

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad Dahleb Blida 1

Institut des Sciences Vétérinaires



Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du

Diplôme du docteur vétérinaire

Thème :

Etude des propriétés physico-chimiques du miel

Présenté par :

Ben Messaadia Hamida

Devant le jury :

Présidente :	Kebbour Djamilia	Pr	ISV Blida
Examineur :	Douifi Mohammed	MCA	ISV Blida
Promoteur :	Salhi Omar	MCA	ISV Blida
Co-promoteur :	Tahraoui Meriem	Doctorante	ISV Blida

Promotion : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Avant tout, ma plus profonde gratitude va à Dieu. C'est par Sa volonté, Sa guidance et Son soutien constant que j'ai pu arriver jusqu'ici. Je Le remercie de m'avoir permis d'atteindre cette étape importante de ma vie, tout en restant connectée à ce qui donne du sens à tout cela. C'est cette double lumière qui m'a portée, éclairée et guidée dans chaque étape de mon parcours.

*Je souhaite ensuite adresser mes sincères remerciements à mes encadrants, **Dr Salhi Omar** et **Dr Tahraoui Meriem**, pour leur aide, leur soutien, leur patience et leurs conseils tout au long de ce travail. Ils ont été pour moi un véritable exemple d'enseignants bienveillants, plaçant toujours l'intérêt de l'étudiant au premier plan.*

*J'exprime également ma reconnaissance aux **membres du jury** pour l'attention portée à ce travail modeste et le temps consacré à son évaluation.*

*Un grand merci au **personnel du laboratoire**, dont l'aide précieuse a allégé cette expérience et l'a rendue aussi enrichissante qu'instructive.*

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire merci du fond du cœur. Je vous souhaite à tous encore plus de réussite et de belles choses à venir.

Je remercie aussi du fond du cœur ma famille, mes soutiens de toujours, ceux qui m'ont constamment encouragée, portée, et qui ne m'ont jamais laissée baisser les bras. Leur présence, leurs soins, leur patience et leur amour m'ont accompagnée à chaque étape de mon

parcours. À chacun d'entre vous, un immense merci. Sans vous, je n'en serais pas là aujourd'hui. Que Dieu vous bénisse tous.

Enfin, je tiens à adresser un merci tout particulier à mes amies les plus chères, qui ont été là dans les bons comme dans les mauvais moments. Elles m'ont soutenue, écoutée, accompagnée, et ont partagé chaque étape de cette aventure avec moi. Merci infiniment à vous.

Dédicaces

*Je dédie ce travail, avant tout, à **moi-même**. À la personne que je suis aujourd'hui, à celle qui a tenu bon pendant cinq années, à celle qui a douté parfois mais n'a jamais abandonné. Ce mémoire n'est pas seulement une fin, c'est le reflet d'un parcours riche, difficile, mais profondément formateur. Merci à moi, pour chaque effort, chaque pas, chaque victoire, même silencieuse.*

*Je le dédie ensuite à **ma mère**, à **mes frères et sœurs**, qui ont été ma force dans les moments d'épuisement, mon refuge dans les moments de doute, et mon soutien de tous les jours. Je vous aime infiniment, et je vous remercie pour tout ce que vous m'avez donné, sans jamais rien attendre en retour.*

*Une pensée très spéciale à **mon père**, parti trop tôt, que je n'ai pas eu la chance de connaître. Mais dans mon cœur, tu as toujours été là. Ce travail est pour toi. Je suis convaincue que tu m'as accompagnée à chaque étape, que tu es fier de moi, et que, là où tu es, tu souris aujourd'hui et je suis heureuse d'avoir pu accomplir ce que tu aurais voulu pour nous. Merci pour ta présence silencieuse. Je t'aime.*

*Cette dédicace va aussi à **mes meilleures amies**, mes « **besties** », qui ont rendu chaque douleur plus légère, chaque joie plus grande, et chaque petite réussite énorme. Je n'aurais jamais pu rêver meilleures amies. Merci infiniment.*

Et enfin, à toutes les personnes qui ont cru en moi, qui m'ont encouragée et soutenue à leur manière : merci du fond du cœur.

