

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie Physico-Chimique  
Spécialité Biochimie fondamentale



Réf : .....

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

**MASTER**

*Thème*

**Évaluation des teneurs en composés bioactifs et des activités antioxydantes et antibactériennes de diverses variétés de miel de la wilaya de Bejaia**

**Présenté par : OUARI Redouane & OUTALLI Amir**

Soutenu le : 01/07/2024

Devant le jury composé de :

<b>Mme. YOUS Farah</b>	<b>MCB</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme. YAHIAOUI</b>	<b>MAB</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mr. OTMANI Amar</b>	<b>MCB</b>	<b>Encadrant</b>
<b>Mr. BACHIR Seddik</b>	<b>MAA</b>	<b>Co-Encadrant</b>

**Année universitaire : 2023 / 2024**

---

# **Remerciements**

---

## *Remerciements*

Louange à ALLAH, seigneur de l'univers, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a inspiré et comblé de bienfaits, nous lui rendons grâce pour la force et la sagesse qu'il nous a accordé tout au long de cette aventure académique.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **M. OTMANI A.** Maître de Conférences B, pour ses orientations judicieuses, ses conseils avisés et son soutien constant. Sa patience, compréhension et dévouement ont été inestimables pour la réalisation de ce projet, nous permettant de surmonter les défis et d'atteindre nos objectifs.

Nous souhaitons également adresser nos sincères remerciements et notre profonde estime à **Mr BACHIR S.** son soutien moral, ses critiques constructives ont été des sources de motivation inestimables et ont considérablement enrichi ce travail.

Nous exprimons nos sincères considérations et remerciements les plus chaleureux au membre du jury, **Mme YOUS.F et Mme YAHIAOULS** qui nous font l'honneur d'examiner et d'évaluer notre travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

---

# **Dédicaces**

---

## Dédicace

*Par la grâce de Dieu, maintenant et à jamais."*

Je dédie ce travail à

Ceux qui ont été ma source inépuisable de force, de soutien et d'inspiration tout au long de ce chemin.

**À ma famille**, celle qui m'a doté d'une éducation digne. C'est grâce à eux que je suis ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement **à mes parents**, pour leur encouragement, leur compréhension et leur présence réconfortante, ainsi que pour tous les sacrifices qu'ils ont faits pour ma réussite et mon bonheur. Vous avez été mes amis les plus proches et mon exemple dans la vie.

**À mes frères et sœurs**, pour leur encouragement, leur compréhension et leur présence réconfortante. Vous avez été mes piliers et mes amis les plus proches.

**À mes amis**, qui sont pour moi bien plus que des frères, je suis infiniment reconnaissant pour leur constante présence inconditionnelle, ainsi que pour leur soutien inestimable qui m'a toujours été accord.

**Redouane**

## **Dédicace**

Je dédie humblement ce modeste travail en guise de remerciement

À mes parents, qui m'ont toujours encouragé à poursuivre mes rêves avec passion et détermination.

À mes frères et sœurs, pour leur soutien inconditionnel et leurs conseils avisés qui ont illuminé mon chemin.

À mes amis, compagnons de route fidèles, pour les moments de détente et de soutien indéfectible.

À toute notre promotion biochimie fondamentale cette année, pour notre cohésion, nos défis partagés et notre progression ensemble

Enfin, un immense merci à nos enseignants, pour leur expertise, leur patience et leur inspiration qui ont façonné mon parcours académique

Ce mémoire est dédié à toutes ces personnes exceptionnelles qui ont enrichi mon parcours et rendu cette aventure mémorable.

**Amir**

---

# **Table des matières**

---

## Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

**Introduction.....1**

### Synthèse bibliographique

#### Chapitre I : Généralités sur le miel

**I. 1. Définition.....3**

**I. 2. Élaboration de miel.....3**

**I. 3. Types de miel.....3**

I. 3. 1. Miel de nectar.....3

a. Miels monofloraux .....4

b. Miels polyfloraux .....4

I. 3. 2. Miel de miellat.....4

**I. 4. Composition chimique.....5**

I. 4. 1. Composant majeurs.....5

a. Sucres.....5

b. Eaux.....6

I. 4. 2. Composants mineurs.....6

a. Acides organiques.....6

b. Acides aminés et protéines.....7

c. Lipides.....7

d. Enzymes.....7

e. Vitamines.....7

f. Sels minéraux.....8

g. Substances aromatiques.....8

h. Hydroxymethylfurfural (HMF) .....8

## Chapitre II : Composés phénoliques et propriétés bioactives du miel

<b>II. 1. Composés phénoliques.....</b>	<b>9</b>
<b>II. 2. Propriétés bioactives.....</b>	<b>11</b>
I. 2. 1. Activité antioxydante.....	11
II. 2.2. Activité antibactérienne.....	11
II. 2.3. Activité anti-inflammatoire.....	12
II. 2.4. Activité cicatrisante.....	12
II. 2.5. Activité anticancéreuse.....	12

### Partie pratique

#### Chapitre I : Matériel et méthodes

<b>I. 1. Échantillons.....</b>	<b>13</b>
<b>I. 2. Propriétés physicochimiques.....</b>	<b>14</b>
I. 2. 1. Brix et humidité.....	14
I. 2. 2. pH .....	14
I. 2. 3. Conductivité électrique .....	14
I. 2. 4. Couleur.....	15
I. 2. 5. Acidité lactone, libre et totale.....	15
I. 2. 6. Dosage de l'HMF.....	16
I. 2. 7. Dosage des protéines.....	16
I. 2. 8. Dosage de la proline.....	16
<b>I. 3. Teneurs en composés bioactifs.....</b>	<b>17</b>
I. 3. 1. Dosage des composés phénoliques totaux.....	17
I. 3. 2. Dosage des flavonoïdes.....	17
I. 3. 3. Dosage des caroténoïdes.....	17
<b>I. 4. Activités biologiques.....</b>	<b>18</b>
I. 4. 1. Activités antioxydantes.....	18
a. Activité anti radicalaire par le test DPPH.....	18
b. Activité anti radicalaire par le test ABTS.....	18

c. Pouvoir réducteur.....	18
I. 4. 3. Activités antibactériennes.....	19
a. Test de sensibilité.....	19
b. Concentration minimale inhibitrice.....	19
<b>I. 5. Analyses statistiques.....</b>	<b>20</b>

## Chapitre II : Résultats et discussion

<b>IV. 2. Paramètres physicochimiques.....</b>	<b>21</b>
II. 2. 1. Brix.....	21
II. 2. 2. Humidité.....	22
II. 2. 3. pH.....	23
II. 2. 4. Conductivité électrique.....	24
II. 2. 5. Couleur.....	25
II. 2. 6. Acidité lactone, libre et totale.....	26
a. Acidité libre.....	26
b. Acidité combinée.....	28
c. Acidité	
totale.....	29
II. 2. 7. Teneurs en HMF.....	29
II. 2. 8. Teneurs en protéines.....	30
II. 2. 9. Teneurs en proline.....	31
<b>II. 3. Teneurs en composés bioactifs.....</b>	<b>32</b>
II. 3. 1. Teneurs en composés phénoliques totaux.....	32
II. 3. 2. Teneurs en flavonoïdes.....	33
II. 3. 3. Teneurs en caroténoïdes.....	34
<b>II. 4. Activités biologiques.....</b>	<b>36</b>
II. 4. 1. Activités antioxydantes.....	36
a. Pouvoir anti-radicalaire par le DPPH.....	36
b. Pouvoir anti-radicalaire par l'ABTS.....	37
c. Pouvoir réducteur.....	37
II. 4. 3. Activités antibactériennes.....	39

a. Test de sensibilité.....	39
b. Concentration minimale inhibitrice.....	40
<b>Conclusion.....</b>	<b>42</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>44</b>
<b>Annexes</b>	

---

# Liste des figures

---

## Liste de figures

N°	Titres	Pages
<b>1</b>	Diagramme circulaire représentant la composition chimique moyenne du miel.	<b>5</b>
<b>2</b>	Photographie des échantillons de miels analysés.	<b>13</b>
<b>3</b>	Degrés de Brix des miels analysés.	<b>21</b>
<b>4</b>	Taux d'humidité des miels étudiés.	<b>22</b>
<b>5</b>	pH des miels analysés.	<b>23</b>
<b>6</b>	Conductivité électrique des miels analysés.	<b>24</b>
<b>7</b>	Intensité de couleur (échelle Pfund) des miels analysés.	<b>25</b>
<b>8</b>	Acidité libre des miels analysés.	<b>27</b>
<b>9</b>	Acidité combinée des miels analysés.	<b>28</b>
<b>10</b>	Acidité totale des miels analysés.	<b>29</b>
<b>11</b>	Teneur en HMF des miels analysés.	<b>30</b>
<b>12</b>	Teneur en protéines des miels analysés.	<b>31</b>
<b>13</b>	Teneur en proline des miels analysés.	<b>32</b>
<b>14</b>	Teneur en composés phénoliques totaux des miels analysés.	<b>33</b>
<b>15</b>	Teneur en flavonoïdes des miels analysés.	<b>34</b>
<b>16</b>	Teneur en caroténoïdes des miels analysés.	<b>35</b>
<b>17</b>	Activité antiradicalaire DPPH des miels analysés.	<b>36</b>
<b>18</b>	Activité antiradicalaire ABTS des miels analysés.	<b>37</b>
<b>19</b>	Pouvoir réducteur des miels analysés.	<b>38</b>
<b>20</b>	Diamètres de zones d'inhibition des extraits de trois plantes contre E. coli et S. aureus.	<b>39</b>

---

# Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>I</b>	Profil des acides phénoliques et des flavonoïdes dans quelques miels monofloraux	<b>10</b>
<b>II</b>	Origine florale, couleur, région de récolte et texture des miels analysés.	<b>13</b>
<b>III</b>	Noms des couleurs correspondants à l'échelle Pfund.	<b>26</b>
<b>IV</b>	Résultats des CMI des miels étudiés sur les souches testées.	<b>41</b>

---

# Liste des abréviations

---

## Liste des abréviations

**ABTS** : L'acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique).

**ANOVA**: analyses de la variance (Analysis of one variance).

**BSA**: Bovine serum albumin.

**CE** : Conductivité électrique

**CMI** : Concentration minimale inhibitrice.

**DPPH** : 1,1-Diphényl-2-PicrylHydrazyl.

**EAAG** : Equivalent antioxidant acide gallique

**EAG** : Equivalent acide gallique

**E $\beta$ Carot** : Equivalent  $\beta$ -carotène

***E. coli*** : *Escherichia coli*

**EQ** : Equivalent quercétine

**HMF** : Hydroxyméthyl furfural

**OMS** : Organisation mondiale de santé.

***S. aureus*** : *Staphylococcus aureus*

**TPC** : composé phénolique totaux.

**UFC/ml** : Unité Formant Colonie par millilitre.

**GN** : gélose nutritive

---

# **Introduction**

---

## Introduction

Le miel est une substance sucrée et visqueuse produite par les abeilles à partir du nectar des fleurs ou des sécrétions d'insectes appelées miellats. Le miel possède une composition complexe, comprenant principalement des sucres tels que le glucose et le fructose, ainsi que des enzymes, des composés phénoliques et d'autres composés comme des acides aminés, des vitamines et des minéraux (**Belhaj et al., 2015**).

Les commissions internationales et européennes de miel ont établi des normes afin de conserver la qualité de miel et d'éviter la falsification et l'adultération de ce dernier, ces normes sont présentées se formes de paramètres d'authenticités (teneur en proline), de qualités (Brix, humidité, conductivité électrique, acidité et teneur en cendres) et de fraîcheur (HMF) (**Bogdanov, 2002**).

Le miel est considéré comme alicament, serve à la fois d'aliment et de remède. Ses bienfaits pour la santé humaine sont attribués à sa composition chimique complexe (**Zerrouk et Bahloul, 2023**). Les composants du miel lui confèrent des valeurs nutritionnelles et des propriétés préventives et curatives. Il possède des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, cicatrisantes, et antimicrobiennes, notamment des propriétés antifongiques (**Belhaj et al., 2015**).

Ce produit de la ruche présente un large spectre d'inhibition de la croissance bactérienne, notamment les bactéries gram positifs et les bactéries gram négatifs, l'effet antimicrobien de miel est attribué a ces propriétés physicochimique (acidité et osmolarité) et a ces composés bioactif (acides phénoliques, flavonoïdes et défensine-1) (**Otmani, 2021**).

L'objectif de cette étude est d'évaluer et de comparer sept miels de différentes régions de la wilaya de Béjaïa selon trois axes principaux :

- **Évaluation des paramètres physicochimiques** : Cette première étape consiste à analyser les caractéristiques physicochimiques de chaque miel, telles que le Brix, l'humidité, le pH, la conductivité électrique, l'acidité, la couleur, le HMF, le dosage des protéines et le dosage de proline. Ces paramètres sont cruciaux pour déterminer la qualité et l'authenticité du miel.

- **Analyse des composés bioactifs** : La seconde étape porte sur la quantification des principaux composés bioactifs présents dans les échantillons de miels, notamment les composés phénoliques, les flavonoïdes et les caroténoïdes.
- **Évaluation des activités biologiques** : Cette étape inclut les tests antiradicalaires DPPH et ABTS pour évaluer les activités antioxydantes, ainsi que le pouvoir réducteur. De plus, l'activité antibactérienne des miels est étudiée.

---

# **Synthèse bibliographie**

---

---

# **Chapitre I**

## **Généralités sur le miel**

---

## Chapitre I : Généralités sur le miel

### I. 1. Définition

Le miel, élaboré par l'abeille *Apis mellifera* L., est une substance sucrée qui résulte de la combinaison de nectar provenant de diverses plantes, d'excrétions d'insectes suceurs de plantes ou d'excrétions des plantes appelé miellat, combinés avec des substances spécifiques produites par l'abeille. Ce mélange est stocké dans les rayons de la ruche où il mûrit, subissant des transformations spécifiques et une réduction de sa teneur en eau. Le miel occupe une place importante dans l'alimentation humaine et représente un résultat significatif de l'interaction entre les abeilles, en tant que pollinisateurs, et leur environnement pour élaborer un produit d'origine animale et végétale à la fois. Cette interaction joue un rôle crucial dans la régulation de l'écosystème (Harbane et al., 2024).

### I. 2. Élaboration de miel

Le miel est élaboré à partir du nectar des plantes et des sécrétions des insectes qui se nourrissent des parties vivantes des végétaux, ainsi que des sécrétions des plantes. Ce mélange est enrichi ensuite par des sécrétions spécifiques des abeilles, puis stocké dans les alvéoles des ruches où il subit une maturation. Les ventileuses attisent le miel pour évaporer l'eau contenue dans le nectar afin d'éviter la fermentation du miel. En moins de cinq jours, la teneur en eau du miel passe d'environ 50 % à un peu moins de 18 %, ce qui permet une meilleure conservation de miel dans les alvéoles de cire (Bonté et Desmoulière, 2013a). Les abeilles stockent le miel pour l'utiliser pendant l'hiver (Puścion-Jakubik et al., 2020).

### I. 3. Types de miel

Les miels sont généralement classés selon leurs sources florales :

#### I. 3. 1. Miel de nectar

Le miel floral (de nectar) est élaboré par les abeilles à partir du nectar sécrété par les glandes nectarifères des fleurs, qui constitue la matière première principale pour la fabrication de miel de nectar (Pita-Calvo et Vázquez, 2017).

Chaque plante visitée par l'abeille contribue à la formation de miel que se soit par ses pigments, ses arômes ou ses grains de pollen. Cette signature florale contribue à la diversité des caractéristiques sensorielles du miel, influençant sa couleur, son goût et son arôme (**Diez et al., 2004**).

Il existe deux catégories de miel, chacune avec des propriétés physico-chimiques distinctes :

#### **a. Miels monofloraux**

Le miel monofloral provient principalement d'une seule espèce végétale et porte le nom de cette plante. Cependant, dans les conditions naturelles un miel monofloral pure n'existe pas réellement, car même lorsque une espèce végétale est dominante, il y a des contributions mineurs d'autres plantes. Les miels monofloraux incluent des variétés telles que le miel de colza, de tournesol, d'acacia, de lavande, de romarin, de callune, de tilleul, de châtaignier, ainsi que des miels plus rares issus de cerisier, framboisier, serpolet, aubépine, bruyère, épilobe, lierre, luzerne, houx, thym, trèfle, eucalyptus, sapin et clémentinier (**Ahmida et al., 2021 ; Otmani, 2021**).

#### **b. Miels polyfloraux**

Le miel polyfloral est élaboré à partir du nectar provenant de plusieurs espèces végétales. Il est principalement désigné par son origine géographique (miel de montagne et de haute montagne), par le type de paysage floral (forêt) ou la saison de récolte (miel d'été et printemps) (**Bonté & Desmoulière, 2013a**).

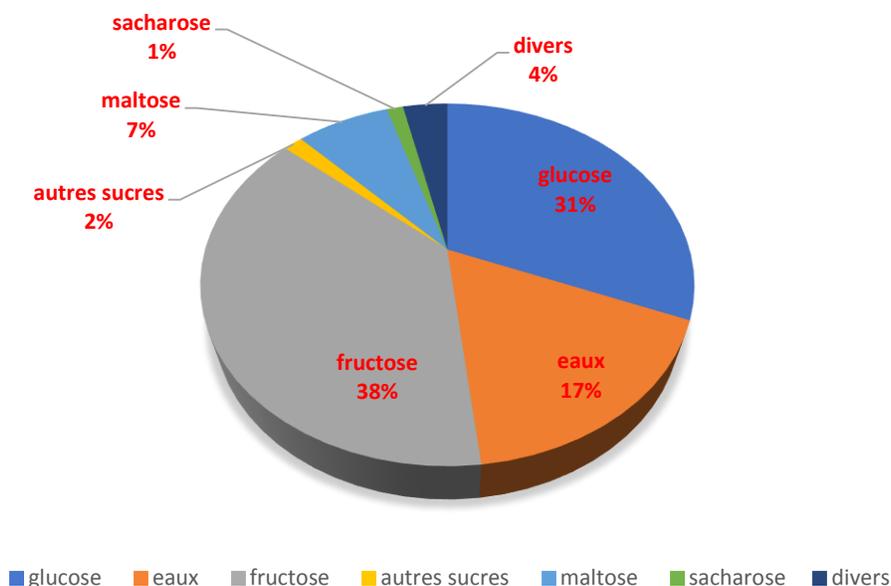
### **I. 3. 2. Miel de miellat**

Le miellat est un liquide épais et visqueux produit à partir des sécrétions de certains arbres et plantes tels que les genres *Pinus* (pins), *Abies* (sapins), *Castanea* (châtaigniers) et *Quercus* (chênes). Le miellat peut également provenir des excréments d'insectes suceurs comme les psylles, cigales, cochenilles et pucerons (**Pita-Calvo et Vázquez, 2017**).

