Zangerl, A.R., & Engeseth, N.J. (2000).** Honey from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruits and vegetables homogenates. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 48, 4997-5000.
- Chernetsova, E.S., & Morlock, G.E. (2012).** Assessing the capabilities of direct analysis in real time mass spectrometry for 5-hydroxymethylfurfural quantitation in honey. *International Journal of Mass Spectrometry*, 314, 22-32.
- Choi, S.H., & Nam, M.S. (2020).** Classification of honeydew and blossom honeys by principal component analysis of physicochemical parameters. *Korean Journal of Agricultural Science*, 47(1), 67–81.
- Clement, H. (2011).** Le traité Rustica de l'apiculture. 2^e ed. Parie: Calmann-Lévy, 528.
- Codex alimentaire. (2001).** Revised codex standard for honey. Codex standard 12-1981, Revue, 1 (1987). 12,1-10.
- Commission Européenne. (2002).** Directive 2001/110/EC du 20 décembre 2001 relative au miel. *Journal Officiel des Communautés Européennes*, 10, 47–52.
- Conti, M.E., Finoia, M.G., Fontana, L., Mele, G., Botrè, F., & Iavicoli, I. (2014).** Characterization of Argentine honeys on the basis of their mineral content and some typical quality parameters. *Chemistry Central Journal*, 8 (44), 2-10.
- 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.
- Dastmalchi, K., Damien-Dorman, H.J., Oinonen, P.P., Darwis, Y., Laakso, I. & Hiltunen, R. (2008).** Chemical composition and *in vitro* antioxidative activity of a lemon balm (*Melissa officinalis* L.) extract., *Food Science and Technology*, 41, 391-400.
- De-Rigal, D. (2001).** Recherches sur l'inhibition du brunissement enzymatique : utilisation de préparations enzymatiques, substitués aux sulfites. Thèse de doctorat : université d'aix Marseille III, 208.
- Desmoulière, A., & Bonté, A. (2013).** Le miel, quel intérêt en cicatrisation. Le miel, de remarquables propriétés cicatrisantes. *Actualités pharmaceutiques*, 52 (531), 18 - 21.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjmi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006).** Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Food Chemistry*, 97, 654-660.
- 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.
- Ebrahimzadeh, M.A., Fereshteh, P. & Hafezi, S. (2007).** Antioxidant activities of Iranian Corn Silk. *Turkish Journal of Biology*, 32, 43-49.

- El-Seedi, H.R., El-Said, A.M.A., Khalifa, S.A.M., Göransson, U., Bohlin, L., Borg Karlson, A.K., & Verpoorte, R. (2012).** Biosynthesis, natural sources, dietary intake, pharmacokinetic properties, and biological activities of hydroxycinnamic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 10877-10895.
- Emmanuelle, H., Julie, C., & Laurent G., (1996).** Les Constituants Chimiques du miel. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaire. APISERVICES, Galerie Virtuelle apicole.
- Erel, O. (2004).** A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical Biochemistry*. 37, 277-285.
- Ferreira, I.C.F.R., Aires, E., Barreira, J.C.M., & Estevinho, L.M. (2009).** Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract. *Food Chemistry*, 114 (4), 1438–1443.
- Ferrero, M.L., Nielsen, O.H., Andersen, P.S., & Girardin, S.E. (2007).** Chronic inflammation: importance of NOD2 and NALP3 in interleukin-1beta generation. *Clinical & Experimental Immunology*, 147 (2), 227–235.
- Finola, M.S., Lasagno, M.C., & Marioli, J.M. (2007).** Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, 100 (4), 1649–1653.
- Flynn, J.L., Goldstein, M.M., Chan, J., Triebold, K.J., Pfeffer, K., Lowenstein, C.J., Schreiber, R., Mark, T.W., & Bloom, B.R. (1995).** Tumor necrosis factor is required in the protective immune response against *Mycobacterium tuberculosis* in mice. *Immunity* 2, 561–572.
- Galhardo, D., Garcia, R.C., Schneider, C.R., Braga, G.C., Chambo, E.D., Franca, D.L. B., & Stöher, S.M. (2020).** Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* honey from western Parana, southern Brazil. *Food science and technology*, 41 (1), 247-253.
- Garait, B. (2006).** Le stress oxydant induit par voie métabolique (Régime alimentaires) ou par voie gazeuse (Hyperoxie) et effet de la Glisodin®. Thèse de Doctorat : Université Joseph Fouriere, 195.
- Genot, C., Eymard, S., & Viau, M. (2004).** Comment protéger les acides gras polyinsaturés à longues chaînes oméga 3 vis-à-vis de l'oxydation, Oléagineux, corps gras, lipides, *Food Chemistry* 11 (2), 133-141.
- Gonnet, M. (1982).** Le miel ; composition, propriétés, conservation. Echauffour. 2^{ème} ed. Paris : Opidia, 31.
- Goodarzi, B. & Khosravi, A. (2013).** The Effects of simultaneous 8 weeks *Astragalus* sp/ *Euphorbia cheriradenia* honey supplementation and endurance training on membrane lipid peroxidation of erythrocytes after a bout acute Exhaustive treadmill exercise in rats. *European Academic Research*, 1 (2), 2286- 4822.
- Guillon, N. (1996).** Etude de l'activité antibactérienne du miel. Thèse de Doctorat en pharmacie : université de Limoges, 182.