Résumé

Le miel est un composé biologique complexe et très diversifié, qui lui confère une large variété de propriétés nutritionnelles et thérapeutiques. Sa composition riche et variable dépend de nombreux facteurs, notamment l'origine florale, les conditions environnementales, ainsi que les pratiques de récolte et de stockage.

L'objectif de notre travail est de réaliser une étude physico-chimique sur différents types de miel récoltés dans plusieurs régions du centre de l'Algérie. Dans ce cadre, plusieurs paramètres physico-chimiques ont été analysés.

Les paramètres explorés montrent un degré de Brix de (82.5%), une teneur en eau de (17.5%), un pH de (4.2), une acidité libre de (17.1 meq/Kg) et une conductivité électrique de (0.548 mS/cm)

Les résultats obtenus montrent que les miels locaux analysés répondent globalement aux normes de qualité fixées par le Codex Alimentarius (2001). Ces miels sont jugés de bonne qualité et présentent une bonne stabilité physico-chimique et biologique, leur permettant une conservation prolongée sans altération majeure.

Cette étude contribue à mieux caractériser les miels algériens et à souligner leur conformité avec les standards internationaux, tout en valorisant leur potentiel en tant que produit naturel de qualité.

Mots clés : Miel, Analyse physico-chimique, Qualité, Codex Alimentarius, degré Brix.

Abstract

Honey is a complex and highly diverse biological compound, which gives it a wide range of nutritional and therapeutic properties. Its rich and variable composition depends on many factors, including floral origin, environmental conditions, and harvesting and storage practices.

The objective of this work is to carry out a physicochemical study on different types of honey collected from various regions in central Algeria. In this context, several physicochemical parameters were analyzed.

The explored parameters show a Brix degree of (82.5%), a moisture content of (17.5%), a pH of (4.2), a free acidity of (17.1 meq/kg), and an electrical conductivity of (0.548 mS/cm).

The results obtained show that the local honeys analyzed generally comply with the quality standards set by the Codex Alimentarius (2001). These honeys are considered to be of good quality and demonstrate good physicochemical and biological stability, allowing for extended conservation without significant degradation.

This study helps to better characterize Algerian honeys and to highlight their compliance with international standards, while emphasizing their potential as a high-quality natural product.

Keywords : Honey, Physicochemical analysis, Quality, Codex Alimentarius, Brix degree.

ملخص

يُعدّ العسل مركبًا بيولوجيًا معقدًا ومتعدد المكونات، مما يمنحه مجموعة واسعة من الخصائص الغذائية والعلاجية. وتعتمد تركيبته الغنية والمتغيرة على عدة عوامل، من بينها الأصل الزهري، والظروف البيئية، بالإضافة إلى طرق الجني والتخزين.

يهدف هذا العمل إلى إجراء دراسة فيزيائية-كيميائية على أنواع مختلفة من العسل تم جمعها من عدة مناطق في وسط الجزائر. وفي هذا الإطار، تم تحليل عدة معايير فيزيائية-كيميائية.

تُظهر المعايير المدروسة درجة بريكس تبلغ (82.5%)، ومحتوى مائي بنسبة (17.5%)، ودرجة حموضة (4.2)، وحموضة حرة بمقدار (17.1 ميلي مكافئ/كغ)، وتوصيلية كهربائية قدرها (0.548 مليزيمنز/سم).

أظهرت النتائج المحصّلة أن عينات العسل المحلي المستخلصة تستوفي بوجه عام معايير الجودة التي حددها الدستور الغذائي لسنة 2001. وتُعتبر هذه الأنواع ذات جودة جيدة وتتمتع باستقرار فيزيائي-كيميائي وبيولوجي، مما يسمح لها بالحفاظ على خصائصها دون أن تتعرض لتغيرات كبيرة أثناء التخزين.

تُساهم هذه الدراسة في تحسين معرفة خصائص العسل الجزائري وتأكيد مدى توافقه مع المعايير الدولية، مع إبراز قيمته كمادة طبيعية ذات جودة عالية.