Les abeilles récoltent le miellat en complément ou en remplacement du nectar. Il est plus dense que le nectar et produit un miel plus sombre et moins humide. Les miels de miellat (miels de forêt) se caractérisent par leurs propriétés physico-chimiques et organoleptiques particulières et se distinguent de ce fait des miels de fleurs (**Seraglio et al., 2019**).

## I. 4. Composition chimique

Le miel est un produit complexe, caractérisé par une composition variée et riche. En moyenne, il contient environ 17 à 20 % d'eau, ainsi qu'une grande diversité de sucres et de constituants mineurs (figure 1), qui confèrent à chaque variété de miel ses propriétés organoleptiques et ses vertus thérapeutiques.



**Figure 1** : Diagramme circulaire représentant la composition chimique moyenne du miel (**Pita-Calvo et al., 2017**).

### I. 4. 1. Composants majeurs

#### a. Sucres

Les glucides constituent environ 95 % en poids sec du miel et les principaux sont le glucose et le fructose, qui représentent entre 65 et 80 % du total des solides solubles. De plus, il renferme des disaccharides comme le saccharose (1 %) (**Pita-Calvo et al., 2017**).

Les glucides, sont produits par les abeilles à partir du nectar. Ce processus de transformation est catalysé par plusieurs enzymes, notamment l' $\alpha$ - et la  $\beta$ -glucosidase, l' $\alpha$ - et la  $\beta$ -amylase et la  $\beta$ -fructosidase. Les réactions enzymatiques conduites par ce groupe d'enzymes entraînent la formation d'un mélange complexe de monosaccharides, de disaccharides et d'oligosaccharides (**De La Fuente et al., 2011**).

## **b. Eau**

La teneur en eau est un paramètre de qualité, important pour la durée de conservation du miel et elle varie entre 15 et 20 % avec un optimum de 17 % (**Bogdanov et al., 2004**). Et elle ne doit pas dépasser les 20 % sauf pour les miels de bruyère qui peuvent atteindre 23 % (**codex Alimentarius 2001**). L'humidité du miel peut être influencée par divers facteurs tels que le stade de maturité, les conditions environnementales lors de la récolte, les méthodes de transformation et les modalités de stockage (**Galhardo et al., 2020**). Une concentration élevée d'eau favorise la croissance et la multiplication des levures, ce qui pourrait aussi entraîner la transformation des sucres en alcool et en CO<sub>2</sub> lors du processus de fermentation du miel (**Guo et al., 2019**).

### **I. 4. 2. Composants mineurs**

#### **a. Acides organiques**

Le miel contient naturellement des acides organiques avec une teneur qui varie de 0,57 à 1,5 %, et mesurer les niveaux de ces acides est crucial car ils sont responsables de l'action antimicrobienne du miel. Bien que ces derniers ne représentent qu'une petite fraction, ils contribuent de manière significative aux caractéristiques organoleptiques, physiques et chimiques du miel, leur concentration varie considérablement selon l'origine du miel. Parmi les dix-sept acides organiques présents dans le miel, les acides non aromatiques peuvent également servir de prédictors de la fermentation, d'indicateurs de l'activité antioxydante et de marqueurs botaniques ou géographiques (**Nafea et al., 2013**).

L'acide maléique est principalement responsable de l'acidité de miel, bien qu'il ne soit pas le principal. L'acide gluconique, issu du glucose, est l'acide prédominant dans le miel. En plus de celui-ci, une variété d'autres acides organiques comme l'acide acétique, benzoïque, citrique, lactique, malique, oxalique, butyrique, pyroglutamique et succinique sont également présents dans le miel (**Bonté & Desmoulière, 2013b**).

### **b. Acides aminés et protéines**

Les acides aminés et les protéines sont présents en quantités minimales dans le miel, représentant environ 0,26 % de sa composition. Ces protéines se composent principalement de peptones, d'albumines, de globulines et de nucléoprotéines, provenant soit des plantes, soit des sécrétions des abeilles. Le miel contient également de petites quantités d'acides aminés libres comme la proline, l'histidine, l'alanine, la glycine et la méthionine (**Bonté & Desmoulière, 2013c**).

### **c. Lipides**

La concentration des lipides dans le miel est très faible ou parfois nulle, ces derniers sont subdivisés en glycérides et acides gras (acide palmitique, oléique et linoléique) qui provient essentiellement du nectar et de la cire (**Bonté & Desmoulière, 2013c**).

### **d. Enzymes**

Les principales enzymes de miel sont : l'amylase ou la diastase ( $\alpha$ -amylase), l'invertase ( $\alpha$ -glucosidase) et la glucose oxydase, avec de très faibles quantités de catalase et de phosphatase acide. La diastase et l'invertase sont des enzymes d'une importance nutritionnelle significative dans le miel. La diastase décompose les glucides pour faciliter leur digestion, tandis que l'invertase décompose le saccharose et le maltose (**Terrab et al., 2002**). La glucose oxydase est une autre enzyme essentielle du miel qui catalyse la conversion du glucose en acide gluconique et peroxyde d'hydrogène. La concentration d'enzymes présentes dans le miel est mesurée en utilisant l'activité diastase et est exprimée en tant qu'indice diastase (DN). Conformément à la réglementation européenne en vigueur pour le miel, un indice diastase (DN) minimum de 8 est requis pour le miel traité (**Subramanian et al., 2007**).

### **e. Vitamines**

La composition en vitamines du miel varie en fonction de son type floral et de son origine géographique, représentant généralement entre 0,2 et 0,5 % de son poids sec (**Ranneh et al., 2021**). La quantité de vitamines dans le miel est faible, bien qu'il contienne des vitamines telles que le phylloquinone (K), la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la pyridoxine (B6) et la niacine. Il est donc crucial d'incorporer du miel dans le régime des jeunes enfants (2 ans et plus) et des personnes souffrant de carences vitaminiques (**Alvarez-Suarez et al., 2010**).

## **f. Sels minéraux**

La concentration des minéraux dans le miel varie de 0,1 à 1 %. En comparaison avec les miels de nectar, les miels de miellat sont plus riches en minéraux, ce qui entraîne une conductivité électrolytique plus élevée. Le potassium est le principal métal, suivi du calcium, du magnésium, du sodium, du soufre et du phosphore. Les oligo-éléments comprennent le fer, le cuivre et le zinc et du manganèse. La teneur en minéraux dépend également de la zone géographique, des conditions climatiques et des sources florales (**Lachman et al., 2007**).

## **g. Substances aromatiques**

Les miels de différentes sources botaniques possèdent des caractéristiques organoleptiques distinctes, influencées par leurs composés volatils. Plus de 600 composés volatils de faible poids moléculaire sont identifiés, tels que des terpènes, norisoprénoïdes, alcools, cétones et aldéhydes, chacun contribuant à l'arôme du miel selon leurs concentrations relatives aux seuils d'odeur. L'analyse du profil aromatique et des marqueurs chimiques volatils, permet d'identifier les origines botaniques et géographiques du miel et de détecter des falsifications, comme l'antranilate de méthyle pour le miel d'agrumes et l'isophorone pour le miel d'arbousier (**De-Melo et al., 2018**).

## **h. Hydroxyméthylfurfural (HMF)**

Le 5-Hydroxyméthylfurfural (HMF) est un composé formé par la dégradation des sucres dans le miel et d'autres produits alimentaires sous l'effet de la réaction de Maillard en conditions acides et chauffées. Sa formation est influencée par la température, le pH, la durée de stockage et la teneur en humidité. Des niveaux élevés de HMF indiquent une mauvaise qualité du miel, résultant d'un chauffage excessif ou d'un stockage prolongé. Chez les abeilles, des niveaux élevés de HMF peuvent être toxiques, affectant leur santé et comportement (**Pascual-Maté et al., 2018**). Chez les humains, bien que le HMF puisse offrir certains avantages pour la santé, une consommation élevée soulève des préoccupations en raison de ses effets potentiellement nocifs. Par conséquent, le contrôle des niveaux de HMF dans les aliments est crucial pour assurer la sécurité et la qualité des produits alimentaires (**Shapla et al., 2018**).

---

## **Chapitre II**

### **Composés phénoliques et propriétés bioactives du miel**

---

## Chapitre II : Composés phénoliques et propriétés bioactives du miel

### II. 1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires d'origine végétale largement présents dans le miel. Ces composés sont souvent utilisés comme marqueurs en systématique végétale et peuvent également servir à caractériser les différents types de miels monofloraux. Des études ont examiné les profils des flavonoïdes de divers miels, identifiant des composés spécifiques telles que l'hespérétine comme marqueur des miels d'agrumes. Cependant, la présence de composés phénoliques dérivés de la propolis peut compliquer la détermination de l'origine botanique du miel. Les méthodes d'analyse des flavonoïdes, bien que sont efficaces, elle nécessitent plusieurs étapes de purification suivies souvent par la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (**Bogdanov et al., 2004**).

La plupart des activités biologiques du miel sont attribuées à ses composés phénoliques, principalement des flavonoïdes et des acides phénoliques (tableau I). Des variations significatives de leur teneur ont été observées en fonction de la source florale et de l'origine géographique du miel. Leur identification et quantification dans les échantillons de miel ont considérablement augmenté ces dernières années, en raison de leur importance et de leurs bénéfices pour la santé (**Cienciosi et al., 2018**).

Des substances telles que l'apigénine, la quercétine, la catéchine et la lutéoline inhibent l'agrégation des plaquettes sanguines en se liant au récepteur de la thromboxane A2. La chrysin, un flavonoïde naturel présent en forte concentration dans divers types de miel, exerce un effet cardioprotecteur en inhibant l'apoptose des cardiomyocytes, en réduisant la synthèse des lipides et en augmentant leur métabolisme. De plus, la lutéoline, la quercétine, l'apigénine, le kaempférol, la chrysin et la galangine sont considérés comme des agents préventifs et thérapeutiques contre les maladies neurodégénératives impliquant une neuroinflammation (**Candiracci et al., 2012 ; Olas, 2020**).

**Tableau I :** Profil des acides phénoliques et des flavonoïdes dans quelques miels monofloraux (Otmani, 2021, ; Cianciosi et al., 2018 ; Ouchemoukh et al., 2017 ; Kıvrak et Kıvrak, 2017).

Composés phénoliques	Miels monofloraux													
	Acacia	Apiaceae	Bruyère	Citrus	Erica arborea	Eucalyptus	Fraise	Manuka	Pin	Romarin	Thym	Tournesol	Trifolium	Tualang
Apigénine	+	+		+		+	+							+
Catéchine									+					+
Chrysin	+		+					+		+	+			+
Galangine	+		+				+	+						
Génistéine	+	+		+	+	+								
Isorhamnétine		+		+		+		+					+	
Kaempférol	+			+			+	+		+	+			+
Lutéoline	+	+		+	+	+	+	+		+	+			+
Myricétine	+		+								+			
Pinobanksine	+						+	+		+				
Pinocembrine	+						+	+		+				
Quercétine	+							+			+			
Rutine				+		+	+		+					
Acide cafféique	+							+			+			+
Acide chlorogénique	+		+								+			
Acide cinnamique			+				+				+			+
Acide ellagique	+		+											
Acide férulique	+		+					+			+			
Acide gallique	+		+			+		+	+		+			+
Acide <i>p</i> -coumarique	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
Acide syringique	+		+				+	+			+			+
Acide vanillique	+	+	+	+	+	+							+	

## II. 2. Propriétés bioactives

### I. 2 .1. Activité antioxydante

De nos jours, notre mode de vie entraîne une production excessive de radicaux libres et d'autres composés réactifs dans notre corps. Les antioxydants naturels sont là pour nous protéger contre ces effets nocifs en réduisant le stress oxydatif, ce qui les rend essentiels pour maintenir notre santé. Des opinions récentes proposent le miel non seulement comme un complément alimentaire bénéfique pour la santé, mais mettent également en lumière ses propriétés antioxydantes, indépendantes du peroxyde. Ce fait positionne le miel comme bien plus qu'un simple aliment de grande valeur, mais plutôt comme une source alimentaire précieuse d'antioxydants (**Vijaya Kumar Reddy et al., 2010 ; Beretta et al., 2005**).

Certaines substances présentes dans le miel ont été découvertes pour avoir des effets antioxydants. Parmi celles-ci y'a, les composés phénoliques, les acides phénoliques, des flavonoïdes et certaines enzymes comme la glucose oxydase et la catalase, selon des études menées par **Meda et al. (2005)** et **Molan et Betts (2004)**. En outre, des éléments comme la vitamine C, des protéines et des caroténoïdes contribuent également à cette activités antioxydante du miel (**Alvarez-Suarez et al., 2010**).

### II. 2.2. Activité antibactérienne

Le miel possède des propriétés aseptiques et antibactériennes importantes, inhibant environ 60 espèces de bactéries Gram positif et Gram négatif (**Ghramh et al., 2019 ; Hegazi et al., 2017**). Ces propriétés sont principalement dues à ses paramètres physicochimiques : acidité, haute pression osmotique et faible activité de l'eau. Le peroxyde d'hydrogène, produit par la glucose-oxydase, est le principal facteur antibactérien de ce produit de la ruche. Le miel contient également des inhibines non peroxyde, tels que les acides phénoliques (acides cinnamiques et leurs esters), les flavonoïdes, la défensine-1 et le méthylglyoxal (**Moreira et al., 2007**).

Les composés de miel lui confèrent des propriétés antibactériennes significatives, faisant de lui un agent naturel efficace pour la prévention et le traitement des infections bactériennes (**Albaridi, 2019**).

### II. 2.3. Activité anti-inflammatoire

Le miel présente des propriétés anti-inflammatoires bien établies, bien que son mécanisme exact ne soit pas entièrement élucidé. Il est suggéré que le miel inhibe la synthèse des prostaglandines, réduisant ainsi les symptômes courants de l'inflammation tels que la chaleur, les démangeaisons et la douleur. Les composés phénoliques, notamment les flavonoïdes comme la chrysin, l'apigénine et le kaempférol, sont identifiés comme des agents actifs responsables de l'activité anti-inflammatoire du miel. Ces composés agissent en inhibant l'expression de divers médiateurs inflammatoires tels que la cyclooxygénase-2 (COX-2), la protéine inductible par les oxydes nitriques (iNOS) et la métalloprotéinase-9 (MMP-9), réduisant ainsi l'inflammation et favorisant la guérison des plaies inflammatoires et des brûlures **(Hadagali & Chua, 2014)**.

### II. 2.4. Activité cicatrisante

Des études en laboratoire et des essais cliniques ont démontré que le miel favorise le débridement autolytique, stimule la croissance des tissus de la plaie et possède des activités anti-inflammatoires, accélérant ainsi le processus de cicatrisation. Comparativement à d'autres agents topiques comme l'hydrofibre d'argent ou la sulfadiazine d'argent, le miel est plus efficace pour éliminer la contamination microbienne, réduire la surface de la plaie et favoriser la ré-épithélialisation **(Oryan et al., 2016)**.

De plus, il améliore les résultats de la cicatrisation en réduisant l'incidence et la formation excessive de cicatrices. Par conséquent, l'utilisation du miel peut être une solution efficace et économique pour la gestion de blessures importantes et complexes **(Oryan et al., 2016)**.

### II. 2.5. Activité anticancéreuse

Des recherches ont suggéré que les propriétés antitumorales et antimutagènes du miel sont attribuées en partie à sa teneur en phénols. Des études ont démontré son efficacité contre divers types de cancers, y compris colorectal, mammaire, endométrial, prostatique, rénal, buccal et cervical. De plus, le miel brut semble potentialiser l'action de certains traitements chimiothérapeutiques **(Waheed et al., 2019)**.

---

# **Partie Pratique**

---

---

# **Chapitre I**

## **Matériel et méthodes**

---

## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I. 1. Échantillon

Six échantillons de miel sont collectés de différentes régions de la wilaya de Bejaia et un seul miel provient de la wilaya de Naâma. Les miels sont conserve à l'obscurité et a labrit de l'humidité. L'origine florale, la couleur, la texture et l'année de récolte sont rapportées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III :** Origine florale, couleur, région de récolte et texture des miels analysés.

Code	Miel (région)	Origine florale présumée	Couleur	Texture	Année de récolte
M1	Akfadou (Bejaia)	Polyfloral	Ambre claire	Liquide	2023
M2	Toudja (Bejaia)	Polyfloral	Ambre foncé	Liquide	2023
M3	Adekkar (Bejaia)	Polyfloral	Ambre claire	Pâteux	2023
M4	Tichy (Bejaia)	Polyfloral	Ambre claire	Liquide	2023
M5	Tighremt (Bejaia)	Polyfloral	Ambre claire	Cristallisé	2023
M6	Naâma	Monofloral	Blanc	Pâteux	2023
M7	Souk El Tnine (Bejaia)	polyfloral	Ambre foncé	Pâteux	2023



**Figure 2 :** Photographie des échantillons de miels analysés.

## I. 2. Propriétés physicochimiques

Huit analyses physicochimique (Brix, humidité, pH, acidité libre, acidité combinée, acidité totale, HMF et proline) sont effectuées selon les protocoles décrit par la commission internationale de miel (**Bogdanov et al., 1997**).