- Gülcin, İ., Alici, H.A., & Cesur, M. (2005).** Determination of *in Vitro* Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Propofol. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 53 (3), 281-285.
- Hoyet, C. (2005).** Le miel : De la source à la thérapeutique. Thèse de Doctorat en pharmacie : Université Henri Poincaré – Nancy, 189.
- Hussein, S.Z., Mohd-Yusoff, K., Makpol, S., & Mohd Yusof, Y.A. (2012).** Gelam honey inhibits the production of proinflammatory mediators NO, PGE (2), TNF- α and IL-6 in carrageenan-induced acute paw edema in rats. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1–12.
- Idris, M.A., Mariod, A.A., & Hamad, S.I. (2011).** Physicochemical characterization and antioxidant activity of Palestinian honey samples. *Food science & nutrition*, 6 (8), 2056-2065.
- Imtara, H., Elamine, Y., & Lyoussi, B. (2018).** Physicochemical characterization and antioxidant activity of Palestinian honey samples. *Food Science and Nutrition*, 6 (8), 2056-2065.
- Issaad, F.Z, Fernandes, I.P.G., Enache, T.A, Mouats, C., & Oliveira-Brett, A.M. (2018).** Honey and pollen phenolic composition, antioxidant capacity, and DNA protecting properties. *Electroanalysis*, 30, 1-9.
- Jeon, M., & Zhao, Y. (2005).** Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56 (3), 165-176.
- Kähköen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T.S., & Heinonen, M. (1999).** Antioxydant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 3954-3962.
- Kamaruzzaman, M.A., Chin, K.Y., & Mohd-Ramli, E.S. (2019).** A Review of potential beneficial effects of honey on bone health. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1, 110.
- Karthik, K., Kumar, B.R., Priya, V., Kumar, S., & Rathore, R.S.B. (2013).** Evaluation of anti-inflammatory activity of canthium parviflorum by *in-vitro* method. *Indian journal of research in pharmacy and biotechnology*, 1 (5), 729-730.
- Kassim, M., Achoui, M., Mansor, M., & Yusoff, K.M. (2010).** The inhibitory effects of Gelam honey and its extracts on noucheitric oxide and prostaglandin E2 in inflammatory tissues. *Fitoterapia*, 81 (8), 1196–1201.
- 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.
- Ke-Lyke, R., Burges, Y., Cissoko, L., Sangare, M., & Dao, I. (2004).** Niveaux sériques des cytokines pro-inflammatoires interleukine-1 béta (IL-1 β), IL-6, IL-8, IL-10, facteur de nécrose tumorale alpha et IL-12 (p70) chez les enfants maliens. *Infection et immunité*, 72 (10), 5630-5637.

Kerbouche, L. (2010). Composition chimique et activité biologique des huiles essentielles de quelques plantes des familles de labiacées et de cupressacées. Mémoire de magister en science agronomique : ENSA El-Harrache, 133.

Khalil, M.I., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Islam, M.A., Islam, M.N., Sulaiman, S.A., & Gan, S.H. (2012). Physicochemical and antioxidant properties of Algerian Honey. *Molecules*, 17, 199–215.

Kingsley, A. (2002). Wound healing and potential therapeutic options. *Prof Nurse*, 17, 539–544.

Kolayli, S., Sahin, H., Can, Z., Yildiz, O., Malkoc, M., & Asadov, A. (2016). A member of complementary medicinal food: anatolian royal jellies, their chemical compositions, and antioxidant properties. *Journal of Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 21 (4), 43-48.

Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., Bacandritsos, N., & Sabatini, A. G. (2004). Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 64 (1), 9-21.

Le blanc, B.W., Davis, O.K., Boue, S., De-Lucca, A., & Deeby, T. (2009). Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen. *Food Chemistry*, 115 (4), 1299-1305.

Le conte, Y. (2002). La vie sociale de la colonie. In : Le traité rustica de l'apiculture. Paris : Rustica, 54-83.

Leong, A.G., Herst, P.M., & Harper, J.L. (2012). Indigenous New Zealand honeys exhibit multiple anti-inflammatory activities. *Immunology*, 18, 459–466.

Lequet, L. (2010). Du nectar à miel de qualité : contrôles analytiques du miel et conseils pratiques à l'intention de l'apiculteur amateur. Doctorat en pharmacie : université Claude-Bernard-Lyon I, 205.

Lewoyehu, M., & Amare, M. (2019). Comparative evaluation of analytical methods for determining the antioxidant activities of honey. *Cogent Food & Agriculture*, (5), 1-24.

Linkon, K.M.R., Proadhan, U.K., Hakim, M.A., & Md-Abdul Alim, M.A. (2015). Study on the physicochemical and antioxidant properties of nigella honey. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4 (2), 137-140.

Liu, J., Ye, Y., Lin, T., Wang, Y., & Peng, C. (2013). Effect of floral sources on the antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities of honeys in Taiwan. *Food Chemistry*, 139 (1-4), 938–943.

Lokossou, S.C., Tchobo, F.P., Yédomonhan, H., & Soumanou, M.M. (2017). Physicochemical characterization and polyphenolic content of Beninese Honeys. *International Scholarly Research Notices*, 1-8.