الكلمات المفتاحية: العسل، التحليل الفيزيائي-الكيميائي، الجودة، الدستور الغذائي، درجة بريكس

TABLE DE MATIERES

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur le miel	2
1. Définition du miel :	2
2. Origine et formation du miel :	2
2.1. Origine :	2
2.2. Formation :	3
2.3. Facteurs influençant la composition du miel :	4
3. Types des miels :	4
3.1. Miels monofloraux :	4
3.2. Miels polyfloraux :	5
4. Composition du miel :	5
4.1. Elément majeurs :	5
4.1.1. Eau :	5
4.1.2. Glucides :	5
4.2. Les éléments mineurs :	6
4.2.1. Les acides :	6
4.2.2. Les protides :	6
4.2.3. Les lipides :	7
4.2.4. Matières minérales :	7
4.2.5. L'hydroxyméthylfurfural :	7
4.2.6. Les enzymes :	7
4.2.7. Vitamines :	8
4.2.8. Pigments :	8
4.2.9. Les arômes :	8
5. Propriétés physico-chimiques du miel :	9
5.1. Propriétés physiques du miel :	9
5.1.1. Couleur du miel :	9
5.1.2. Densité du miel :	9
5.1.3. Viscosité du miel :	9

5.1.4.	Degré de Brix :	9
5.1.5.	Indice de réfraction :	10
5.1.6.	Teneur en eau du miel :	10
5.2.	Propriétés chimiques du miel :	10
5.2.1.	Ph et acidité :	10
5.2.2.	Conductivité électrique du miel :	11
5.2.3.	Hydroxyméthylfurfural (HMF) :	11
5.2.4.	Diastase et Invertase :	11
6.	Propriétés microbiologiques du miel :	12
6.1.	Activité antimicrobienne :	12
6.1.1.	Osmolarité :	12
6.1.2.	Acidité :	13
6.1.3.	Peroxydase :	14
6.1.4.	Les composés non-peroxydiques :	15
6.2.	Activité anti-inflammatoire :	16
6.2.1.	Effet antioxydant :	16
6.2.2.	Immunomodulation :	16
	Expérimentalement :	17
6.3.	Prébiotique et probiotique :	18
6.4.	Micro-organismes :	18
7.	Qualité du miel et normes internationales relatives au miel :	19
	Chapitre 2 : matériels et méthodes.....	22
1.	Problématique :	22
2.	Objectif :	22
3.	Matériel :	22
3.1.	Matériel non biologique :	22
3.2.	Matériel biologique :	22
4.	Méthodes d'analyses :	23
4.1.	Analyses physico-chimiques :	24
4.1.1.	Mesure du degré Brix et détermination de la teneur en eau :	24
4.1.2.	La mesure du Ph :	25
4.1.3.	L'acidité libre :	26

4.1.4. La conductivité électrique :	27
Chapitre 3 : Résultats et discussion	29
1. Résultat et discussion d'analyses physico-chimiques :	29
1.1. Degré de Brix :	29
1.2. La teneur en eau :	30
1.3. Mesure de Ph :	31
1.4. Acidité libre :	32
Conclusion	35
recommandations	36
Références bibliographiques	37
Annexe 01 : matériels non biologiques	42

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
01	Les principaux glucides du miel.	6
02	Facteurs influencent l'activité.	12
03	Critères de composition du miel selon le Codex Alimentarius.	20
04	Comparaison des normes nationales du miel dans différents pays.	21

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
01	<i>Apis mellifera.</i>	2
02	Origine du miel.	3
03	Composition moyenne du miel.	8
04	Les échantillons du miel.	23
05	Schéma de protocole expérimentale.	23
06	Refractomètre	25
07	PH-mètre.	26
08	Homogénéisation du miel	27
09	Conductimètre.	28
10	Représentation graphique des valeurs de Brix.	29
11	Représentation graphique des valeurs de teneur en eau.	30
12	Représentation graphique des valeurs de Ph	31
13	Représentation graphique des valeurs d'acidité libre	32
14	Représentation graphique des valeurs de conductivité.	33