### I. 2. 1. Brix et humidité

Une petite quantité de miel liquide est étalé en une fine couche sur la platine du prisme d'un réfractomètre, qui est préalablement calibré avec de l'eau distillée. Les miels cristallisés sont liquifiés en les plaçant dans un bain-marie à une température de  $40 \pm 2$  °C.

Ensuite, la lecture est faite à travers l'oculaire du refractomètre suivant la ligne horizontale qui sépare les deux zones clair et sombre. Cette ligne traverse deux échelles verticales graduées, l'une correspond au pourcentage de brix et l'autre à l'indice de réfraction. Ce dernier permet de déterminer la teneur en eau du miel en se référant à la table de CHATAWAY (Annexe 1).

### I. 2. 2. pH

Une quantité de 2,5 g de miel est dissoute dans 25 ml d'eau distillée pour obtenir une solution de miel à 10 % (p/v). Après homogénéisation, le pH du mélange est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

### I. 2. 3. Conductivité électrique

Une quantité de miel (M) est mélangée avec 25 ml d'eau distillée ayant une très faible conductivité électrique ( $0,4 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ensuite, la valeur de la conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre, et les résultats sont exprimés en  $\text{mS}/\text{cm}$  :

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

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

Où : M : Quantité de miel a pesée ; MS : Teneur en matière sèche de miel ; CE : Conductivité Electrique ; 0,032 : Facteur de correction ;  $T^\circ$  : Température ambiante de la mesure en °C.

#### I. 2. 4. Couleur

La couleur de miel est déterminée selon la méthode de **Kaškonienė et al. (2009)**. Une solution de miel est diluée dans l'eau distillé pour obtenir une concentration de 50 % (p/v). Celle-ci est chauffée à 40 °C, afin de favoriser la dissolution des cristaux de sucre. Ensuite, l'absorbance des échantillons est mesurée à 635 nm. Les différents types de miel sont ensuite classés en utilisant l'échelle Pfund. Pour se faire, les valeurs d'absorbance sont converties en intensité de couleur sur cette échelle, permettant ainsi de déterminer la couleur du miel.

$$\text{mm Pfund} = -38,70 + 371,39 \times \text{Abs}$$

Où : mm Pfund : Intensité de la couleur du miel dans l'échelle de Pfund et Abs : Absorption de la solution de miel.

#### I. 2. 5. Acidité combinée, libre et totale

Une quantité de 2,5 g de miel est dissoute dans 25 ml d'eau distillée, ce qui correspond à une concentration de 10 % (p/v). Un titrage sous agitation est réalisé en utilisant 10 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium (0,05 N) pour déterminer l'acidité libre. Ensuite, un titrage inverse est effectué en utilisant une solution d'acide sulfurique (0,05 N) pour déterminer l'acidité descombinée. Les résultats sont calculés en utilisant les formules suivantes :

$$\text{Acidité libre} = (V \times 0,05 \times 1000) / M$$

$$\text{Acidité des combinée} = [1000 \times (0,05 (10-V) - 0,05 \times V')] / M$$

$$\text{Acidité totale} = \text{Acidité libre} + \text{Acidité des lactones}$$

Où :

V : Volume équivalent déterminé par la courbe de neutralisation avec l'hydroxyde de sodium.

V' : Volume équivalent déterminé par courbe de neutralisation de l'excès de l'hydroxyde de sodium avec de l'acide sulfurique ; M : Masse de l'échantillon de miel.

### I. 2. 6. Dosage de l'HMF

Un volume de 25 ml de la solution de miel (20 % ; p/v) est mélangé avec 0,5 ml de la solution de carrez I (407 mM de hexanocyanoférate de potassium) et 0,5 ml de la solution de carrez II (2 M d'acétate de zinc). Ensuite, le mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume total de 50 ml. La solution est filtrée, puis un volume de 5 ml de filtrat est ajouté à 5 ml d'eau distillée, et le même volume de filtrat est mélangé avec 5 ml de la solution de sodium bisulfate (19 mM). Les absorbances sont mesurées à deux longueurs d'ondes (284 et 336 nm) et la teneur en HMF est déterminée en utilisant l'équation suivante :

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

Où : A<sub>284</sub> : Absorbance à 284 nm ; A<sub>336</sub> : Absorbance à 336 nm ; W : Masse en grammes de l'échantillon de miel ; 149,7 : Constante.

### I. 2. 7. Dosage des protéines

La teneur en protéines est déterminée par la méthode d'**Azeredo et al. (2003)**. Un volume de 0,1 ml de la solution de miel (50 % ; p/v) est combiné avec 5 ml de réactif de Bradford. Après une incubation de 2 min, l'absorbance est mesurée à 595 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalents d'albumine de sérum bovin (BSA) par 100 g de miel, en ce référant à la courbe d'étalonnage de la BSA ( $y = 0,4701x + 0,0453$  ;  $R^2 = 0,9945$ ).

### I. 2. 8. Dosage de proline

Un volume de 0,5 ml de la solution de miel (5 % ; p/v) et un volume équivalent d'une solution standard de proline (3 mM) sont préparés séparément. Ensuite, 1 ml d'acide fourmique et 1 ml de ninhydrine (169 mM) sont ajoutés à chaque préparation. Les deux solutions sont incubées dans un bain-marie agitateur à 100 °C pendant 15 min, puis à 70 °C pendant 10 min. Par la suite, un volume de 5 ml de la solution de 2-propanol (50 % ; v/v) est ajouté à chaque mélange. L'absorbance est mesurée à 510 nm après une incubation de 45 min. La teneur en proline est calculée en utilisant la formule suivante :

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

Où : Es : Absorbance de l'échantillon de miel ; EA : Absorbance de la solution standard de la proline ; E1 : mg de proline pour la solution standard ; E2 : Quantité de miel ; 80 : Facteur de dilution.

### I. 3. Teneurs en composés bioactifs

#### I. 3. 1. Composés phénoliques totaux

Les teneurs en composés phénoliques sont déterminées en utilisant la méthode de **Naithani et al. (2006)**. Un aliquot de 0,1 ml de la solution de miel (10 % ; p/v) est mélangé avec 0,1 ml de réactif Folin-Ciocalteu (50 % ; v/v) et 2 ml de carbonate de sodium (189 mM). Après 30 min d'incubation, la mesure des absorbances est faite à 750 nm. Les résultats de la teneur en composés phénoliques des miels sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g de miel en utilisant la courbe d'étalonnage d'acide gallique ( $y = 0,267x - 0,0292$  ;  $R^2 = 0,9993$ ).

#### I. 3. 2. Flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes sont déterminée par la méthode décrite par **Al et al. (2009)**. Un volume de 1 ml de la solution de miel (12,5 % ; p/v) est mélangé avec 0,3 ml de nitrite de sodium (725 mM). Après 5 min d'incubation, 0,3 ml de chlorure d'aluminium (750 mM) sont ajoutés. Six min plus tard, 2 ml d'hydroxyde de sodium (1 M) sont ajoutés au mélange. Les absorbances sont lues à 510 nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine par 100 g de miel en référence à la courbe d'étalonnage de la quercétine ( $y = 0,6969x - 0,0218$   $R^2 = 0,9994$ ).

#### I. 3. 3. Caroténoïdes

Les concentrations en caroténoïdes sont déterminées par le protocole décrit par **Sass-Kiss et al. (2005)**. Une quantité de 4 g de miel est homogénéisé dans 10 ml d'un mélange d'hexane, d'acétone et d'éthanol avec un rapport de 2 / 1 / 1. La préparation est ensuite centrifugée à 5500 rpm pendant 15 min à 4 °C. Le surnageant est récupéré et les absorbances sont lues à 430 nm. Les teneurs en caroténoïdes sont exprimés en mg équivalent de  $\beta$ -carotène par kg de miel en ce référant à la courbe d'étalonnage de la  $\beta$ -carotène  $y = 3,3925x + 0,0503$   $R^2 = 0,9887$ .

## I. 4. Activités biologiques

### I. 4. 1. Activités antioxydantes

#### a. Activité anti radicalaire DPPH

Le test du radical DPPH est déterminé selon la méthode décrite par **Meda et al. (2005)**. Un aliquot de 0,5 ml de solution de miel (2,5 % ; p/v) est mélangé avec 1 ml de la solution de DPPH ( $6 \times 10^{-5}$  M). Après 15 min d'incubation, la lecture est faite à 517 nm et le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'inhibition (\%)} = [(AC-AE) / AC] \times 100$$

Où : AC : Absorbance du contrôle ; AE : Absorbance de l'échantillon.

#### b. Activité anti radicalaire ABTS

L'essai de radical ABTS est déterminé suivant le protocole décrit par **Re et al. (1999)**. Un mélange de 0,1 ml de la solution de miel (2,5 % ; p/v) et 1 ml de la solution d'ABTS (7 mM) est préparé. L'absorbance est lue à 734 nm après 7 min d'incubation. Le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'inhibition (\%)} = [(AC-AE) / AC] \times 100$$

Où : AC : Absorbance du contrôle ; AE : Absorbance de l'échantillon.

#### c. Pouvoir réducteur

L'évaluation du pouvoir réducteur des miels est effectuée selon le protocole de **Chia Ching & En Shyh. (2010)**. Un volume de 0,5 ml de la solution de miel (5 % ; p/v) est mélangé avec 0,5 ml de tampon phosphate (0,2 M ; pH 6,6) et 0,5 ml de potassium hexanocyanoferrate (30 mM). Après incubation pendant 20 min au bain marie à 50 °C, un volume de 0,5 ml de trichloroacétate (612 mM) est ajouté au mélange. En suite, 0,5 ml est prélevé de ce mélange et dilué dans 0,8 ml d'eau distillée puis 0,1 ml de chlorure ferrique (6 mM) sont additionnés. Après 10 min, l'absorbance est lue à 700 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par 100

g de miel en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique ( $y = 11,981x + 0,0684$   $R^2 = 0,966$ ).

### I. 4. 3. Activités antibactériennes

Deux souches de référence ont été utilisées pour évaluer l'effet antimicrobien des échantillons de miel : *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (Gram positive) et *Escherichia coli* ATCC 25922 (Gram négative).

#### a. Test de sensibilité

La méthode de diffusion sur milieu gélosé décrite par le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015) est utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne des échantillons de miel. Des souches bactériennes sont inoculées sur la surface de la gélose avec une concentration de 108 UFC/ml. Après séchage des boîtes de pétri, la partie supérieure d'une pipette Pasteur est utilisée pour faire des puits dans la gélose et une goutte de GN est déposée au fond de chaque puits pour éviter que les extraits ne coulent au fond de la boîte. Un volume de 50  $\mu$ l de chaque solution de miel est ensuite ajoutée dans chaque puits. Après 2 h au réfrigérateur, les plaques sont incubées pendant 24 h à 37°C. Les diamètres des zones d'inhibition des deux souches bactériennes sont donnés en mm.

#### b. Concentration minimale inhibitrice

Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) sont déterminées selon le protocole décrit par Patton et al. (2006). Une série de six dilutions est préparée pour chaque miel. Un volume de 100  $\mu$ l de chaque dilution est mélangé avec 100  $\mu$ l de la suspension bactérienne ( $10^5$  UFC/ml) dans les puits d'une microplaque stérile à 96 puits. A titre de contrôle, 100  $\mu$ l de suspension bactérienne sont inoculés dans 100  $\mu$ l de DMSO. La densité optique est mesurée à 620 nm dans un lecteur de microplaques avant incubation (T0). La microplaque est ensuite incubée à 37°C pendant 24 h. Après incubation, la densité optique est mesurée à nouveau à T24. Le pourcentage d'inhibition est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'inhibition (\%)} = 1 - (\text{AT} / \text{AC}) \times 100$$

Où : AT : Absorbance T24 - Absorbance T0 de l'échantillon ; AC : Absorbance T24 - Absorbance T0 de contrôle.

### **I. 5. Analyses statistiques**

Les résultats de cette étude sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type. Le logiciel STATISTICA 7.1 est utilisé pour réaliser l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) entre les miels analysés. Les deux tests Kolmogorov-Smirnov et Levene sont utilisés pour vérifier la normalité et l'homogénéité des variances. Le test post-hoc LSD-Fischer est utilisé pour la comparaison des moyennes des paramètres étudiés. Cependant, l'ANOVA de Kruskal-Wallis est utilisée pour étudier les variables non gaussiennes ou non homogènes.

Les valeurs qui portent des lettres différentes indiquent des différences significatives et les résultats sont classés par ordre croissant (a > b > c > d > e C f) (A > B > C).

---

# **Chapitre II**

## **Résultats et discussion**

---

## Chapitre II : Résultats et discussion

### II. 2. Paramètres physicochimiques

Des analyses physicochimiques des miels sont réalisées pour vérifier leurs qualité, authenticité et stabilité. De plus, ces paramètres physicochimiques ont fait l'objet de comparaison aux normes légales établit par le Codex Alimentarius et la Commission Européenne du miel.

#### II. 2. 1. Brix

La réfractométrie peut être utilisée pour mesurer les degrés Brix, qui sont directement liés à la teneur en sucre du miel (**Faustino & Pinheiro, 2021**).

Les résultats de Brix illustrés dans la figure 3, montrent que les valeurs obtenues dans les miels analysés dépassent largement la limite minimale pour les miels de nectar (> 60 %) ainsi que la norme fixée par le **Codex Alimentarius (2001)** (> 65 %) en ce qui concerne la teneur en sucres totaux.

Le degré de Brix le plus élevé est celui de miel de Toudja (M2) avec une valeur de 84,50 %. Par contre les miels de Tighremt (M5) et Souk El Tenine (M7) montrent un Brix plus faible de celui des autres échantillons avec des valeurs de 77,58 et de 80,58 % respectivement.

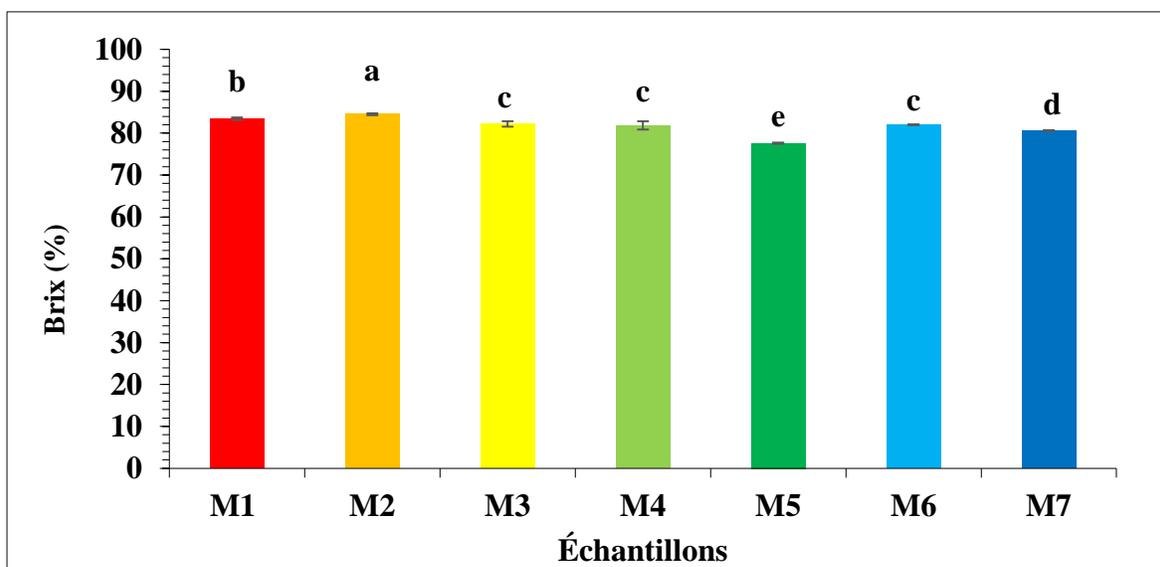


Figure 3 : Degrés de Brix des miels analysés.

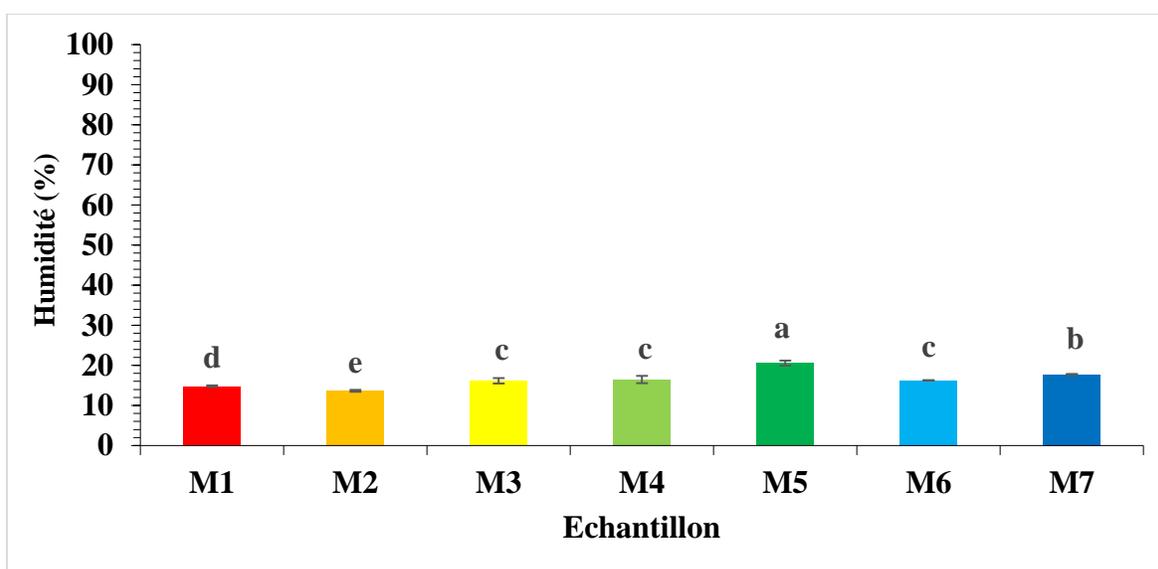
Les degrés de Brix obtenus dans cette étude sont comparé avec des études antérieures, ces résultats sont proches de ceux rapportés par **Demir Kanbur et al. (2021)** pour les miels turc des hautes terres (78 à 85 %), et sont inférieure aux valeurs de Brix du miel turc de châtaignier (80 à 82 %).