Louveaux, J. (1985). Les abeilles et leur élevage. 1st Ed. Paris : Opida, 165-181.

Louveaux, J., Maurizio, A. & Vorwohl, G. (1978). Methods of melissopalynology. *Bee World*, 59, 139–157.

- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Allemand, C. J. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux. *Presses Polytechniques*, 85-97.
- Majewska, E., Drużyńska, B., & Wołosiak, R. (2019).** Determination of the botanical origin of honeybee honeys based on the analysis of their selected physicochemical parameters coupled with chemometric assays. *Food Science and Biotechnology*, 28 (5), 1307–1314.
- Majtan, J., Bohova, J., Garcia-Villalba, R., Tomas-Barberan, F.A., Madakova, Z., Majtan, T., Majtan, V., & Kludiny, J. (2013).** Fir honeydew honey flavonoids inhibit TNF- α -induced MMP-9 expression in human keratinocytes: a new action of honey in wound healing. *Archives of Dermatological Research*. 305 (7), 619 - 627.
- 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.
- Marieke, M., Henk, B., Leen, L., Jaap K., & Jan, W. (2005).** Produits de l'apiculture. In : Wageningen, D. *Propriétés, transformation et commercialisation du miel*. Pays- Bas : Agromisa, 40-55.
- Mbogning, E., Tchoumboue, J., Damesse, F., Sobze, M.S., & Canini, A. (2011).** Caractéristiques physico-chimiques des miels de la zone Soudano-guinéenne de l'Ouest et de l'Adamaoua Cameroun. *Tropicicultura*, 29 (3), 168-175.
- Mcanalley, S., Koepke, C.M., Le, L., Vennum, E., Mcanalley, R., & Mcanalley, B. (2003).** *In vitro* methods for testing antioxidant potential. *GlycoScience and Nutrition*, 4 (42), 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.
- Milek, M., Bocian, A., Kleczyńska, E., Sowa, P., & Dżugan, M. (2021).** The comparison of physicochemical parameters, antioxidant activity and proteins for the raw local Polish honeys and imported honey blends. *Molecules*, 26 (9), 2423.
- Missio da Silva, P., Gauche, C., Gonzaga, L.Y., Oliveira Costa, A.C. & Fett, R. (2016).** Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309- 323.
- Mohdaly, A.A.A., Mahmoud, A.A., Roby, M.H.H., Smetanska, I., & Ramadan, M.F. (2015).** Phenolic extract from propolis and bee pollen: composition, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Food Biochemistry*, 39 (5), 538–547.
- Molina, F.O., Alizadeh, K., Bucarey, S.A., Castaneza-Zúñiga, E., & Vásquez-Quitral, P. (2020).** Analysis of organic molecules, physicochemical parameters and pollen as indicators for authenticity, botanical origin, type and quality of honey samples examined. *International Journal of Food Properties*, 23 (1), 2242–2256.
- Moniruzzaman, M., Sulaiman, S.A., Md-Ibrahim-Khalil, M.I., & Gan, S.H. (2013).** Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys : a comparison with manuka honey. *Chemistry Central Journal*, 7, 138-150.

- Mouhoubi, T.Z., Ouchemoukh, S., Bachir-bey, M., Loualeche, H. & Tamendjari, A. (2018).** Effect of storage on hydroxymethylfurfural (HMF) and color of some Algerian honey. *International Food Research Journal*, 25 (3), 1044-1050.
- Nabas, Z., Haddadin, M.S.Y., Haddadin, J., & Nazer, I.J. (2014).** Chemical composition of royal jelly and effects of synbiotic with two different locally isolated probiotic strains on antioxidant activities. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64, 171-180.
- 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. (2006).** Biodiversité végétale et qualité du miel dans la région nord-ouest Algérienne. Mémoire de magister d'écologie, 185.
- Nair, S. (2014).** Identification des plantes mellifères et analyses physicochimiques des miels Algériens. Thèse Doctorat, Biochimie. Université d'Oran, 134.
- Naithani, V., Nair, S., & Kakkar, P. (2006).** Decline in antioxidant capacity of Indian herbal teas during storage and its relation phenolic content. *Food Research International*, 39, 176-181.
- Nguyen, H.T.L., Panyoyai, N., Paramita, V.D., Mantri, N., & Kasapis, S. (2018).** Physicochemical and viscoelastic properties of honey from medicinal plants. *Food Chemistry*, 241, 143-149.
- Nkhili, E.Z. (2009).** Polyphénols de l'Alimentation: Extraction, Interactions avec les ions du fer et du Cuivre, oxydation et pouvoir antioxydant. Thèse Doctorat : Université Cadi Ayyad. Faculté Des Sciences Semlalia Marrakech, 212.
- Oroian, M., & Ropciuc, S. (2017).** Honey authentication based on physicochemical parameters and phenolic compounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 148-156.
- Oryan, A., Alemzadeh, E., & Moshiri, A. (2016).** Biological properties and therapeutic activities of honey in wound healing: A narrative review and meta-analysis. *Journal of Tissue Viability*, 25 (2), 98-118.
- Oszmianski, J., & Lee, C.Y. (1990).** Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1892-1895.
- Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Birinci, C., Yahiaoui, S., Kolayli, S., Shantal Rodríguez-Flores, M., Escuredo, O., Carmen-Seijo, M., & Ouchemoukh, S. (2021).** Phenolic compounds and antioxidant and antibacterial activities of Algerian honeys. *Food Bioscience*, 42, 101070.
- Ouchemoukh, S., Louaileche, H., & Schweitzer, P. (2007).** Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. *Food Chemistry*, 18, 52-58.
- Ouchemoukh, S. (2012).** Caractérisation physicochimique, profils polliniques, glucidiques et phénoliques et activités antioxydantes de miels Algériens. Thèse Doctorat, Biochimie : Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 164.