Liste des abréviations

HMF : Hdroxyméthylfurfural

Mg : Milligramme

Kg : Kilogramme

% : Pourcentage

PH : Potentiel Hydrogène

H₂O : l'eau

α : alpha

β : beta

Pfund : échelle pour la mesure de couleur

CIE Lab. : système de représentation de couleur

°C : degré Celsius

CE : conductivité électrique

mS /cm : millisiemens par centimètre

Mg/Kg : milligramme par kilogramme

IHC : international honey commission

HPLC : Chromatographie Liquide Haute Performance

U/Kg : Unités par kilogramme

Aw : activité water

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

O₂ : oxygène

MGO : methylglyoxal

MRJP1 : Major Royal Jelly Protein 1

NO : monoxyde d'azote

Spp : espèces

FOS : fructo-oligosaccharide

g : gramme

NaOH : Hydroxyde de Sodium

UF : uniflore

TF : total flore

IR : indice de réfraction

H+ : ions d'hydrogène

Introduction

Introduction

Le miel est un produit naturel complexe issu du travail des abeilles domestiques *Apis mellifera*, qui collectent le nectar des fleurs et le miellat dans leur environnement avant de le transformer en une substance sucrée aux multiples vertus (**Odoux, 2014**).

La composition du miel est influencée par une multitude de facteurs biologiques et environnementaux. Parmi eux, la nature du sol, le type de flore butinée, la race des abeilles et les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans ses caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques. Ces éléments interagissent et modulent la qualité et la composition du miel récolté (**Apiculture.net, s.d.**).

La qualité du miel résulte d'une interaction dynamique entre les facteurs environnementaux, les pratiques apicoles et les caractéristiques biologiques des abeilles, qui influencent conjointement sa composition et ses propriétés finales.

Les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques du miel sont fortement influencées par ces facteurs, expliquant la diversité des types de miel disponibles sur le marché. Ce noble aliment possède non seulement une grande valeur nutritionnelle, mais aussi une importance économique considérable, tant sur le plan national qu'international. Il constitue une source de revenus pour les populations rurales et contribue à l'amélioration de l'alimentation humaine (**Canini et al., 2005**).

Dans le cadre de ce travail, nous visons à évaluer et valoriser différents types de miel récoltés au centre de l'Algérie, issus de diverses origines géographiques et botaniques. Dans un premier temps, une revue générale du miel sera réalisée, abordant sa classification et sa composition chimique. Ensuite, certaines propriétés biologiques, telles que les activités antioxydantes et antimicrobiennes, seront évoquées.

La partie expérimentale portera sur l'analyse physico-chimique de plusieurs échantillons de miel, en étudiant des paramètres tels que le pH, la teneur en eau, l'acidité, la conductivité électrique et le degré Brix.

Chapitre 1

Généralités sur le miel

Chapitre 1 : Généralités sur le miel

1. Définition du miel :

Le miel est une substance naturellement sucrée produite par les abeilles domestiques *Apis mellifera*. Il est obtenu à partir du nectar des fleurs ou des sécrétions végétales, que les abeilles butinent, transforment en l'associant à leurs propres enzymes, puis stockent dans les rayons de la ruche où il mûrit progressivement.

D'après la définition du Codex Alimentarius, le miel est principalement composé de sucres, essentiellement de fructose et de glucose. Il contient également des acides organiques, des enzymes et d'autres particules naturelles issues de la récolte, sa composition diffère selon plusieurs facteurs (FAO, 2001).



Figure 01 : *Apis mellifera* (David Cappaert, Bugwood.org)

2. Origine et formation du miel :

2.1. Origine :

Le miel est une substance naturelle sucrée produite par les abeilles domestiques *Apis mellifera*. Il résulte de la transformation du nectar des fleurs et du miellat, une sécrétion sucrée provenant d'insectes phytophages. Ces matières premières sont collectées par les abeilles butineuses, transformées par les enzymes, puis stockées dans la ruche jusqu'à leur maturation complète (Bogdanov, 2017).

D'après Lorichiche (1979), le miel peut être classé selon son origine : Florale, lorsqu'il provient du nectar des fleurs, ou animale, lorsqu'il résulte des sécrétions d'insectes.

Le nectar est une solution sucrée sécrétée par les glandes nectarifères des plantes, composée majoritairement de saccharose, glucose et fructose, avec une teneur en eau

pouvant atteindre 80 %. Il contient aussi des acides organiques, des pigments et des composés aromatiques influençant la couleur et le goût du miel (**Bogdanov, 2017**).

Les abeilles butineuses préfèrent les nectars contenant entre 30 % et 50 % de sucres. Elles évitent ceux en dessous de 15 %, sauf en cas de manque de ressources (**ITSAP, s.d.**).