L'analyse statistique du degré de Brix a montrés 1 groupes homogènes (M3, M4, M6) et les autres échantillons sont significativement différents à  $p < 0,05$ .

### II. 2. 2. Humidité

La teneur en eau du miel est un paramètre crucial, indiquant des conditions de stockage inappropriées ou une éventuelle falsification du miel lors du processus de production, et aussi pour déterminée le degré de maturité (**Majewska et al., 2019**).

L'humidité des miels analysés se situent dans la limite fixée par le **codex Alimentarius. (2001)**, 20 % sauf le miel (M5) qui dépasse cette norme avec une valeur de 20,53 %. Ce qui indique que les échantillons analysés sont matures (figure 4). Les miels de Tighremt (M5) et Souk El Tenine (M7) montrent l'humidité la plus élevée avec des valeurs 20,53 et de 17,73 % respectivement, ce qui augmente le risque de la croissance microbienne dans ces derniers, les échantillons M1 et M2 présentent les teneurs en eau les plus faibles 14,80 et 13,63 % respectivement, ces miels ne présentent aucun risque de fermentation. Les autres miels M3, M4 et M6 ont montré des valeurs d'humidités qui oscillent entre 16,13 et 16,47 %.



**Figures 4 :** Taux d'humidité des miels étudiés.

les résultats obtenus sont supérieurs aux résultats obtenus par **Massous et al. (2023)** pour les miels marocains (14,93 à 16,57 %), des résultats similaires sont rapportés par **Escuredo et al. (2023)** pour les miels espagnols (14,4% et 21,2%).

L'analyse de la variance de l'humidité montre que les miels étudiés sont significativement différents sauf un groupe homogène (M3, M4, M6) à  $p < 0,05$ .

La variabilité en termes d'humidité des miels analysés est due aux facteurs climatiques et conditions d'extraction et de stockage, ainsi que le degré de maturité de miel (**Fechner et al., 2016**).

### II. 2. 3. pH

La plupart des miels ont un pH relativement acide, allant de 3,5 à 4,5 pour les miels de nectar et de 4,5 à 5,5 pour les miels de miellat (**Bogdanov et al., 1999**).

Les résultats obtenus montrent que les miels d'Akfadou (M1) et de Tichy (M4) présentent les pH les plus élevés (4,79 et 4,53, respectivement), ces valeurs dépassent la norme de miel de nectar (3,5 à 4,5) et se situent dans l'intervalle des miels de miellat (4,5 à 5,5).

Le miel d'Addekar (M3) a un pH légèrement acide par rapport aux autres miels avec une valeur de 3,97, donc c'est un miel de nectar. De plus, les miels M2, M5, M6, M7 ont montré des valeurs de pH modérées et qui ne dépassent pas 4,5 et ils sont également issus de nectar.

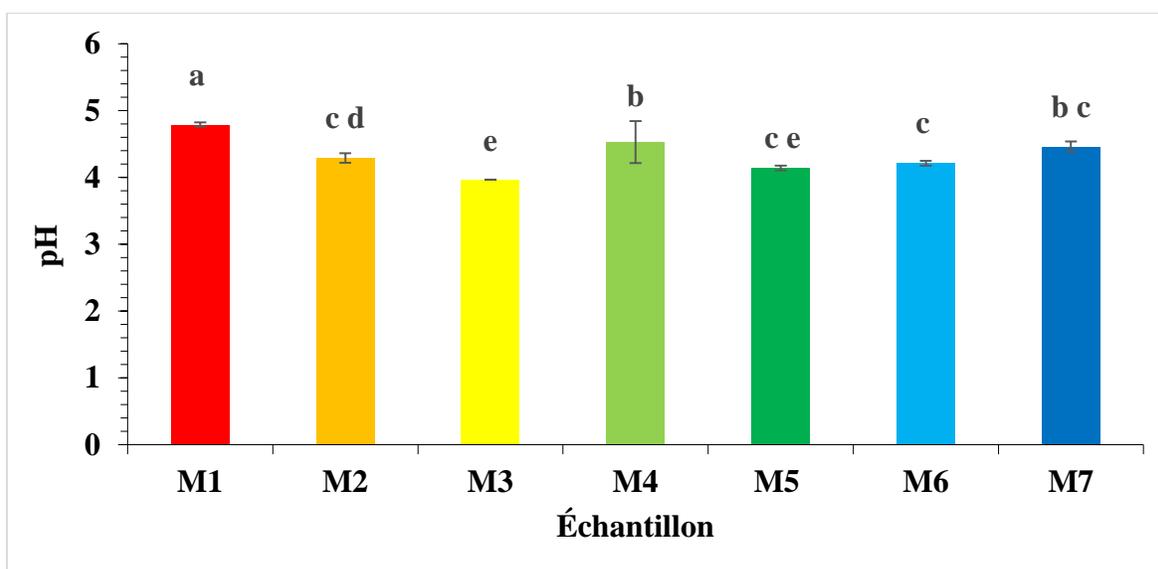


Figure 5 : pH des miels analysés.

Les résultats de pH obtenus sont similaires à ceux rapportés dans les miels de Sultanat d'Oman (3,46 à 4,90) par **Al-Farsi et al. (2018)**. En revanche, ces résultats sont différents de ceux des miels brésiliens (3,21 et 3,62) trouvés par **Ávila et al. (2019)**.

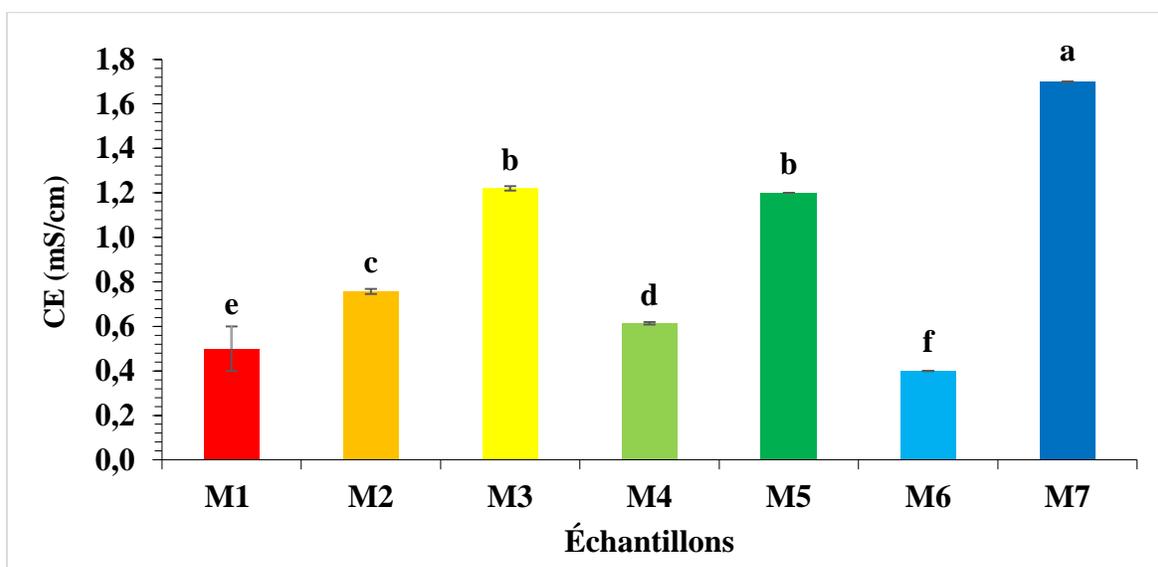
L'analyse statistique montre que tous les échantillons sont significativement différents, aucun groupe homogène est présent à  $p < 0,05$ .

Le pH de miel est déterminé par les espèces végétales butinées par les abeilles leurs sécrétions salivaires et les processus enzymatiques et fermentatifs lors de la maturation de miel (**Belhaj et al., 2015**).

#### II. 2. 4. Conductivité électrique

Selon les normes du **Codex Alimentarius**, la mesure de ce paramètre permet de différencier les miels de miellat, qui présentent des valeurs supérieures à 0,8 mS/cm, des miels de nectar, dont les valeurs sont inférieures à 0,8 mS/cm (**Achouri et al., 2022**).

Les conductivités électriques obtenues varient de 0,5 à 1,70 mS/cm (figure 6). Les échantillons M3, M5 et M7 présentent des valeurs de conductivité électrique supérieures à 0,8 mS/cm (1,22, 1,20 et 1,70 mS/cm, respectivement), indiquant qu'il s'agit de miels de miellat. En revanche, les miels M1, M2, M4 et M6 affichent des conductivités électriques inférieures à 0,8 mS/cm (0,50, 0,76, 0,61 et 0,40 mS/cm, respectivement), suggérant qu'ils proviennent de nectar.



**Figure 6 :** Conductivité électrique des miels analysés.

Les résultats de la conductivité électrique des miels analysés sont comparables à ceux rapportés par **Fuentes Molina et al. (2020)** avec les miels du Chili (0,25 à 1,47 mS/cm). Cependant, les valeurs obtenues sont supérieures à celles des miels du Brésil (0,12 à 0,66 mS/cm) rapportées par **Nascimento et al. (2018)**.

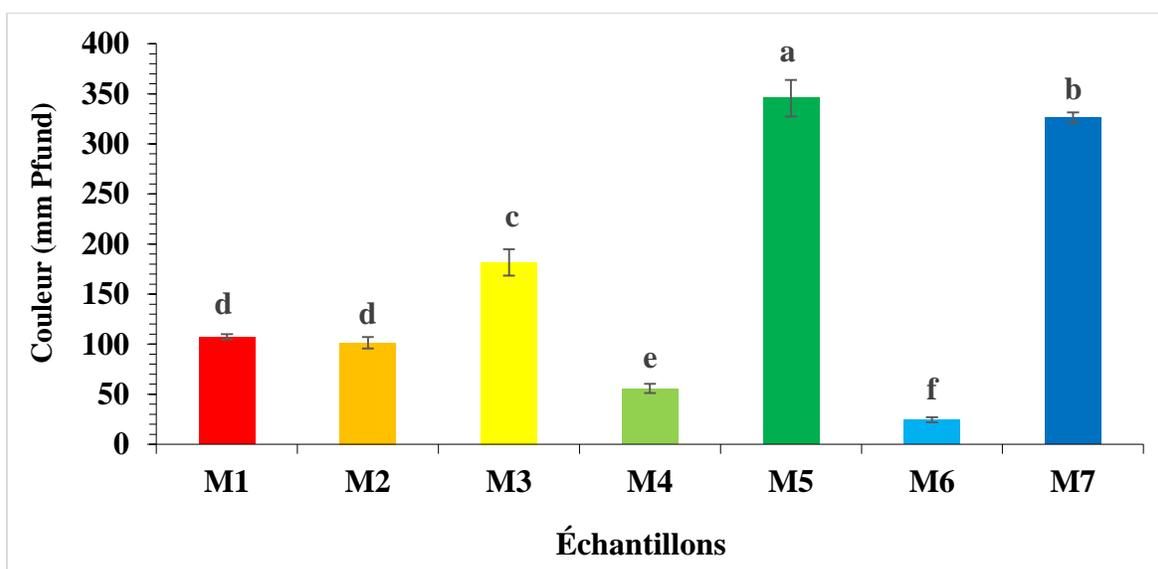
Le teste d'ANOVA de la conductivité électrique révèle 1 group homogène (M3 ; M5) et les autres échantillons sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

Les différences de la conductivité électrique du miel peuvent s'expliquer par son origine botanique et sa composition chimique (teneurs en minéraux, acides organiques, polyols, protéines et autres substances ionisables) (**da Silva et al., 2016**).

### II. 2. 5. Couleur

La couleur est la première propriété physique que le consommateur perçoit immédiatement. Elle peut varier de claire et incolore à très foncée. La couleur du miel dépend de sa composition chimique, influencée par plusieurs composés tels que les caroténoïdes, les composés phénoliques, les minéraux et les acides aminés (**Achouri et al., 2022**).

Les résultats obtenus montrent que la couleur des miels analysés varie de blanc à l'ambre foncé (tableau II). Le miel de Tighremt (M5) montre l'intensité de couleur la plus élevée avec une valeur de 345,56 mm pfund. Cependant, le miel de Naama (M6) affiche l'intensité la plus faible avec une valeur de 24,55 mm pfund.



**Figures 7 :** Intensité de couleur (échelle Pfund) des miels analysés.

Ces résultats sont plus élevés que ceux rapportés par **Pauliuc et al. (2020)** dans les miels roumains (29 à 74 mm Pfund), par contre ces résultats sont comparable à eux rapportés par **Seijo et al., (2019)** pour les miels de miellat de chêne espagnols avec une valeur de 142 mm Pfund .

L'ANOVA a montré un groupe homogène (M1et M2) et les autres miels sont significativement différents à  $p < 0,05$ .

**Tableaux III** : Noms des couleurs correspondants à l'échelle Pfund.

<b>Échantillons</b>	<b>Couleur</b>
<b>M1</b>	<b>Ambre</b>
<b>M2</b>	<b>Ambre</b>
<b>M3</b>	<b>Ambre foncé</b>
<b>M4</b>	<b>Ambre claire</b>
<b>M5</b>	<b>Ambre foncé</b>
<b>M6</b>	<b>Blanc</b>
<b>M7</b>	<b>Ambre foncé</b>

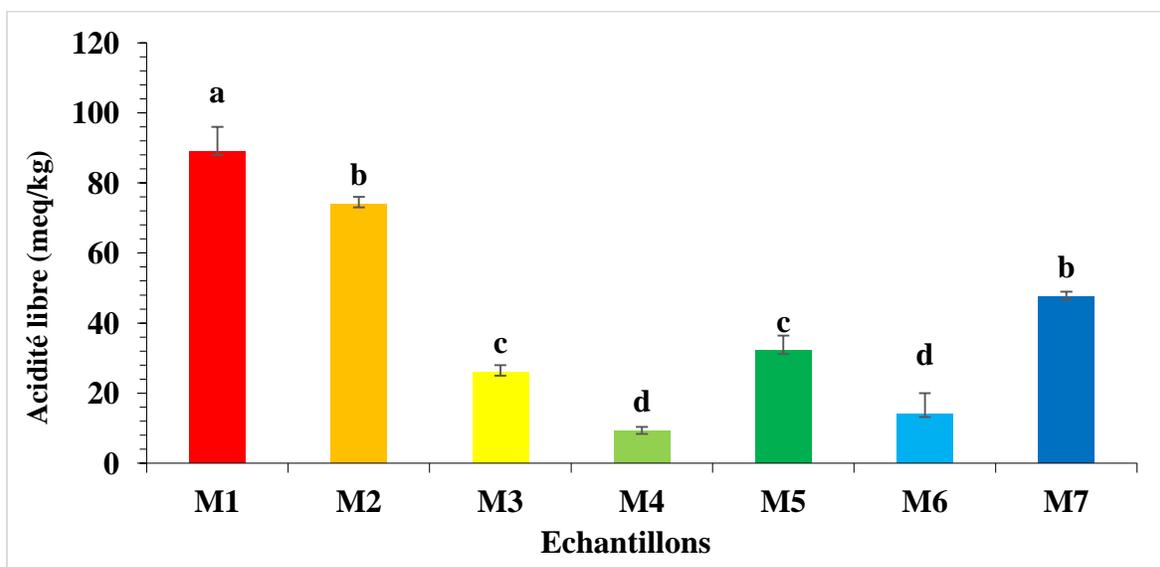
## **II. 2. 6. Acidité libre, combinée et totale**

### **a. Acidité libre**

L'acidité libre est un indicateur essentiel de la dégradation du miel par fermentation post-récolte, car elle est étroitement liée à sa fraîcheur, les niveaux élevés d'acidité libre peuvent suggérer que les sucres du miel sont fermentés par des levures osmotolérantes. Les monosaccharides, le glucose et le fructose sont transformés en dioxyde de carbone et en alcool éthylique lors de la fermentation. En présence d'oxygène, l'alcool est également hydrolysé et transformé en acide acétique et en eau (**Priscila Missioet al., 2020**).

La limite de l'acidité libre établie par le **Codex Alimentarius (2001)** est inférieure à 50 meq/kg. Les résultats illustrés dans la figure 8, montrent que la plupart des miel analysées (M3, M4, M5, M6, M7) se situent dans cette limite ce qui indique leur féticheur, contrairement aux miels M1 et M2 qui dépasse largement cette limite, cela indique la fermentation des sucres contenue dans ces échantillons.

Le miel de Tichy (M4) enregistre la valeur de l'acidité la plus faible avec une acidité libre de 9,32 meq/kg, ce qui indique le bon conditionnement de ce miel. En revanche, les miels d'Akfadou (M1) et deToudja (M2) montrent des valeurs supérieures à 70 meq/kg, ce qui confirme le début du processus de fermentation des sucres de ces miels.



**Figure 8 :** Acidité libre des miels analysés.

Les résultats obtenus par **Adriane Costa et al. (2022)** pour les miels brésiliens qui varient de 37,8 à 123 meq/kg, sont semblables aux résultats obtenus dans cette étude, qui sont supérieures aux résultats d'acidités trouvées par **Guerzou et al. (2021)** dans les miels algériens avec un intervalle qui varie de 11 à 47 meq/kg.

Le test ANOVA a montré trois groupes homogènes dans les sept échantillons (M2, M7) ; (M3, M5) ; (M4, M6) et le miel (M1) est significativement différent à  $p < 0,05$ .