- 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. *Food Science Technology*, 85, 460–469.
- Özcan, M. M., & Al Juhaimi, F. (2016).** Honey as source of natural antioxidants. *Journal of Apicultural Research*, 54 (3), 145–154.
- Özyürek, M., Kubilay, G., Tütem, E., Kevser, S.B., Erol, E.S., Esin, C., Baki, S., Yildiz, L., Karaman, S., & Apak, R. (2011).** A comprehensive review of CUPRAC methodology, *Critical Review*, 3, 2439.
- Palmieri, D., Perego, P., & Palombo, D. (2012).** Apigenin inhibits the TNF α -induced expression of eNOS and MMP-9 via modulating Akt signalling through oestrogen receptor engagement. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 371, 129–136.
- Pandey, K.B., & Rizvi, S.I. (2009).** Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2 (5), 270–278.
- Petretto, G.L., Tuberoso, C.I.G., Fenu, M.A., Rourke, J.P., Belhaj, O., & Pintore, G. (2017).** Antioxidant activity, color chromaticity coordinates, and chemical characterization of monofloral honeys from Morocco. *International Journal of Food Properties*, 20 (9), 2016–2027.
- Pita- Calvo, C., & Vazquez, M. (2017).** Differences between honeydew and blossom honeys. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 79-87.
- Prost, P.J. (1987).** L'apiculture. In : Ballière J.B., *Lavoisier*, Paris, 141-153.
- Polus, P. (2008).** Anomalies de cristallisation : séparation de phase et arborescence. *L'abeille de France*, 944, 83-84.
- Re, R., Pelligrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxydant activity applyig an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medecine*, 26, 1231-1237.
- Reille, M., & Pons, A. (1990).** Leçon de palynologie et d'analyse pollinique. *Ecologia Mediterranea*, 16, 169-193.
- Ribéreau-Gayon, P. (1968).** Les composés phénoliques des végétaux. *Edition Dunod*. Paris, 232-242.
- Ricordel, J., & Bonmatin, J.M. (2003).** Les vertus du miel dans les thériaques selon les médecins arabo-musulmans (IXe-XIIIe s). *Revue d'histoire de la pharmacie*, 337, 21-28.
- Rigal, D. (2001).** Recherche sur l'inhibition du brunissement enzymatique : utilisation de préparations enzymatiques, substituts aux sulfites. Thèse de Doctorat : Université d'AIX-Marseille 3, 191.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Trucker, G., Swatsitang, P. & Glover, W. (1999).** Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, 401-436.

- 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 surprenantes. Thèse Doctorat : université de Limoges faculté de pharmacie, 136.
- Sajid, M., Yami, M., Asad, F., Yaqubi, S., Ahmad, S., Mubariki, M. A. M. S., Amad, B., Ad, W., & Kamer, S. (2020).** Comparative study of physio-chemical analysis of fresh and branded honeys from Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27 (1), 173–176.
- Sakuma, K., Ogawa, M., Sugibayashi, I.K., Yamada, K., & Yamamoto, K. (1999).** Relationship between tyrosinase inhibitory action and oxidation-reduction potential of cosmetic whitening ingredients and phenol derivatives. *Archives Pharmacol Research.*, 22 (4), 335-339.
- Santos, J.S., Alvarenga-Brizola, V.R., & Granato, D. (2017).** High-throughput assay comparison and standardization for metal chelating capacity screening: A proposal and application. *Food Chemistry*, 214, 515–522.
- Sanz, M.L., Gonzalez, M., Lorenzo, C., Sanz, J., & Martinez-Castro, I. (2005).** A contribution to the differentiation between nectar honey and honeydew honey. *Food Chemistry*, 91, 313- 317.
- Sathish-Kumar, T., Shanmugam, S., Palvannan, T., & Bharathi Kumar, V.M. (2007).** Evaluation of antioxidant properties of *Elaeocarpus ganitrus* Roxb Leaves. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7 (3), 211-215.
- 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.
- Shiver, E. (2006).** L'abeille, ses produits de sécrétion et leurs utilisations thérapeutiques. Thèse de Doctorat : Université de Nancy, 73.
- Song, J.J., & Salcido, R. (2011).** Use of honey in wound care: an update. *Advice Skin Wound Care*, 24, 40–44.
- Sousa, J.M., 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.
- Stahl, W., & Sies, H. (2004).** Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochemical and Biophysical Activities*, 1740, 101-107.
- Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Zhihua, L., Jiyong, S., Zhai, X., Wang, S., & Mariod, A.A. (2017).** Rapid prediction of phenolic compounds and antioxidant activity of Sudanese honey using Raman and Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *Food Chemistry*, 226, 202–211.