Le miellat, en revanche, est une excrétion sucrée produite par des insectes phytophages comme les pucerons, riches en oligosaccharides, notamment le mélézitose, ainsi qu'en minéraux et acides aminés. Le miel issu du miellat est généralement plus foncé, plus acide et plus riche en minéraux que le miel de nectar (**Bogdanov, 2017**).

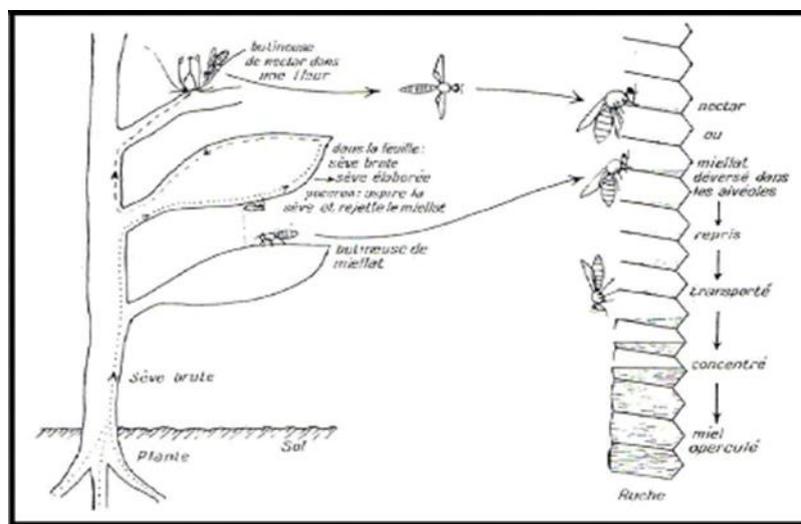
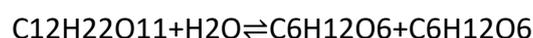


Figure 02 : Origine du miel (**PROST, 1987**)

2.2. Formation :

La formation du miel commence dès la collecte du nectar par les abeilles butineuses, qui le stockent dans leur jabot. Sous l'action de la gluco-invertase, une enzyme salivaire, le saccharose contenu dans le nectar est hydrolysé en sucres simples, principalement du glucose et du fructose, selon la réaction chimique suivante :



De retour à la ruche, les butineuses transmettent cette solution sucrée aux ouvrières d'intérieur par régurgitations successives, favorisant ainsi la transformation enzymatique et la réduction progressive de la teneur en eau. Initialement d'environ 50 %, cette teneur diminue jusqu'à atteindre un taux moyen de 18 %, grâce à l'évaporation facilitée par la ventilation active

des abeilles, qui créent un courant d'air ascendant en battant des ailes. Une fois le miel arrivé à maturité, il est stocké dans les alvéoles de cire et scellé par un opercule, garantissant sa conservation (**Gonnet, 1982**).

2.3. Facteurs influençant la composition du miel :

La composition du miel varie selon plusieurs facteurs environnementaux et biologiques :

- **Origine botanique** : Le type de fleurs butinées influence les arômes, la couleur et la concentration en sucres. Par exemple, le miel d'eucalyptus a un goût prononcé et une couleur foncée, tandis que le miel d'oranger est plus clair et plus doux (**Louveaux, 1968**).
- **Conditions climatiques** : La température, l'humidité et les précipitations influencent la disponibilité du nectar, modifiant ainsi la production et la concentration en eau du miel.
- **Intervention humaine et stockage** : Un stockage inadapté (chaleur excessive, lumière directe) accélère la formation d'hydroxyméthylfurfural (HMF), un indicateur du vieillissement du miel (**FAO, 2009**).

Ainsi, la formation du miel est un processus biologique complexe, dépendant du travail des abeilles, mais aussi des conditions environnementales et des pratiques apicoles.

3. Types des miels :

Le miel est classé en deux catégories principales en fonction de l'origine botanique des fleurs butinées par les abeilles : les miels monofloraux et les miels polyfloraux.