### b. Acidité combinée

L'acidité combinée résulte de la cyclisation des acides organiques afin de créer des lactones cycliques. Dans cette réaction, une molécule d'eau est perdue et la fonction carboxylique de l'acide est perdue. L'oxydation de l'acide gluconique par cyclisation donne le D-glucono 1,4- lactone. On désigne l'acidité lactonique comme un réserve d'acidité lorsque les miels deviennent alcalins (Azonwade et al., 2018).

Les résultats donnés dans la figure 9 montrent que le miel de Naama (M6) (98 meq/kg) affiche l'acidité combinée la plus élevée, contrairement au miel de Tighremt (M7) qui marque la valeur de l'acidité combinée la plus faible (38,8 meq/kg).

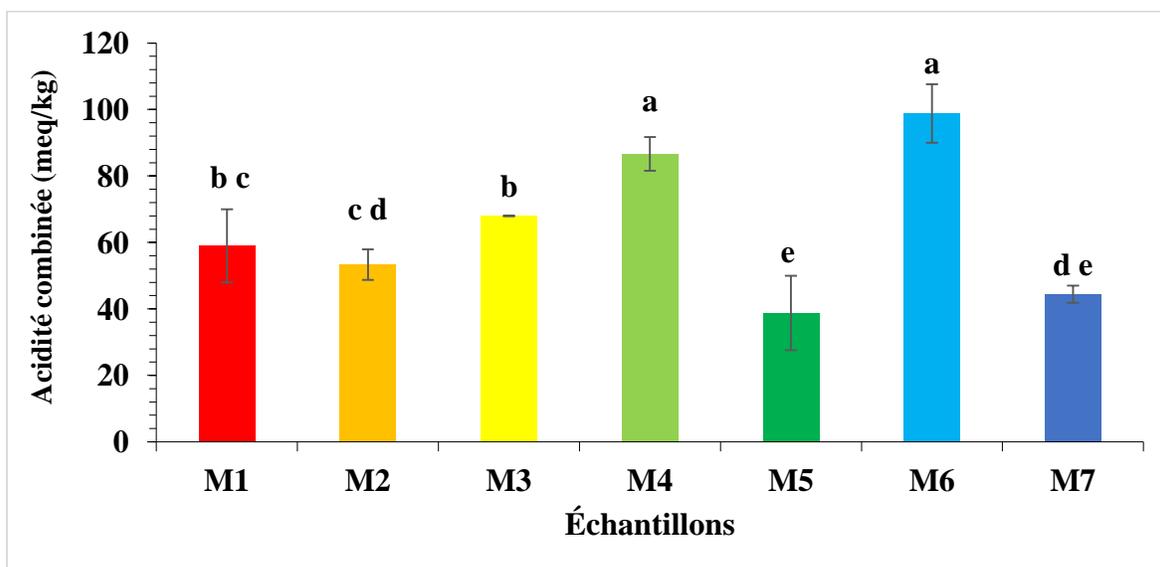


Figure 9 : Acidité combinée des miels analysés.

En comparaison aux résultats obtenue par **Bako et al. (2019)** pour les miels de Nigeria avec des valeurs qui varient de 1,5 à 2,7 meq/kg, les résultats obtenus dans cette analyse sont largement supérieurs, par contre sont proche des résultats obtenus par **Ouchemoukh et al. (2012)** pour les miels algériens qui oscillent entre 9,23 à 30,37 meq/kg.

Le teste ANOVA de l'acidité combinée montre la présence d'un seul groupe homogène (M4 et M6). Cependant les autres échantillons sont significativement différents à  $p < 0,05$ .

### c. Acidité totale

L'acidité totale est la somme des acidités libres et combinée (Ayadet al., 2021). Le diagramme en bâtons ci-dessous montrent que les miels d'Akfadou (M1) et de Toudja (M2) enregistrent les valeurs d'acidité totale les plus élevées avec des valeurs de 148 et de 127 meq/kg respectivement, contrairement à l'échantillon de Tighremt (M5) qui présente la plus faible acidité totale avec une valeur de 71 meq/kg.

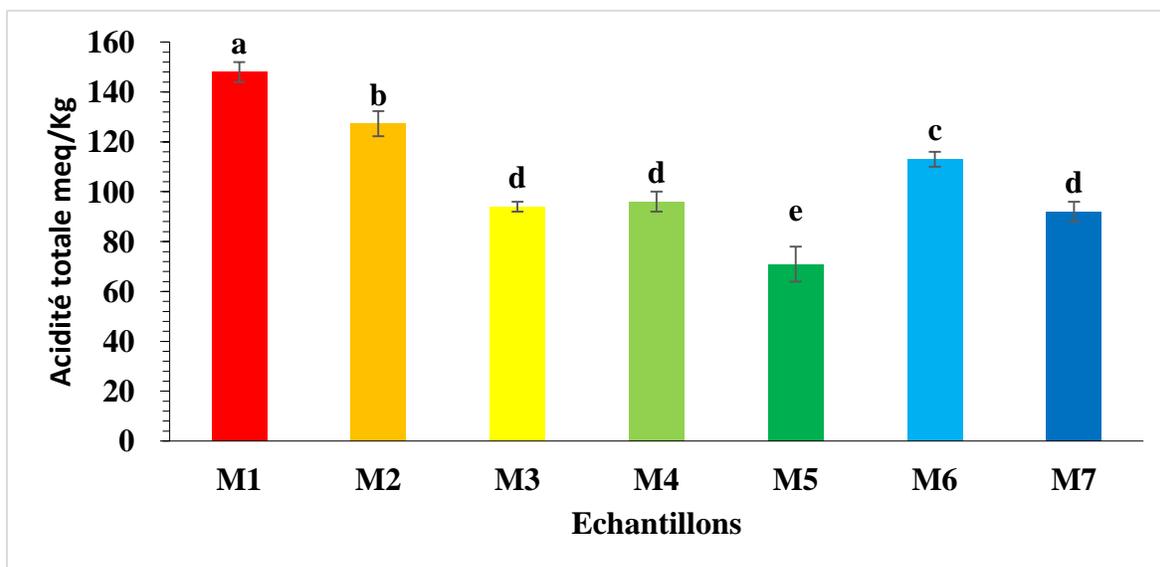


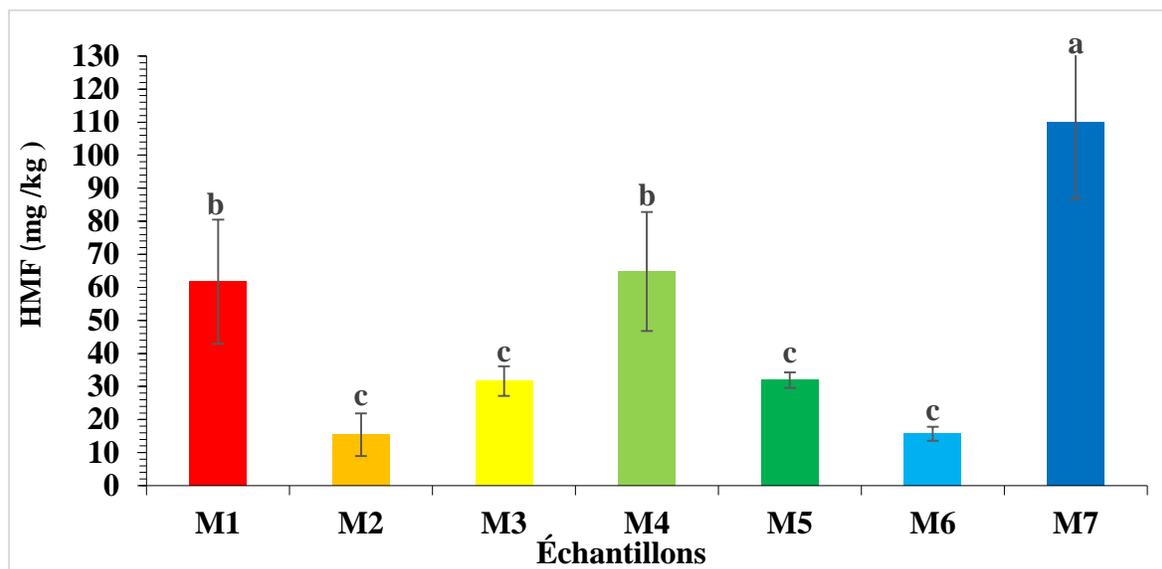
Figure 10 : Acidité totale des miels analysés.

L'analyse statistique de l'acidité totale révèle la présence d'un seul groupe homogène (M3, M4, M7) et les autres échantillons sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

#### II. 2. 7. Teneurs en HMF

L'analyse du HMF est considérée comme le moyen le plus pratique pour évaluer la fraîcheur et le surchauffage du miel (Ünüböl Aypak et al., 2019). Les résultats donnés dans la figure 11, montrent que la plupart des miels analysés (M2, M3, M5, M6) sont conformes aux normes de la Commission Internationale du miel ( $< 40$  mg/kg). En revanche, les miels (M1, M4, M6) présentent des valeurs qui dépassent cette norme, Cela peut être attribué au chauffage ou à des conditions de stockage inadéquates de ces miels.

Les résultats obtenus révèlent que les miels de Toudja (M2) et de Naama (M6) affichent les teneurs en HMF les plus faibles avec des valeurs de 15,42 et de 15,67 mg/kg respectivement. Par contre, les miels de Tichy (M4) et de Souk El Tenine (M7) marquent les concentrations les plus élevées avec les valeurs de 64,82 et 109,98 mg/kg, respectivement.



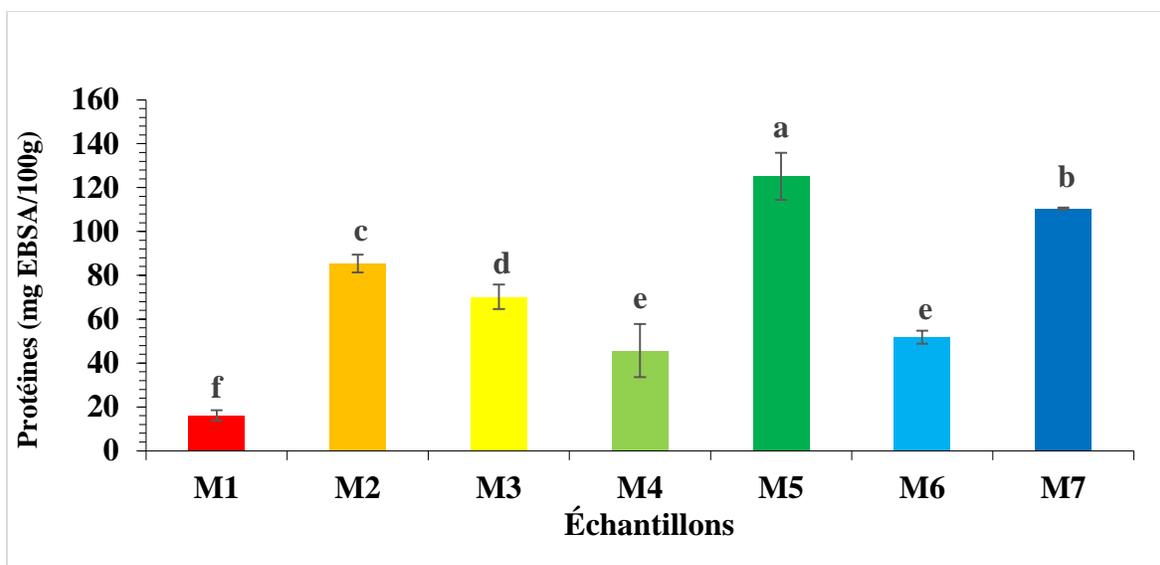
**Figure 11** : Teneur en HMF des miels analysés.

Les résultats de l'HMF obtenue dans cette analyse sont largement supérieurs à ceux rapportés par **Ayad et al. (2021)** pour les miels de Jijel avec des valeurs de 3,19 à 3,79 mg/kg, sont aussi comparables à ceux rapportés par **Lemos et al. (2017)** pour les échantillons de Brésille avec des valeurs d'HMF qui varient entre 0,60 à 173,15 mg/kg.

L'analyse statistique a démontré la présence de deux groupes homogènes (M1, M4) et (M2, M3, M5, M6), et le miel M7 est statistiquement différent à  $p < 0,05$ .

## II. 2. 8. Teneurs en protéines

Dans la présente analyse (figure 12), les miels de Tighremt (M5) et de Souk El Tenine (M7) montrent les teneurs en protéine les plus élevées avec des valeurs de 125 et de 110,5 mg EBSA/100 g, respectivement. Cependant, la valeur la plus faible par rapport aux autres échantillons est obtenue par le miel de Toudja (M1) (16,1 mg EBSA/100g).



**Figure 12 :** Teneur en protéines des miels analysés.

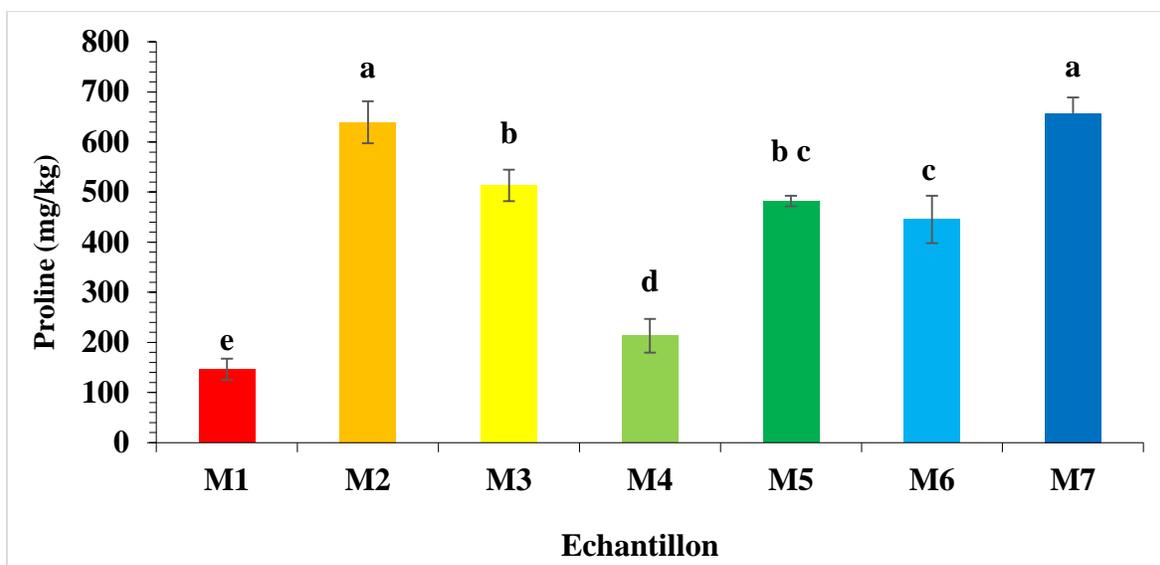
Les résultats obtenus dans cet étude sont largement supérieure a ceux rapportés par **Ismail et al. (2021)** dans les miels malaysiens (12 à 47 mg EBSA/100g). Cependant, les valeurs obtenues sont incluses dans l'intervalle rapporté par **Milek et al. (2021)** dans des miels polonais locaux et des miels importé (10,91 à 475,46 mg EBSA/100 g).

Le teste ANOVA révèle l'existence d'un seul groupe homogène (M4, M6) et les autres échantillons (M1, M2, M3, M5, M7) sont significativement différent à  $p < 0,05$ .

La teneur en protéines peut être attribuée à la présence de divers types d'enzymes et d'autres dérivés que les abeilles introduisent à partir du nectar des fleurs (**Bako et al., 2019**).

### II. 2. 9. Teneurs en proline

Les miels de Toudja (M2) et de Souk El Tenine (M7) présentent les teneurs en proline les plus élevées avec des concentrations de 639,4 et 656,9 mg/kg, respectivement. Toutefois, les miels d'Akfadou (146,8 mg/kg) et de Tichy (213,1 mg/kg) affichent les teneurs les plus faible. Les autres échantillons contiennent des concentrations de proline qui varient entre 445,5 et 513,6 mg/kg. Ces résultats sont supérieurs à la concentration minimale admissible en proline (200 mg/kg) fixée par la commission internationale du miel.



**Figure 13 :** Teneur en proline des miels analysés.

Les résultats obtenus par **Gela (2021)** pour les miels éthiopiens (171 à 213 mg/kg) sont similaires aux concentrations en proline trouvées dans cette analyse. En revanche, ces concentrations sont largement supérieures à celles rapportées par **Toro et Costa (2021)** pour les miels de la région de l'Amazonie, avec des valeurs qui varient entre 6 et 130 mg/kg.

L'analyse de la variance révèle un seul group homogène (M2, M7) et les autres miels sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

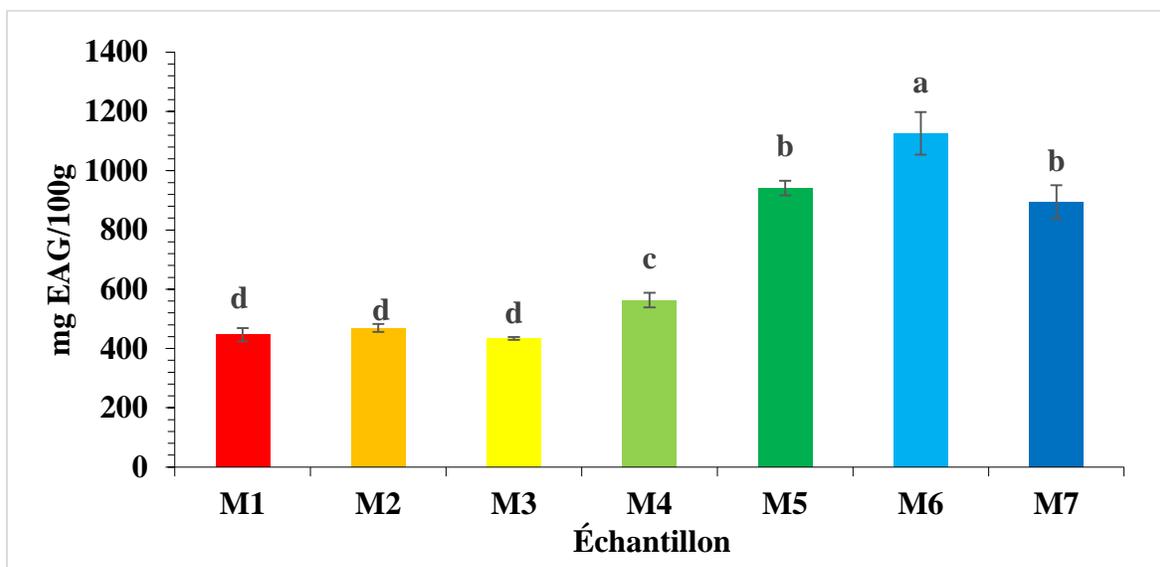
La proline est un acide aminé essentiel, principalement issu des sécrétions salivaires d'*A. mellifera* lors de la mise en miel du nectar. La présence de proline est perçue comme un indicateur de maturité du miel et, dans certains cas, comme un indice de falsification (**Bouhlali et al., 2019**).