- Takzaree, N., Hadjiakhondi, A., Hassanzadeh, G., Rouini, M.R., & Manayi, A. (2016).** Synergistic effect of honey and propolis on cutaneous wound healing in rats. *Acta Medica Iranica*, 54 (4), 233-239.
- Taylor, R.L., Higley, N.A., & Bush, R.K., (1986).** Sulfites in foods : Uses, analytical methods, residues, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity and hypersensitivity. *Advances in Food Research*, 30, 1-76.
- Temizer, I.K., Güder, A., Temel, F.A., & Cüce, H. (2018).** Antioxidant activities and heavy metal contents of *Castanea sativa* honey. *Global NEST Journal*, 20 (3), 541-550.
- Terra, A., Dire, M.J., & Heredia, F.J. (2002).** Characterization of Moroccan unifloral honeys by their physicochemical characteristics. *Food chemistry*, 79, 373-379.
- Tornuk, F., Karaman, S., Ozturk, I., Toker, O.S., Tastemur, B., Sagdic, O., Dogan, M., & Kayacier, A. (2013).** Quality characterization of artisanal and retail Turkish blossom honeys: Determination of physicochemical, microbiological, bioactive properties and aroma profile. *Industrial Crops and Products*, 46, 124-131.
- Turhan, I., Tetik, N., Karhan, M., Gurel, F., & Tavukcuoglu, H.R. (2008).** Quality of honeys influenced by thermal treatment. *Food Science and Technology*, 41 (8), 1396-1399.
- Ulusoy, E., Kolayli, S., & Sarikaya, A.O. (2010).** Antioxidant and antimicrobial activity of different floral origin honeys from Turkey. *Journal of Food Biochemistry*, 34, 321-335.
- Wali, A.F., Jabnoun, S., Razmpoor, M., Akbar, I., Al-dhaheri, Y., Khan, A., Alshahrani, S., Alhazmi, H.A., & Imtiyaz, Z. (2020).** Chrysin, an important active ingredient of honey: Beneficial pharmacological activities and molecular mechanism of action. *Therapeutic Applications of honey and its phytochemicals*, 20, 409 - 432.
- 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.
- Weston, J.S. (2002)** .Treatment of gram-positive infections: past, present, and future. *Critical Care Nursing Clinics North American*, 14 (1), 17–29.
- Wilczyńska, A. (2014).** Effect of filtration on colour, antioxidant activity and total phenolics of honey. *Food Science and Technology*, 57, 767-774.
- Woo, K.J., Jeong, Y.J., Inoue, H., Park, J.W., & Kwon, T.K. (2005).** Chrysin suppresses lipopolysaccharide-induced cyclooxygenase-2 expression through the inhibition of nuclear factor for IL-6 (NF-IL-6) DNA-binding activity. *Food Chemistry*, 579, 705–711.
- Yucel, Y., & Sultanoglu, P. (2013).** Characterization of honeys from Hatay region by their physicochemical properties combined with chemometrics. *Food Bioscience*, 1, 16-25.
- Zaid, M., Nabas, M.S.Y., Haddadin, I., & Nazer, K. (2014).** the influence of royal jelly addition on the growth and production of short chain fatty acids of two different bacterial species isolated from infants in Jordan, Pakistan. *Journal of Nutrition*, 13, 43-49.

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.

Zare, A., Ahmadi, M., & Hedayat, A. (2007) Study on anti-inflammatory effect of subcutaneous honey bee venom injection and dermal application of cream containing honey bee venom in adjuvant-induced arthritic rats. *Archives of Razi Institute*, 62 (4), 223–227.

Zbadi, R., Mohti, H., & Moussaoui, F. (2018). Stress oxydatif : évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales. *Médecine translationnelle*, 24 (2), 134 - 141.

Zduńska, K., Kołodziejczak, A., & Rotsztejn, H. (2018). Is skin microneedling a good alternative method of various skin defects removal. *Dermatol Therapy*, 12, 171.

Références électroniques

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistic) :<https://www.fao.org/faostat/en/#home> (Données de 2019), date de consultation : 05/06/2022.

ITEV (Institut Technique des Élevages) :<http://www.itelv.dz/index.php/elevages.html> (Données de 2020), date de consultation : 27/06/2022.

Annexes

Annexe 1 : Table de CHATAWAY.

Indice de réfraction à 20 °C	Teneur en eau (%)	Indice de réfraction à 20 °C	Teneur en eau (%)
1,5044	13,0	1,4885	19,2
1,5038	13,2	1,4880	19,4
1,5033	13,4	1,4875	19,6
1,5028	13,6	1,4870	19,8
1,5023	13,8	1,4865	20,0
1,5018	14,0	1,4860	20,2
1,5007	14,2	1,4855	20,4
1,5002	14,4	1,4850	20,6
1,4997	14,6	1,4845	20,8
1,4992	14,8	1,4840	21,0
1,4987	15,0	1,4835	21,2
1,4982	15,2	1,4830	21,4
1,4976	15,4	1,4825	21,6
1,4971	15,6	1,4820	21,8
1,4961	15,8	1,4815	22,0
1,4956	16,0	1,4810	22,2
1,4951	16,2	1,4805	22,4
1,4946	16,4	1,4800	22,6
1,4940	16,6	1,4795	22,8
1,4935	16,8	1,4790	23,0
1,4930	17,0	1,4785	23,2
1,4925	17,2	1,4780	23,4
1,4920	17,4	1,4775	23,6
1,4915	17,6	1,4770	23,8
1,4910	17,8	1,4765	24,0
1,4905	18,0	1,4760	24,2
1,4900	18,2	1,4755	24,4
1,4895	18,4	1,4750	24,6
1,4890	18,6	1,4745	24,8
	18,8	1,4740	25,0
	19,0		

Annexe 2 : Courbes d'étalonnages.