3.1. Miels monofloraux :

Les miels monofloraux sont produits principalement à partir du nectar ou du miellat d'une seule espèce végétale. Cette prédominance confère au miel des caractéristiques spécifiques en termes de composition pollinique, de propriétés physico-chimiques et de saveurs. Des exemples courants incluent les miels d'acacia, d'oranger et de lavande (**Bogdanov et al., 2004**).

3.2. Miels polyfloraux :

Également appelés "miels toutes fleurs", les miels polyfloraux sont élaborés à partir du nectar et/ou du miellat de diverses espèces végétales. La diversité florale butinée par les abeilles confère à ces miels des caractéristiques variées, reflétant la richesse botanique de la zone de récolte. La valorisation de leurs spécificités et la reconnaissance de leurs caractères dominants sont souvent indiquées selon la période de production (miel de printemps ou d'été) ou la région de récolte (miel de montagne, de forêt, etc.) (**Donnadieu, 1982 ; Rossant, 2011**).

4. Composition du miel :

Il est essentiel de parler des miels au pluriel, car chacun possède une composition unique, cette composition est influencée par le terroir, les pratiques apicoles et les conditions environnementales (**INAO,2010**). La gestion des ruches et le choix des zones de butinage déterminent ses caractéristiques physico-chimiques et aromatiques (**Ballot-Flurin, s.d.**).

On peut toutefois établir la liste des principaux éléments constitutifs de la façon suivante (**Gonnet et Vache 1987 ; Pham-Délègue, 1999**)

4.1. Élément majeurs :

4.1.1. Eau :

La teneur en eau du miel fluctue entre 14 % et 25 %, avec un niveau optimal d'environ 17 %. Un miel trop visqueux complique son extraction et son conditionnement, tandis qu'une teneur élevée en eau le rend plus liquide et favorise le risque de fermentation.

4.1.2. Glucides :

Les hydrates de carbone constituent la majeure partie du miel, représentant environ 78 à 80 % de sa composition. Le miel contient différents sucres, bien qu'ils ne soient jamais tous présents simultanément.

Les principaux glucides du miel sont :

Tableau 01 : les principaux glucides du miel (**Gonnet et Vache G, 1987 ; Pham-Délègue M, 1999**)

Type de glucides	Exemples	Remarques
Monosaccharides	Fructose, Glucose	Principaux sucres du miel, issus de l'hydrolyse du saccharose par l'invertase et les acides.
Disaccharides	Maltose, Saccharose	Présents en quantités moindres.
Tri- et polysaccharides	Erlose, Raffinose, Mélézitoze	Composés minoritaires ; dépendent de l'origine florale et des conditions de transformation.

Le fructose est le sucre le plus abondant, suivi du glucose. Le saccharose est généralement minoritaire, sauf dans certains miels, comme ceux de lavande ou de pissenlit, où sa concentration peut être plus élevée en raison d'une miellée intense.

4.2. Les éléments mineurs :

4.2.1. Les acides :

Les acides organiques du miel proviennent principalement du nectar floral ou de transformations enzymatiques effectuées par l'abeille. L'acide gluconique, issu du glucose, est le plus abondant. Le miel contient également divers autres acides organiques, dont l'acide acétique, citrique, lactique, malique et oxalique, ainsi que des traces d'acide formique, chlorhydrique et phosphorique. Les lactones, présentes systématiquement, participent aussi à l'acidité du miel. Son pH varie généralement entre 3,2 et 4,5, avec une moyenne de 3,9 (Pham-Délègue, 1999).

4.2.2. Les protides :

Les acides aminés et protéines sont présents en faible quantité dans le miel. Ils proviennent soit des plantes (nectar, pollen), soit des sécrétions des abeilles. Parmi eux, on retrouve des peptones, albumines, globulines et nucléoprotéines, ainsi que des traces d'acides aminés tels que la proline, la trypsine, l'histidine et l'alanine. La proline est l'acide aminé le plus abondant et constitue un indicateur de qualité du miel, avec un seuil minimal de 183 mg/kg (Meda *et al.*, 2005).

4.2.3. Les lipides :

Les lipides sont présents en très faible quantité dans le miel, principalement sous forme de glycérides et d'acides gras tels que l'acide palmitique, oléique et linoléique. Ils proviendraient essentiellement de la cire.