### II. 3. Teneurs en composés bioactifs

#### II. 3. 1. Teneurs en composés phénoliques totaux

Les miels foncés contiennent généralement une teneur plus élevée en composés phénoliques par rapport aux miels clairs. Les composés phénoliques, qui sont des métabolites secondaires des plantes, contribuent à la couleur, au goût et aux propriétés antioxydantes du miel (**Alvarez-Suarez, 2010**).

Les taux des composés phénoliques des miels analysés sont représentés dans la figure 14. La teneur la plus élevée en composés phénoliques totaux est observée dans le miel de Naama (M6) avec une valeur de 1126 mg EAG/100g. Les échantillons M1, M2, M3, et M4 présentent des concentrations en composés phénoliques totaux comprises entre 434 et 563,4 mg EAG/100g. En revanche, le miel de Souk El Tenine (M7) et le miel de Tighremt (M5) affichent des valeurs de 894,4 et 941,7 mg EAG/100g, respectivement.



**Figure 14 :** Teneur en composés phénoliques totaux des miels analysés.

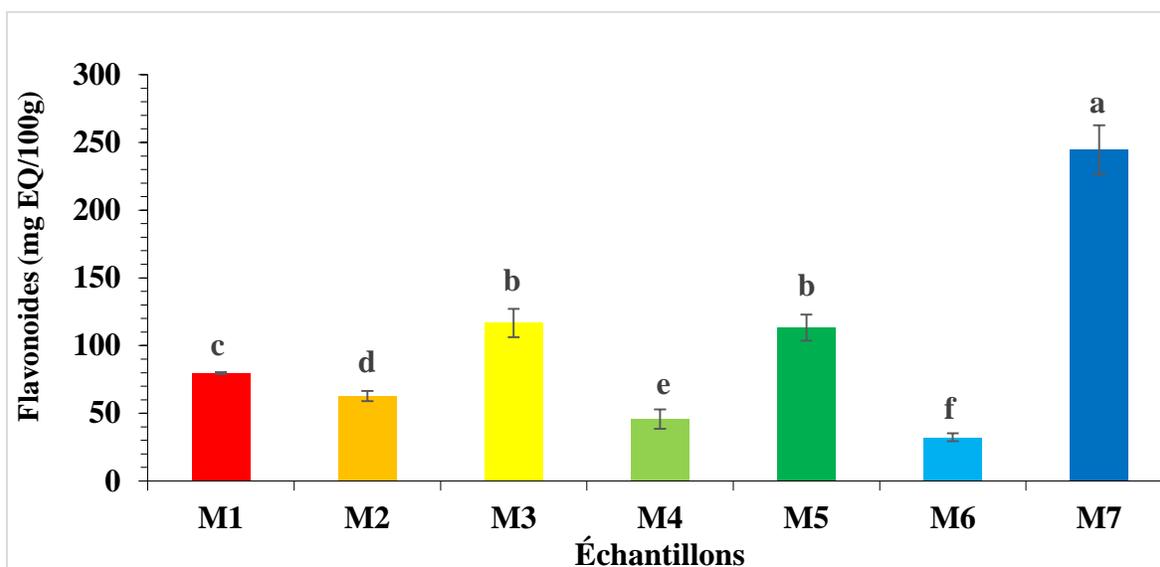
En comparaison avec les résultats obtenue par **Lima et al. (2024)** pour les miels brésiliens avec des concentrations en composé phénolique de 190,91 et 290,37 mg EAG/100g, les résultats de cette étude sont largement supérieurs.

L'analyse statistique révèle 2 groupes homogènes (M1, M2, M3) et (M5, M7) qui ne présentent pas de différence significative. Cependant, les autres miels sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

### II. 3. 2. Teneurs en flavonoïdes

Les concentrations en flavonoïdes des miels analysés sont données dans la figure 15. La teneur en flavonoïdes la plus élevés est obtenue par le miel de Souk El Tenine (M7) avec une concentration de 244,6 mg EQ/100 g. Les miels de Tichy (M4) et de Naama (M6) présentes les teneurs en flavonoïde les plus faible (45,7 et 32,2 mg EQ/100 g, respectivement).

Cependant les échantillons M1, M2, M3 et M5 montrent des concentrations en flavonoïde qui varient de 62,7 à 113,2 mg EQ/100g.



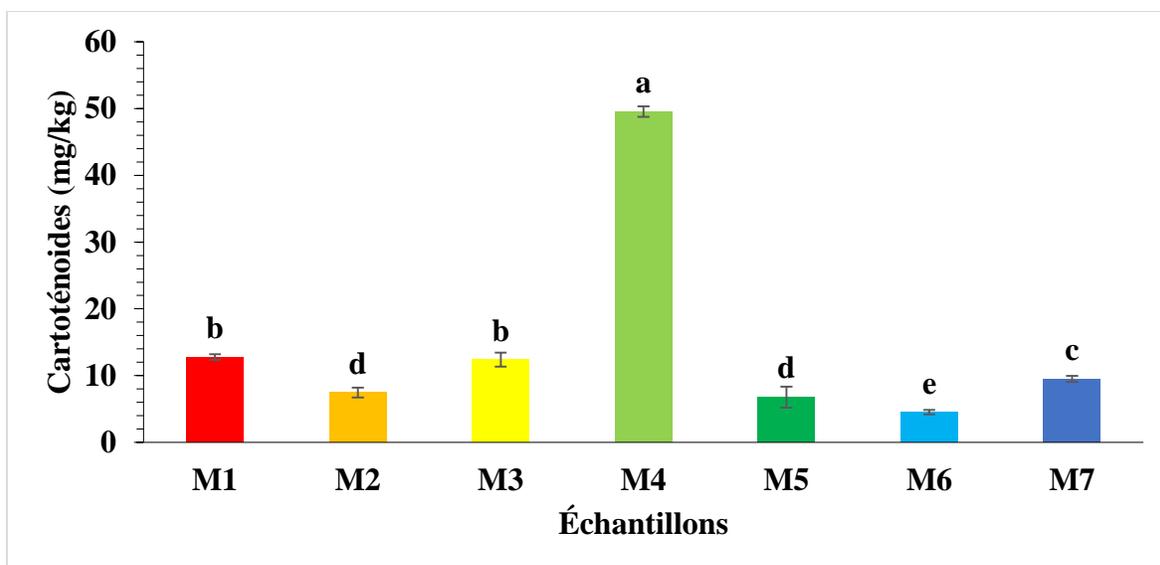
Figures 15 : Teneur en flavonoïdes des miels analysés.

Les résultats obtenus dans cette étude sont largement supérieures à ceux rapportés par **Velásquez et al. (2019)** pour les miels monofloraux de Ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav) avec des valeurs qui varient de 40 à 90 mg EQ/100g de miels, et par **Nakib et al. (2022)** pour les miels algériens avec des teneurs entre 6,55 et 9,97 mg EQ/100 g.

L'analyse de la variance montre un groupe homogène parmi les sept échantillons analysés (M3, M5) qui ne présente pas de différence significative. Les autres miels sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

### II. 3. 3. Teneurs en caroténoïdes

Les résultats présentés dans la figure 16 montrent que l'échantillon de Tichy (M4) présente la teneur en caroténoïdes la plus élevée par rapport aux autres échantillons avec une concentration de 49,6 mg/kg. Toutefois, les autres miels présentent des teneurs en caroténoïde qui varient de 4,7 à 12,5 mg/kg.



**Figures 16** : Teneur en caroténoïdes des miels analysés.

Les teneurs en caroténoïdes obtenue dans la présente étude sont supérieures de ceux rapporté par **Boussaid et al. (2018)** pour les miels tunisiens avec des concentrations en caroténoïdes qui varient de 1,16 à 4,72 mg/kg, par contre ces résultats sont proche de ceux trouvés par **Jimenez et al. (2016)** pour les miels du Mexique avec des teneurs qui oscillent de 0,65 à 6,19 mg/kg.

L'étude statistique révèle la présence de deux groupes homogènes (M1, M3) et (M2, M5) qui ne sont pas statistiquement différent. Les autres échantillons sont significativement différents à  $p < 0,05$ .

Les niveaux de caroténoïdes sont influencés par la localisation géographique, les éléments environnementaux et les variations saisonnières (**Thomas et Kharnaïor, 2023**).

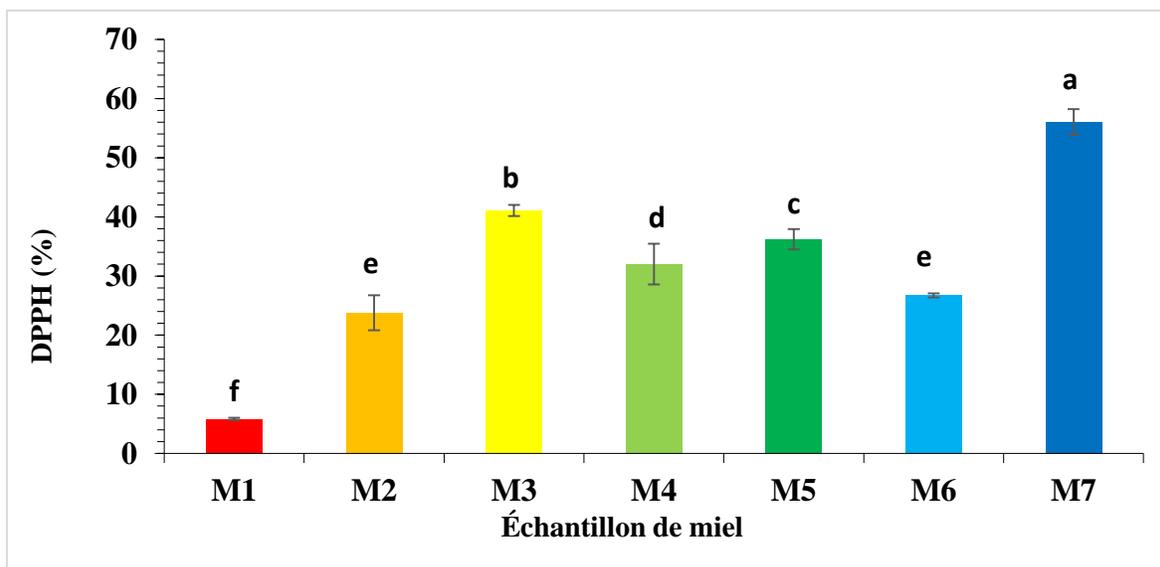
## II. 4. Activités biologiques

### II. 4. 1. Activités antioxydantes

#### a. Pouvoir anti-radicalaire par le DPPH

Le test au DPPH est largement utilisé pour évaluer l'activité antioxydante en raison de sa simplicité, rapidité, rentabilité et efficacité. Ce composé insoluble dans l'eau, coloré et très stable, est un outil populaire pour dépister les antioxydants dans divers extraits et matrices biologiques comme le miel (**Islam et al., 2020**).

Le pourcentage d'inhibition de radical DPPH le plus élevé est celui de l'échantillon de Souk El Tenine (M7) avec une valeur de 56 % (figure 17) cela est peut-être due à sa teneur élevée en flavonoïde. Cependant, le miel d'Akfadou (M1) présente l'activité antiradicalaire la plus faible avec un pourcentage d'inhibition de 5,8 %. Le pourcentage d'inhibition des autres échantillons varie de 23,8 à 41,1 %.



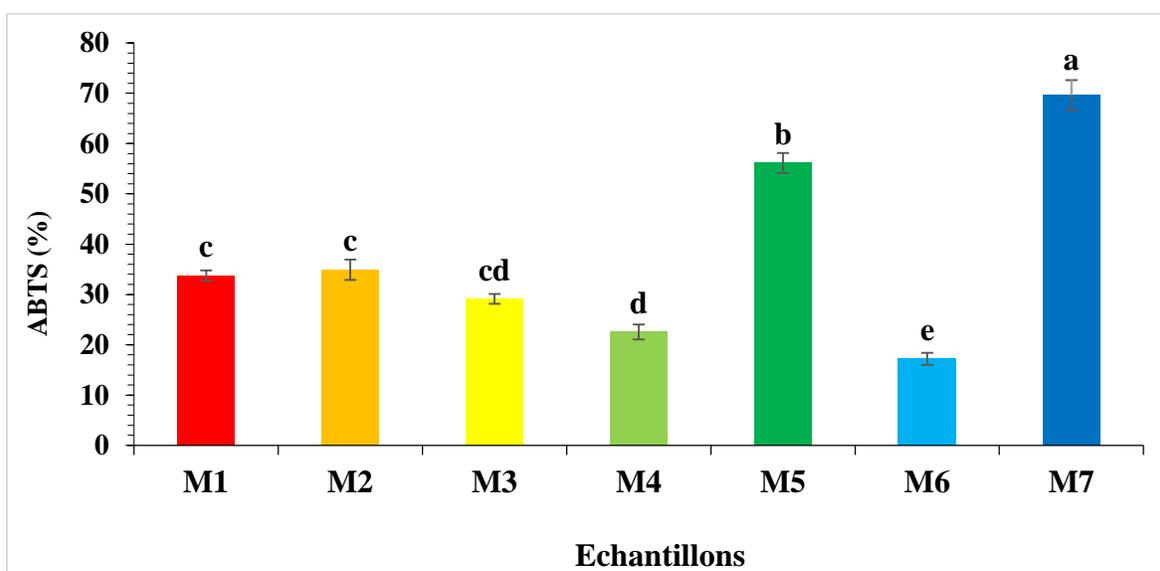
**Figure 17 :** Activité antiradicalaire DPPH des miels analysés.

Les résultats de cette étude sont similaires à ceux rapportés par **Nakib et al. (2022)** pour les miels algériens avec des valeurs qui varient de 25 à 54 %, par contre les résultats obtenus par **Ibrahimi & Hajdari. (2020)** pour les miels de Kosovo sont légèrement supérieurs des résultats de la présente analyse avec des valeurs qui oscillent de 22,23 à 66,92 %.

Le teste ANOVA montres un seul groupe homogène (M2, M6), par contre les autres miels sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

### b. Pouvoir anti-radicalaire par l'ABTS

Les résultats illustrés dans la figure 18 montrent que le miel de Souk El Tenine (M7) montre l'activité antiradicalaire la plus élevé avec un pourcentage d'inhibition de 69,62 %. En revanche, le miel de Naama (M6) affiche le pourcentage d'inhibition le plus faible (17,21 %), les autres échantillons présentes une activité antiradicalaire qui varie de 22,55 à 56,14 % cela confirme les résultats obtenue pour les teneurs en flavonoïdes.



**Figure 18 :** Activité antiradicalaire ABTS des miels analysés.

Les résultats de l'activité anti-radicalaire ABTS obtenus dans cette analyse sont proche de ceux trouvés par **Zhang et al. (2021)** pour des miels de différentes sources florale avec des pourcentages d'inhibitions qui varient de 9,86 à 89,26 %,

Les miels M1 et M2 ne présente pas de différence significative et ils forment un groupe homogène, et les autres miels sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

### c. Pouvoir réducteur

L'analyse du pouvoir réducteur est une méthode permettant d'évaluer la capacité d'un antioxydant à donner un électron. La présence d'antioxydants dans l'échantillon testé provoque la

réduction du complexe ferricyanure ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en sa forme ferrocyanure ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Tuksitha et al., 2018).

Les résultats du pouvoir réducteur obtenus sont représentés dans le diagramme en bâtons ci-dessous. Dans la présente étude, les valeurs de pouvoir réducteur sont toutes semblables pour les miels analysés avec un intervalle de 36,6 à 43,3 mg EAG/100 g. Cela est peut être due aux région de récolte qui est la même (wilaya de Bejaia) ou aux similarité des source florale des échantillons de miels (Escuredo., 2013).

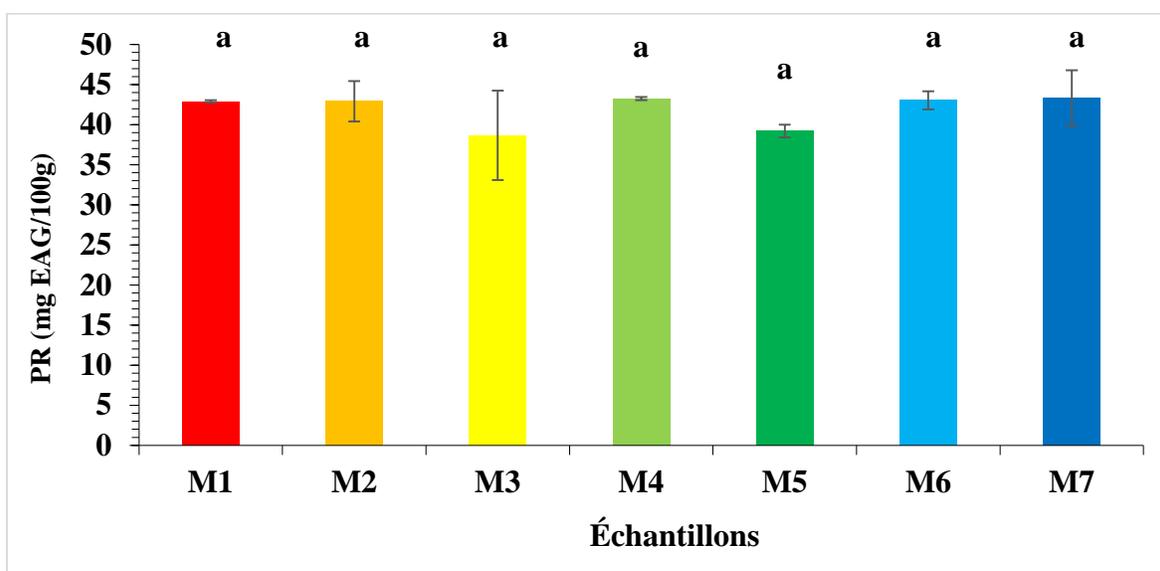


Figure 19 : Pouvoir réducteur des miels analysés.