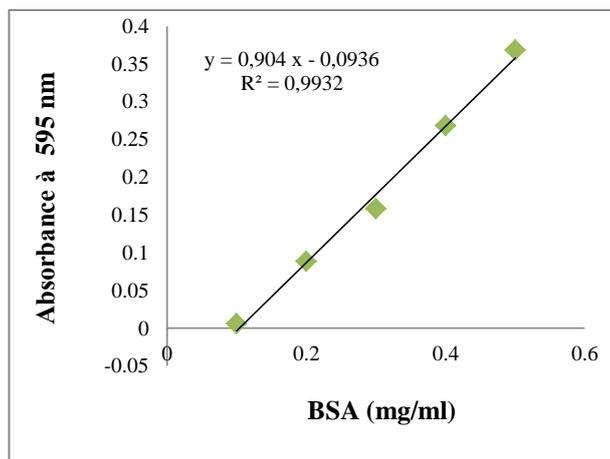


Figure 01: Courbe d'étalonnage des protéines.

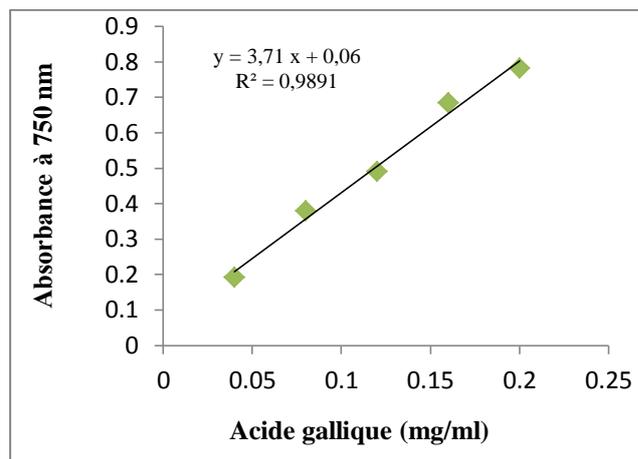


Figure 02: Courbe d'étalonnage des polyphénols.

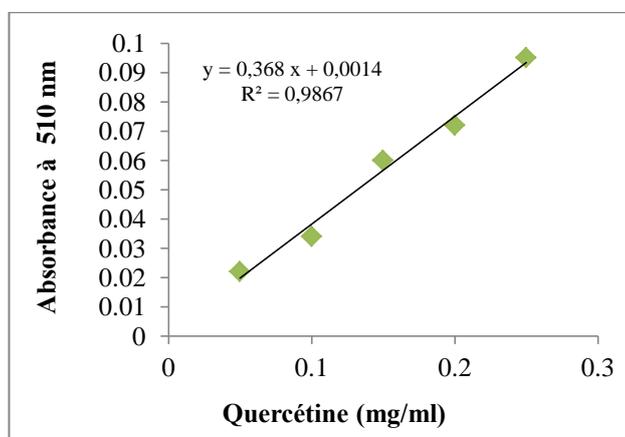


Figure 03: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

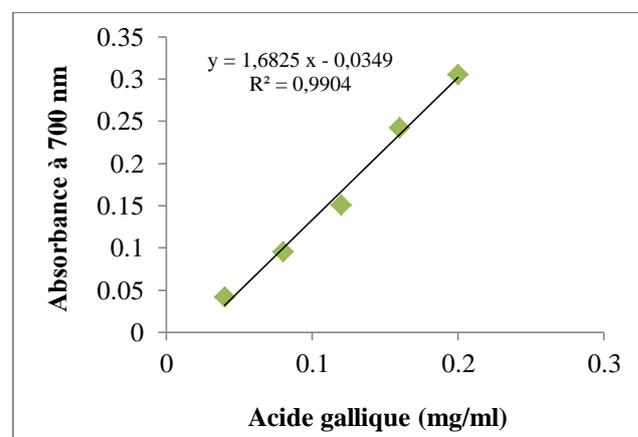


Figure 04: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

Annexe 2 : Suite.

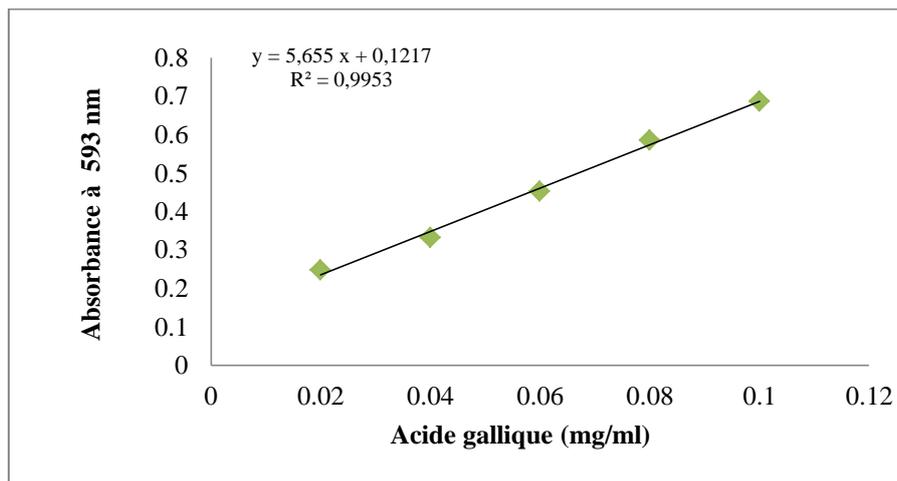


Figure 05: Courbe d'étalonnage du test FRAP

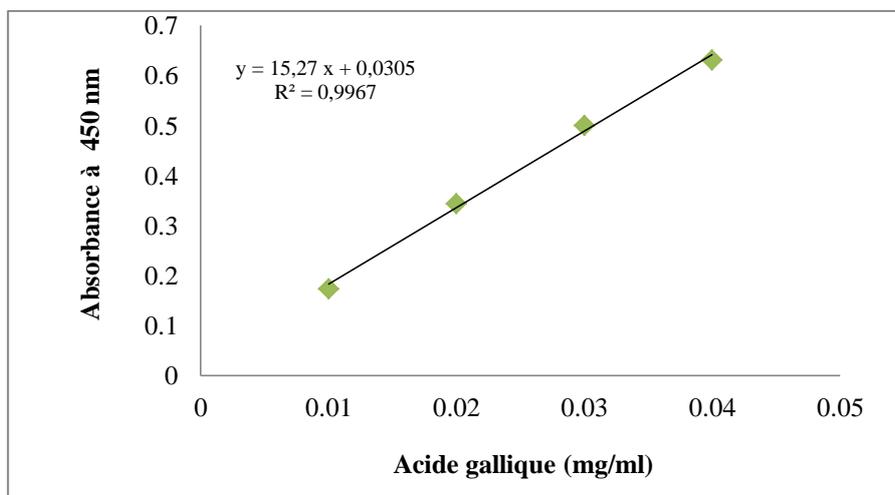


Figure 06: Courbe d'étalonnage du test CUPRAC.

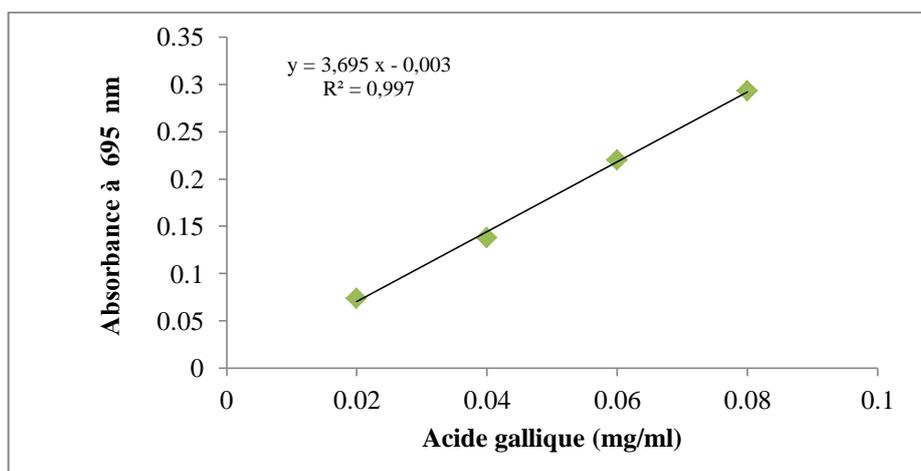


Figure 07: Courbe d'étalonnage du test au phosphomolybdate.

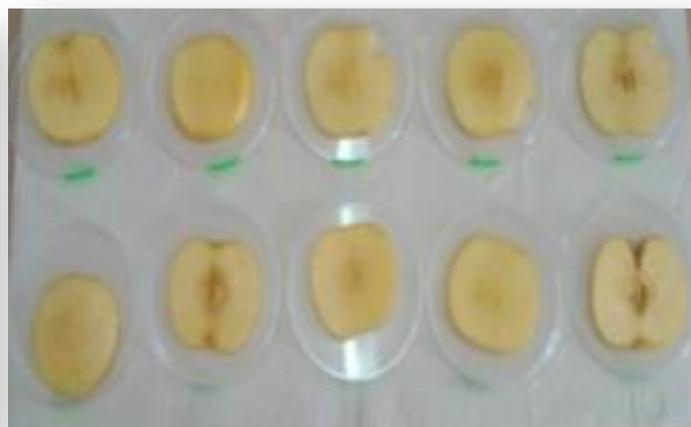
Annexe 3: Photographies de l'activité anti-brunissement des miels M1 et M3 de 30 min à 72 h.