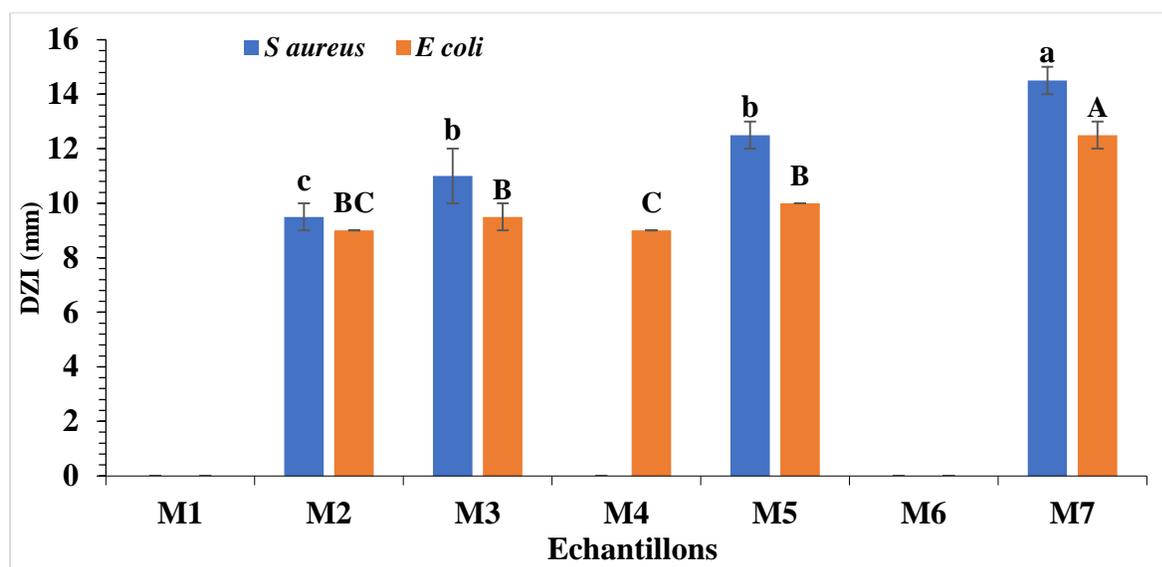
Les résultats obtenus dans cet étude sont proche de ceux rapportés par Otmani et al., (2021) pour les miels d'Algérie avec des valeurs du pourvoir réducteur qui varie de 43 à 150 mg EAG/100g.

L'analyse ANOVA montre que tous les échantillons analysés dans cette étude appartiennent au même groupe homogène et ne présente pas de différence significative à  $p < 0,05$ .

### II. 4. 3. Activité antibactériennes

#### a. Test de sensibilité

Les résultats de la figure, montrent que les miels étudiés ont une activité antibactérienne variable contre *E. coli* et *S. aureus*. Le miel M1 et M6 ne présentent aucune inhibition pour les deux souches bactériennes, indiquant une absence totale d'activité antibactérienne. En revanche, les autres échantillons de miel montrent une efficacité variable. M2 et M4 inhibent modérément les deux bactéries, avec des zones d'inhibition allant de 9 à 9,5 mm. M3 et M5 affichent des diamètres d'inhibition de 11 et 12,5 mm pour *S. aureus* et 9,5 et 10 mm pour *E. coli*. Enfin, M7 démontre la plus forte activité antibactérienne, avec des zones d'inhibition de 14,5 mm pour *S. aureus* et de 12,5 mm pour *E. coli*.



**Figure 20** : Diamètres de zones d'inhibition des miels analysé contre *E. coli* et *S. aureus*.

L'analyse de la variance des diamètres de zones d'inhibition montre un groupe homogène (M3 et M5) pour *S. aureus* et un groupe homogène pour *E. coli*. Cependant, les autres échantillons sont statistiquement différents à  $p < 0,05$ .

Les diamètres de zones d'inhibition obtenus contre *S. aureus* sont inclus dans l'intervalle rapporté par **Ghranh et al. (2019)** avec des valeurs qui varient de 8 à 20 mm, ainsi que celui trouvé par **Voidarou et al. (2011)** avec des valeurs qui oscillent de 9 à 12,88 mm.

Cependant, l'activité antibactérienne des miels analysés contre *E. coli* est inférieure à celle rapportée par Adeleke et al. (2006) (12,5 à 25,5 mm).

Les activités antibactériennes *in vitro* des acides *p*-coumarique, caféique, férulique, sinapique et des flavonoïdes ont été démontrées expérimentalement. Les composés phénoliques, comme le catéchol et la coumarine, possèdent également des activités bactéricides (Lima et al., 2019). Le miel de Souk El Tenine (M7) a montré les plus grandes concentrations en composés phénoliques et flavonoïdes et le meilleur pouvoir inhibiteur contre *S. aureus* et *E. coli*. Les bactéries Gram positives sont plus sensibles aux polyphénols que les Gram négatives, en raison de la forte électronégativité de la membrane externe des Gram négatives qui n'existe pas chez les bactéries Gram positives.

Les composés phénoliques peuvent altérer les facteurs de virulence, la régulation génétique et la production de biofilms des bactéries pathogènes (Lima et al., 2019).

#### **b. CMI**

Les résultats des concentrations minimales inhibitrices (CMI) des miels étudiés contre *S. aureus* et *E. coli* sont représentés dans le tableau III. Les valeurs obtenues révèlent une variabilité significative de l'activité antibactérienne selon les types de miel et les souches bactériennes testées. Les miels M1 et M4 montrent une absence d'activité antibactérienne notable avec des CMI supérieures à 500 mg/ml pour *S. aureus* et *E. coli*, indiquant l'absence de l'inhibition de la croissance bactérienne. En revanche, les miels M3 et M7 se distinguent par leur forte activité antibactérienne, présentant des CMI inférieures à 62,5 mg/ml pour les deux souches, ce qui suggère un pouvoir antibactérien élevé contre ces bactéries. Le miel M2 montre une bonne activité contre *S. aureus* (<250 mg/ml) mais est inefficace contre *E. coli* (>500 mg/ml). Le miel M5 affiche des CMI inférieures à 250 mg/ml pour les deux bactéries, démontrant une activité antibactérienne modérée. Le miel M6 présente une activité modérée contre *E. coli* (<250 mg/ml) mais aucune activité significative contre *S. aureus* (>500 mg/ml).

**Tableau IV** : Résultats des CMI des miels étudiés sur les souches testées.

Echantillons	Concentration minimale inhibitrice (mg/ml)	
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
<b>M1</b>	>500	>500
<b>M2</b>	<250	>500
<b>M3</b>	<62,5	<62,5
<b>M4</b>	>500	>500
<b>M5</b>	<250	<250
<b>M6</b>	>500	<250
<b>M7</b>	<31,25	<62,5

Les résultats obtenus montrent que les CMI des miel M2, M3, M5 et M7 contre *S. aureus* sont inférieurs à celle rapportée par **Rahman et al. (2010)** avec une valeur de 375 mg/ml. De plus, **Otmani et al. (2022)** ont rapportés des CMI contre *E. coli* supérieures à 100 mg/ml.

---

# **Conclusion**

---

## Conclusion

A travers l'analyse des paramètres physicochimiques, des composés bioactifs et des activités biologiques de six miels de différente région de la wilaya de Béjaïa et un miel de Naama, nous avons pu dégager des différences significatives qui nous permettent de classer et de recommander ces miels en fonction de leurs propriétés et bienfaits pour la santé.

Les miels de Toudja (M2), Tighremt (M5), et Naama (M6) se distinguent par leurs bonnes caractéristiques physicochimiques. Ils montrent des teneurs élevées en sucres, une faible humidité, des valeurs de HMF conformes aux normes, et une conductivité électrique des miels de qualité. Ces paramètres indiquent une bonne conservation et une haute qualité nutritive. En revanche, les miels d'Akfadou (M1) et de Tichy (M4) présentent des signes de fermentation.

Les composés bioactifs, tels que les composés phénoliques totaux, les flavonoïdes et les caroténoïdes, sont essentiels pour les propriétés antioxydantes du miel. Le miel de Naama (M6) et de Tighremt (M5) se distinguent par des taux élevés de composés phénoliques totaux, tandis que le miel de Souk El Tenine (M7) présente la teneur la plus élevée en flavonoïdes. Le miel de Tichy (M4) montre une teneur élevée en caroténoïdes. Ces miels offrent ainsi un potentiel antioxydant et bioactif important.

L'étude des activités biologiques, incluant la capacité antioxydante et l'activité antibactérienne, a démontré que le miel de Souk El Tenine (M7) est très bon en tant qu'antioxydant, avec les valeurs les plus élevées dans les tests de pouvoir anti-radicalaire (DPPH et ABTS). Le miel de Souk El Tenine (M7) se distingue également par sa forte activité antibactérienne contre *S. aureus* et *E. coli*.

D'après les résultats obtenus, le miel de Souk El Tenine (M7) ressort comme le miel de la meilleure qualité globale, avec une forte capacité antioxydante et une bonne teneur en composés bioactifs. Les miels de Naama (M6) et de Tighremt (M5) sont également recommandés pour leurs bonnes propriétés physicochimiques et leur capacité bioactive élevée.

Ces résultats constituent une base utile pour les consommateurs et les producteurs, en identifiant les miels qui présentent les meilleurs avantages pour la santé et ceux qui nécessitent des améliorations dans leurs méthodes de production et de conservation.

En perspectives, ce travail mérite d'être complété par :

- ✓ La caractérisation des composés phénoliques des miels de la région de Bejaia par la méthode HPLC.
- ✓ L'évaluation, par des tests *in vivo* et *in vitro*, des activités antidiabétique et anticancéreuse des miels de Bejaia ;
- ✓ L'évaluation de l'effet cicatrisant des miels de Bejaia.

---

# **Références bibliographiques**

---

## Références bibliographiques

- Achouri, M. Y., Selka, M. A., & Yakoub, M. N. S. (2022).** Méthodes physiques utilisées dans la caractérisation et le contrôle de qualité des miels : revue générale. *Algerian journal of pharmacy*, 4, 8-14.
- Adeleke, O. E., Olaitan, J. O., & Okpekpe, E. L. (2006).** Comparative antibacterial activity of honey and gentamicin against *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Annals of burns and fire disasters*, 19(4), 201.
- Ahmida, N. H., Towier, N. H., Shaboun, S., Rahil, S., Ahmida, A., El-zwaeya, R. S., & Elgazali, A. (2021).** The contents of some macro and trace elements in uniflora and multiflora honey samples collected from three regions in east Libya. *Adv J Chem B*, 3(4), 361-374.
- Al, M. L., Daniel, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., & Bogdanov, S. (2009).** Physico-chemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania. *Food chemistry*, 112(4), 863-867.
- Al-Farsi, M., Al-Amri, A., Al-Hadhrami, A., & Al-Belushi, S. (2018).** Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*, 4(10).
- Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Díaz, D., Estevez, Y., Romandini, S., Giampieri, F., & Battino, M. (2010).** Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8-9), 2490-2499.
- Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E., & Battino, M. (2010).** Contribution of honey in nutrition and human health: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(1), 15-23.
- Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., & Battino, M. (2013).** Honey as a source of dietary antioxidants: structures, bioavailability and evidence of protective effects against human chronic diseases. *Current medicinal chemistry*, 20(5), 621-638.
- 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). *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology*, 45(2), 147–167.

**Azeredo, L. da C., Azeredo, M. A. A., De Souza, S. R., & Dutra, V. M. L. (2003).** Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food Chemistry*, 80(2), 249–254.

**Azonwade, F. E., Paraïso, A., Agbangnan Dossa, C. P., Dougnon, V. T., N'tcha, C., Mousse, W., & Baba-Moussa, L. (2018).** Physicochemical characteristics and microbiological quality of honey produced in Benin. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–13.

**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.

**Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Maffei Facino, R. (2005).** Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2), 185–191.

**Bogdanov, S., Bieri, K., Kilchenmann, V., Gallmann, P., & Dillier, F. X. (2007).** Les pucerons à l'œuvre dans la production du miel de forêt. *Revue suisse d'apiculture*, 128(9), 15-21.

**Bogdanov, S., Ruoff, K., & Persano Oddo, L. (2004).** Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys : A review. *Apidologie*, 35(1), S4–S17.

**Bogdanov, S., Lüllmann, C., Martin, P., Von Der Ohe, W., Russmann, H., Vorwohl, G., Oddo, L. P., Sabatini, A.-G., Marcazzan, G. L., Piro, R., Flamini, C., Morlot, M., Lhéritier, J., Borneck, R., Marioleas, P., Tsigouri, A., Kerkvliet, J., Ortiz, A., Ivanov, T., Vit, P. (1999).** Honey quality and international regulatory standards : Review by the International Honey Commission. *Bee World*, 80(2), 61–69.

**Bogdanov, S., Marttin, P., Lüllman, C., Borneck, R., Morlot, M., Heritier, J., Vorwohl, G., Russmann, H., Persano-Oddo, L., Sabatini, A. G., Maecazzan, G. L., Marioleas, P., Tsigouri,**

- A., KerKvliet, J., Ortiz, A. & Ivanov, T. (1997).** Harmonised methods of the European honey commission. *Apidologie*. (extra issue), 1-59.
- Bonté, F., & Desmoulière, A. (2013).** Le miel: Origine et composition. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(531), 18□21.
- Bouhlali, E. D. T., Bammou, M., Sellam, K., El Midaoui, A., Bourkhis, B., Ennassir, J., Alem, C., & Filali-Zegzouti, Y. (2019).** Physicochemical properties of eleven monofloral honey samples produced in Morocco. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 26(1), 476□487.
- 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.
- Chia Ching, L., & En Shyh, L. (2010).** Antiradical capacity and reducing power of different extraction method of Areca catechu seed. *African Journal of Biotechnology*, 9(46), 7831□7836.
- Clinical and Laboratory Standarts Institute (CLSI). (2015).** Performance standards for antimicrobial disque susceptibility tests; approved standard, 12th Edition, document M02 A1.
- De La Fuente, E., Ruiz-Matute, A. I., Valencia-Barrera, R. M., Sanz, J., & Martínez Castro, I. (2011).** Carbohydrate composition of Spanish unifloral honeys. *Food Chemistry*, 129(4),
- Demir Kanbur, E., Yuksek, T., Atamov, V., & Ozelik, A. E. (2021).** A comparison of the physicochemical properties of chestnut and highland honey : The case of Senoz Valley in the Rize province of Turkey. *Food Chemistry*, 345, 128864.
- Elamine, Y., Lyoussi, B., Miguel, M. G., Anjos, O., Estevinho, L., Alaiz, M., ... & Vioque, J. (2021).** Physicochemical characteristics and antiproliferative and antioxidant activities of Moroccan Zantaz honey rich in methyl syringate. *Food Chemistry*, 339, 128098.
- Escuredo, O., Míguez, M., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2013).** Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. *Food chemistry*, 138(2-3), 851-856.

- Escuredo, O., Rodríguez-Flores, M. S., Míguez, M., & Seijo, M. C. (2023).** Multivariate Statistical Approach for the Discrimination of Honey Samples from Galicia (NW Spain) Using Physicochemical and Pollen Parameters. *Foods*, 12(7), 1493.
- Faustino, C., & Pinheiro, L. (2021).** Analytical rheology of honey: A state-of-the-art review. *Foods*, 10(8), 1709.
- Fuentes Molina, 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.
- Galhardo, D., Garcia, R. C., Schneider, C. R., Braga, G. C., Chambó, E. D., França, D. L. B. D., & Ströher, S. M. (2021).** Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* L. honey from western Paraná, Southern Brazil. *Food Science and Technology*, 41(1), 247–253.
- Gela, A., Hora, Z. A., Kebebe, D., & Gebresilassie, A. (2021).** Physico-chemical characteristics of honey produced by stingless bees (*Meliponula beccarii*) from West Showa zone of Oromia Region, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1), 1-7.
- Guerzou, M., Aouissi, H. A., Guerzou, A., Burlakovs, J., Doumandji, S., & Krauklis, A. E. (2021).** From the beehives: Identification and comparison of physicochemical properties of Algerian honey. *Resources*, 10(10), 94.
- Guo, N., Wang, Q., Shen, L., Wang, L., & Zhao, Y. (2019).** An effective and economic method to produce re-ripe honey with honeybee colonies. *Food Science and Technology*, 39, 510-516.
- Hadagali, M. D., & Chua, L. S. (2014).** The anti-inflammatory and wound healing properties of honey. *European Food Research and Technology*, 239(6), 1003–1014.
- Harbane, S., Escuredo, O., Saker, Y., Ghorab, A., Nakib, R., Rodríguez-Flores, M. S., Ouelhadj, A., & Seijo, M. C. (2024).** The Contribution of Botanical Origin to the Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honeys. *Foods*, 13(4), 573.
- Ibrahimi, H., & Hajdari, A. (2020).** Phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Kosovo. *Journal of Apicultural Research*, 59(4), 452-457.