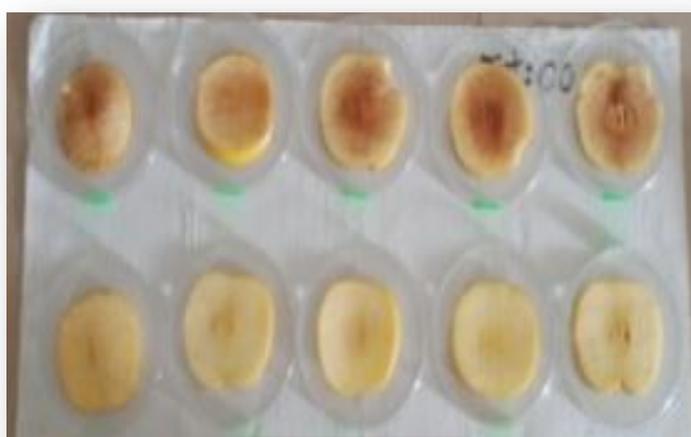
M1 30 min



M1 1 h



M1 2 h



M1 16 h



M1 24 h



M1 48 h



M1 72 h

Annexe 3 : Suite.



M3 30 min



M3 1 h



M3 2 h



M3 16 h



M3 48 h



M3 72 h

Résumé

Les principaux objectifs de ce travail sont l'évaluation de la qualité des miels Algériens, leur composition chimique, leur activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique ainsi que la confirmation de la supériorité qualitative des miels locaux par rapport à ceux importés. L'étude pollinique a montré que les quatre miels locaux sont d'origine mono-florale tandis que les deux miels d'importation sont dépourvus de pollens. Une comparaison entre les miels locaux et importés est établie en se basant sur 17 paramètres physico-chimiques et biologiques. Les résultats montrent que les miels monofloraux répondent aux normes internationales en termes de teneurs en HMF et proline contrairement aux miels d'importation. Ces derniers possèdent des taux faibles en antioxydants par rapport aux vrais miels : polyphénols (161 à 248 mg EAG/100 g) et flavonoïdes (64 à 74 mg EQ/100 g). Les miels de couleur foncés montrent les meilleures activités antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique. Ces propriétés représentent alors un bon indicateur de qualité d'un miel. L'analyse statistique révèle l'existence d'une corrélation entre la couleur du miel, sa teneur en antioxydants et ses activités biologiques (antioxydante, anti-inflammatoire et anti-brunissement enzymatique).

Mots clés : miels Algériens, miels importés, étude pollinique, HMF, proline, polyphénols, flavonoïdes, anti-inflammatoire, anti-brunissement, pommes.

Abstract

The main objectives of this work are the evaluation of the quality of Algerian honeys, their chemical composition, their antioxidant, anti-inflammatory and anti-enzymatic browning activities as well as the confirmation of the qualitative superiority of local honeys compared to those imported. The pollen study showed that the four local honeys are of mono-floral origin while the two imported honeys are devoid of pollen. A comparison between local and imported honeys is established based on 17 physicochemical and biological parameters. The results show that monofloral honeys meet international standards in terms of HMF and proline content unlike imported honeys. The latter have low levels of antioxidants compared to real honeys : polyphenols (161 to 248 mg GAE/100 g) and flavonoids (64 to 74 mg QE/100 g). Dark colored honeys show the best antioxidant, anti-inflammatory and anti-browning enzymatic activities. These properties then represent a good indicator of honey quality. Statistical analysis reveals the existence of a correlation between the color of honey, its antioxidant content and its biological activities (antioxidant, anti-inflammatory and enzymatic anti-browning).

Keywords: Algerian honeys, imported honeys, pollen study, HMF, proline, polyphenols, flavonoids, anti-inflammatory, anti-browning, apple.

المخلص

تتمثل الأهداف الرئيسية لهذا العمل في تقييم جودة العسل الجزائري، مركباته وأنشطته المضادة للأكسدة، للالتهابات و للاسمرار الأنزيمي وكذلك تأكيد التفوق النوعي للعسل المحلي مقارنة بالعسل المستورد. أظهرت دراسة حبوب اللقاح أن أنواع العسل الأربعة المحلية أصلها احادي الازهار ، بينما العسلين المستوردين يخلوان من حبوب اللقاح. تم إجراء مقارنة بين العسل المحلي والمستورد بناءً على 17 معيار فيزيو كيميائي و بيولوجي. تبين النتائج أن العسل أحادي الأزهار يفي بالمعايير الدولية من حيث مستوى هيدروكسيميثيل فورفورال والبرولين على عكس العسل المستورد. يحتوي هذا الأخير على مستويات منخفضة من مضادات الأكسدة مقارنة بالعسل الحقيقي : متعدد الفينول (161 الى 248 مغ مقابل حمض القاليك / 100 غ) والفلافونويد (64 الى 74 مغ مقابل الكيرسيتين / 100 غ). يُظهر العسل ذو اللون الداكن أفضل الأنشطة المضادة للأكسدة ، الالتهابات وكذلك الاسمرار الانزيمي. تمثل هذه الخصائص مؤشرًا جيدًا لجودة العسل. تكشف الإحصائيات عن وجود علاقة ترابط بين لون العسل ومحتواه من مضادات الأكسدة و كذلك أنشطته البيولوجية (مضاد الأكسدة ، مضاد الالتهابات و مضاد الاسمرار الأنزيمي).

الكلمات المفتاحية : عسل جزائري ، عسل مستورد ، دراسة حبوب اللقاح ، هيدروكسيميثيل فورفورال ، البرولين ، متعدد الفينول ، الفلافونويد ، مضاد الالتهابات ، مضاد الاسمرار ، تفاح.