**Islam, M. K., Sostaric, T., Lim, L. Y., Hammer, K., & Locher, C. (2020).** Development and validation of an HPTLC–DPPH assay and its application to the analysis of honey. *JPC – Journal of Planar Chromatography – Modern TLC*, 33(3), 301–311.

**Izzah Ismail, N., Rafiq Abdul Kadir, M., Mohamed Zulkifli, R., & Mohamed, M. (2021).** Comparison of physicochemical, total protein and antioxidant profiles between Malaysian Apis and Trigona honeys (Perbandingan Profil Fizikokimia, Jumlah Protin dan Antioksidan antara Madu Apis dan Trigona Malaysia). *Malays J Anal Sci*, 25(2), 243-256.

**Jimenez, M., Beristain, C. I., Azuara, E., Mendoza, M. R., & Pascual, L. A. (2016).** Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *Journal of Apicultural Research*, 55(2), 151–160.

**Koc, A. N., Silici, S., Ercal, B. D., Kasap, F., Hörmet-Öz, H. T., & Mavus-Buldu, H. (2009).** Antifungal activity of Turkish honey against *Candida* spp. and *Trichosporon* spp : An *in vitro* evaluation. *Medical Mycology*, 47(7), 707–712.

**Lachman, J., Koliňová, D., Miholová, D., Kořata, J., Titěra, D., & Kult, K. (2007).** Analysis of minority honey components : Possible use for the evaluation of honey quality. *Food Chemistry*, 101(3), 973–979.

**Lanjwani, M. F., & Channa, F. A. (2019).** Minerals content in different types of local and branded honey in Sindh, Pakistan. *Heliyon*, 5(7), e02042.

**Lemos, M. S., Venturieri, G. C., Dantas Filho, H. A., & Dantas, K. G. (2018).** Evaluation of the physicochemical parameters and inorganic constituents of honeys from the Amazon region. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 135-144.

**Lima, Â., Dias, E. R., Reis, I. M. A., Carneiro, K. O., Pinheiro, A. M., Nascimento, A. S., & Branco, A. (2022).** Ferulic acid as major antioxidant phenolic compound of the *Tetragonisca angustula* honey collected in Vera Cruz-Itaparica Island, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e253599.

**Machado De-Melo, A. A., Almeida-Muradian, L. B. D., Sancho, M. T., & Pascual-Maté, A. (2018).** Composition and properties of *Apis mellifera* honey : A review. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 5–37.

- 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.
- Massous, A., Ouchbani, T., Lo Turco, V., Litrenta, F., Nava, V., Albergamo, A., Potorti, A. G., & Di Bella, G. (2023).** Monitoring Moroccan honeys: Physicochemical properties and contamination pattern. *Foods*, 12(5), 969.
- 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.
- Missio da Silva, P., Gonzaga, L. V., Biluca, F. C., Schulz, M., Vitali, L., Micke, G. A., & Fett, R. (2020).** Stability of Brazilian *Apis mellifera* L. honey during prolonged storage: physicochemical parameters and bioactive compounds. *LWT*, 129: 109521.
- Morlock, G. E., Belay, A., Heil, J., Mehl, A., & Borck, H. (2022).** Effect-directed profiling of monofloral honeys from Ethiopia by High-Performance Thin-Layer Chromatography and High-Resolution Mass Spectrometry. *Molecules*, 27(11), 3541.
- Nakib, R., Ouelhadj, A., & Seijo Coello, M. C. (2022a).** Assessment of Physicochemical, Antimicrobial and Antiradical Characteristics of Some Algerian Honeys from Different Floral and Geographical Origins. *Phytothérapie*, 20(4–5), 230–240.
- Nascimento, K. S. D., Gasparotto Sattler, J. A., Lauer Macedo, L. F., Serna González, C. V., Pereira De Melo, I. L., Da Silva Araújo, E., Granato, D., Sattler, A., & De Almeida-Muradian, L. B. (2018).** Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. *LWT*, 91, 85–94.
- 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.
- Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Mouhoubi-Tafinine, Z., Tighlit, K., Redouan, I., Terrab, A., & Ouchemoukh, S. (2022).** Contribution of Organic Bee Pollen to the Determination

of Botanical Origin of Honey and its Impact on its Biological Properties. *Current Bioactive Compounds*, 18(5), 66-77.

**Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Birinci, C., Yahiaoui, S., Kolayli, S., Rodríguez-Flores, M. S., Escuredo, O., Seijo, M. C., & Ouchemoukh, S. (2021).** Phenolic compounds and antioxidant and antibacterial activities of Algerian honeys. *Food Bioscience*, 42, 101070.

**Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., & Louaileche, H. (2012).** Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 329–332.

**Patton, T., Barrett, J., Brennan, J., & Moran, N. (2006).** Use of a spectrophotometric bioassay for determination of microbial sensitivity to Manuka honey. *Journal of Microbiological Methods*, 64(1), 84–95.

**Pauliuc, D., Dranca, F., & Oroian, M. (2020).** Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Individual Phenolics and Physicochemical Parameters Suitability for Romanian Honey Authentication. *Foods*, 9(3), 306.

**Pita-Calvo, C., Guerra-Rodriguez, M. E., & Vazquez, M. (2017).** Analytical methods used in the quality control of honey. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(4), 690-703.

**Puścion-Jakubik, A., Borawska, M. H., & Socha, K. (2020).** Modern Methods for Assessing the Quality of Bee Honey and Botanical Origin Identification. *Foods*, 9(8), 1028.

**Rahman, M. M., Richardson, A., & Sofian-Azirun, M. (2010).** Antibacterial activity of propolis and honey against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *African Journal of Microbiology Research*, 4(18), 1872-1878.

**Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.

**Rodney, S., & Purdy, J. (2020).** Dietary requirements of individual nectar foragers, and colony-level pollen and nectar consumption : A review to support pesticide exposure assessment for honey bees. *Apidologie*, 51(2), 163–179.

- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., & Toth-Markus, M. (2005).** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8-9), 1023-1029.
- Seijo, M. C., Escuredo, O., & Rodríguez-Flores, M. S. (2019).** Physicochemical properties and pollen profile of oak honeydew and evergreen oak honeydew honeys from Spain: A comparative study. *Foods*, 8(4), 126.
- Seraglio, S. K. T., Silva, B., Bergamo, G., Brugnerotto, P., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2019).** An overview of physicochemical characteristics and health-promoting properties of honeydew honey. *Food Research International*, 119, 44-66.
- Shapla, U. M., Solayman, Md., Alam, N., Khalil, Md. I., & Gan, S. H. (2018).** 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products : Effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1-18.
- Subramanian, R., Umesh Hebbar, H., & Rastogi, N. K. (2007).** Processing of honey : A review. *International Journal of Food Properties*, 10(1), 127-143.
- Terrab, A., Díez, M. J., & Heredia, F. J. (2002).** Characterisation of Moroccan unifloral honeys by their physicochemical characteristics. *Food Chemistry*, 79(3), 373-379.
- Thomas, S. C., & Kharnaior, S. (2023).** Biochemical composition and bioactivity analysis of sour honey samples from Nagaland, Northeast India. *Journal of Apicultural Research*, 62(5), 1215-1224.
- Tuksitha, L., Chen, Y.-L. S., Chen, Y.-L., Wong, K.-Y., & Peng, C.-C. (2018).** Antioxidant and antibacterial capacity of stingless bee honey from Borneo (Sarawak). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 563-570.
- Aypak, S. Ü., İnci, A., Bakırcı, S., Fidan, E. D., & Soysal, M. (2019).** Comparison of the antioxidant activity and hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey taken from hives and markets. *Gıda*, 44(1), 86-92.
- Valverde, S., Ares, A. M., Stephen Elmore, J., & Bernal, J. (2022).** Recent trends in the analysis of honey constituents. *Food Chemistry*, 387, 132920.

**Velásquez, P., Montenegro, G., Leyton, F., Ascar, L., Ramirez, O., & Giordano, A. (2020).** Bioactive compounds and antibacterial properties of monofloral Ulmo honey. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 11-19.

**Vijaya Kumar Reddy, C., Sreeramulu, D., & Raghunath, M. (2010).** Antioxidant activity of fresh and dry fruits commonly consumed in India. *Food Research International*, 43(1), 285-288.

**Waheed, M., Hussain, M. B., Javed, A., Mushtaq, Z., Hassan, S., Shariati, M. A., Khan, M. U., Majeed, M., Nigam, M., Mishra, A. P., & Heydari, M. (2019).** Honey and cancer : A mechanistic review. *Clinical Nutrition*, 38(6), 2499-2503.

**Zhang, X.-H., Qing, X.-D., Mu, S.-T., Wang, D., Zheng, J.-J., Zhou, S.-J., Kang, C., & Liu, Z. (2021).** Authentication of honey of different nectar sources and antioxidant property evaluation by phenolic composition analysis with chemometrics. *Food Control*, 124, 107900.

---

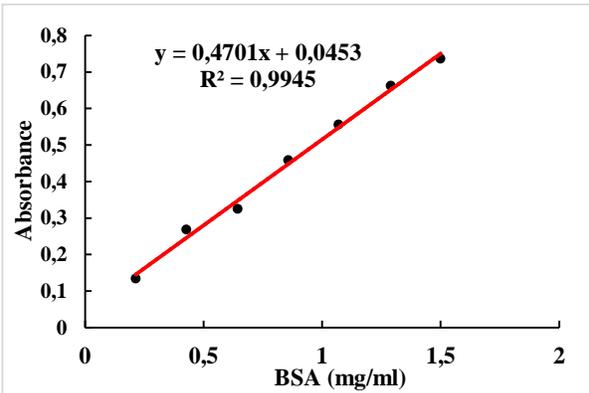
# **Annexes**

---

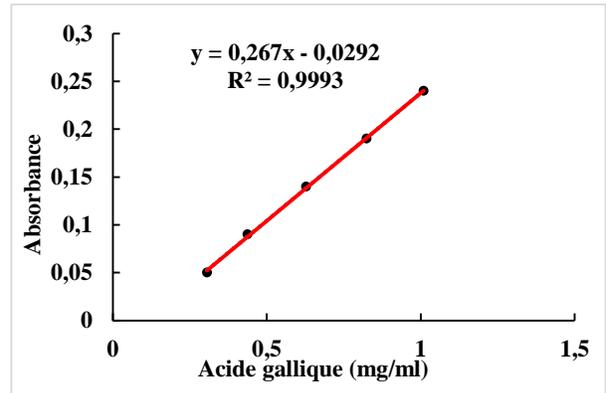
## Annexe 1 : Table de CHATAWAY.

Indice de réfraction á 20 °C	Teneur en eau (%)	Indice de réfraction á 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
1.5012	14.2	1.4855	20.4
1.5007	14.4	1.4850	20.6
1.5002	14.6	1.4845	20.8
1.4997	14.8	1.4840	21.0
1.4992	15.0	1.4835	21.2
1.4987	15.2	1.4830	21.4
1.4982	15.4	1.4825	21.6
1.4976	15.6	1.4820	21.8
1.4971	15.8	1.4815	22.0
1.4966	16.0	1.4810	22.2
1.4961	16.2	1.4805	22.4
1.4956	16.4	1.4800	22.6
1.4951	16.6	1.4795	22.8
1.4946	16.8	1.4790	23.0
1.4940	17.0	1.4785	23.2
1.4935	17.2	1.4780	23.4
1.4930	17.4	1.4775	23.6
1.4925	17.6	1.4770	23.8
1.4920	17.8	1.4765	23.0
1.4915	18.0	1.4760	24.2
1.4910	18.2	1.4755	24.4
1.4905	18.4	1.4750	24.6
1.4990	18.6	1.4745	24.8
1.4895	18.8	1.4740	25.0
1.4890	19.0		

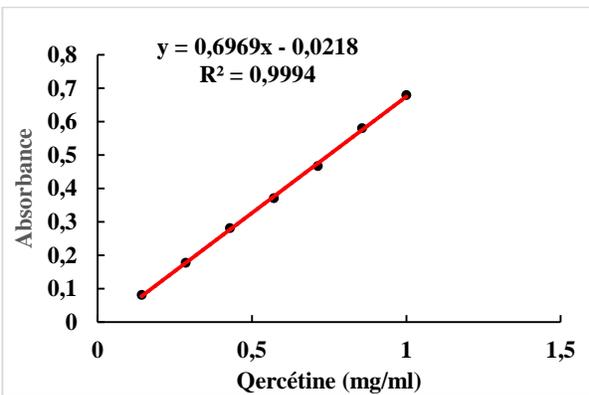
## Annexe 2



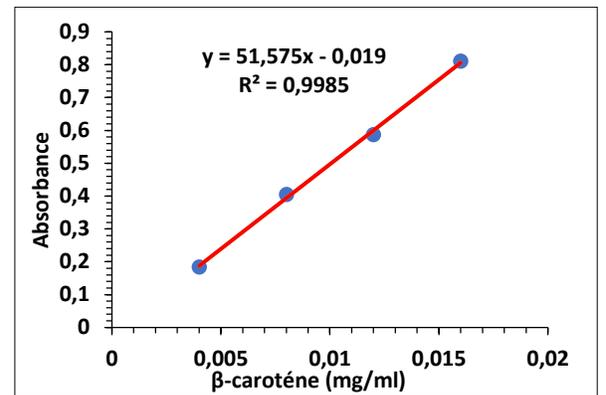
Courbe d'étalonnage des protéines (BSA)



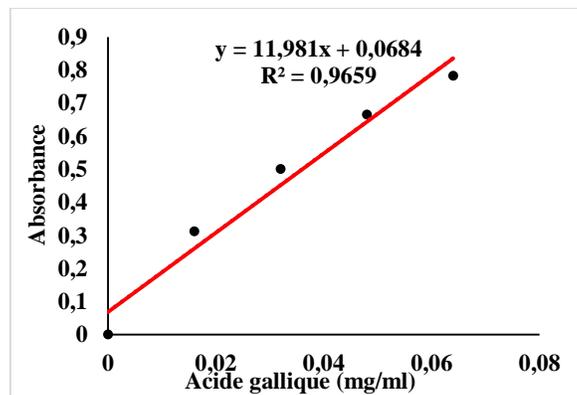
Courbe d'étalonnage des composés phénolique (acide gallique)



Courbe d'étalonnage des flavonoïdes (Quercétine)



Courbe d'étalonnage des caroténoïdes (β-carotène).



Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur (Acide gallique)

**Figure 1** : Courbes d'étalonnages de dosages des protéines, composés phénoliques, flavonoïdes, caroténoïdes et pouvoir réducteur.

## Résumé

Cette étude sur les miels de la Wilaya de Béjaïa vise à combler le manque de données sur leurs propriétés bioactives et biologiques, essentielles pour leur valorisation thérapeutique. Six miels de différentes régions de Bejaia et un miel de la Wilaya de Naama ont été analysés pour leurs caractéristiques physicochimiques (Brix, humidité, pH, HMF, proline, protéines, etc.), leurs composés bioactifs (composés phénoliques, flavonoïdes et caroténoïdes) et leurs activités biologiques (antioxydantes, antibactériennes). Les résultats montrent que les miels de Toudja, Tighremt et Naama se distinguent par leurs excellentes propriétés et leur haute teneur en composés bioactifs. En revanche, les miels d'Akfadou et de Tichy présentent des signes de fermentation, nécessitant une attention particulière avant consommation. Cette étude met en lumière l'importance d'améliorer les pratiques de production et de conservation de miel. Par conséquent, une gestion rigoureuse de la production et de la conservation est cruciale pour assurer la qualité du miel.

**Mots-clés :** Miel ; Paramètres physico-chimiques ; Composés bioactifs ; Activité antioxydante ; Activité antibactérienne.

## Abstract

This study of honeys from the Wilaya of Béjaïa aims to fill the gap in data on their bioactive and biological properties, which are essential for their therapeutic value. Six honeys from different regions of Bejaia and one from the Wilaya of Naama were analysed for their physicochemical characteristics (Brix, humidity, pH, HMF, proline, proteins, etc.), their bioactive compounds (phenolic compounds, flavonoids and carotenoids) and their biological activities (antioxidant, antibacterial). The results show that honeys from Toudja, Tighremt and Naama stand out for their excellent properties and high content of bioactive compounds. However, the honeys from Akfadou and Tichy showed signs of fermentation, requiring special attention before consumption. This study highlights the importance of improving honey production and conservation practices. Consequently, rigorous management of production and storage is crucial to ensuring honey quality.

**Key words:** Honey; Physico-chemical parameters; Bioactive compounds; Antioxidant activity; Antibacterial activity.

## الملخص

تهدف هذه الدراسة لأنواع العسل من ولاية بجاية إلى سد الفجوة في البيانات المتعلقة بخصائصها الحيوية والبيولوجية، والتي تعتبر ضرورية لقيمتها العلاجية. تم تحليل ستة أنواع من العسل من مناطق مختلفة من بجاية وواحد من ولاية النعامة للتعرف على خصائصها الفيزيائية والكيميائية (Brix، الرطوبة، الرقم الهيدروجيني، HMF، البرولين، البروتينات، إلخ)، ومركباتها النشطة بيولوجيا (المركبات الفينولية، الفلافونويدات والكاروتينات) ومكوناتها النشطة بيولوجيا. الأنشطة البيولوجية (مضادات الأكسدة، مضاد للجراثيم). وأظهرت النتائج أن عسل تودجة وتغريمت ونعمة يتميز بخصائصه الممتازة ومحتواه العالي من المركبات النشطة بيولوجيا. ومع ذلك، فإن عسل أكفادو وتيشي أظهر علامات التخمر، مما يتطلب عناية خاصة قبل الاستهلاك. تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية تحسين إنتاج العسل وممارسات الحفاظ عليه. وبالتالي، فإن الإدارة الصارمة للإنتاج والتخزين أمر بالغ الأهمية لضمان جودة العسل.

**الكلمات المفتاحية:** العسل؛ المعلمات الفيزيائية الكيميائية؛ المركبات النشطة بيولوجيا؛ النشاط المضاد للأكسدة؛ النشاط المضاد للبكتيريا.