4.2.4. Matières minérales :

Les sels minéraux sont présents en faible quantité dans le miel, avec un taux d'environ 0,1 % dans les miels courants, mais une concentration plus élevée dans les miels foncés. Le potassium constitue près de la moitié de ces matières minérales, aux côtés du calcium, du sodium, du magnésium, du cuivre, du manganèse, du chlore, du soufre, du silicium et du fer, ainsi que de nombreux oligo-éléments. Leur présence dépend des plantes butinées et des caractéristiques du sol. Par ailleurs, le miel peut contenir des traces de polluants environnementaux, comme le plomb et le cadmium, dont l'analyse permet d'évaluer la pollution de l'environnement.

4.2.5. L'hydroxyméthylfurfural :

L'HMF est un composé organique résultant de la déshydratation du fructose. Il est absent des nectars, miellats et miels frais, mais apparaît progressivement au cours du vieillissement naturel du miel. Ce processus est accéléré par une exposition à la chaleur ou un pH très acide. Ainsi, l'HMF est un indicateur clé permettant d'évaluer la qualité du miel, en particulier son degré de vieillissement et son éventuelle surchauffe (**Deschamps, 1998**).

4.2.6. Les enzymes :

Les enzymes du miel proviennent soit des nectars, soit des sécrétions salivaires des abeilles. Parmi les principales, on retrouve la gluco-invertase, qui hydrolyse les disaccharides, ainsi que les amylases α et β , impliquées dans la dégradation de l'amidon. Le miel contient également d'autres enzymes, comme la catalase, la phosphatase, certaines enzymes acidifiantes et la gluco-oxydase, qui transforme le glucose en acide gluconique. Ces enzymes sont sensibles à la chaleur, et leur présence ou absence peut être un indicateur de surchauffe du miel.

4.2.7. Vitamines :

Le miel contient très peu de vitamines, et les vitamines liposolubles comme les vitamines A et D y sont absentes. En revanche, il renferme des vitamines du groupe B issues des grains de pollen en suspension, notamment la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la pyridoxine, l'acide pantothénique, l'acide nicotinique (B3), la biotine et l'acide folique (B9). On y trouve aussi de la vitamine C, principalement issue du nectar de certaines plantes comme la menthe. La stabilité des vitamines dans le miel est favorisée par son pH acide.

4.2.8. Pigments :

Les pigments du miel, principalement les caroténoïdes et les flavonoïdes, sont responsables de sa coloration. Les flavonoïdes, appartenant au groupe des polyphénols, possèdent des propriétés antioxydantes, aidant à neutraliser les radicaux libres dans l'organisme. Leur concentration et leur type varient selon l'origine florale du miel. En général, les miels plus foncés, comme ceux issus du tournesol, du sarrasin ou du miellat, sont plus riches en flavonoïdes. Parmi ces composés, on retrouve la pinocembrine, la pinobanskine, la chrysin, la galangine, la quercétine, la lutéoline et le kaempférol.

4.2.9. Les arômes :

Les arômes du miel résultent d'un mélange complexe de divers composés, tels que les alcools, les cétones, les acides et les aldéhydes. Leur analyse est délicate, car leur composition n'est pas fixe et évolue au fil du temps.

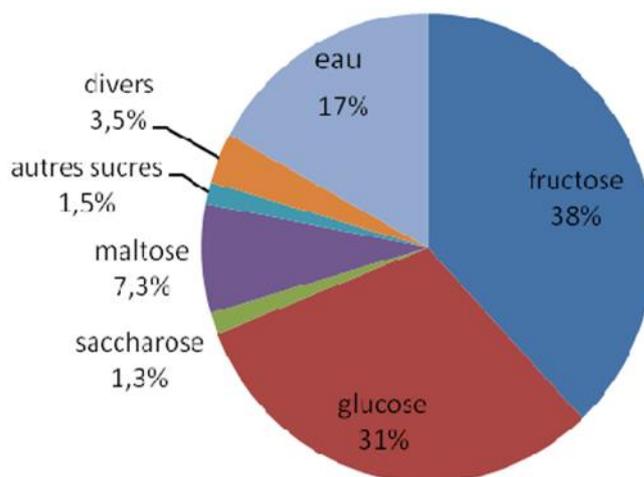


Figure 03 : Composition moyenne du miel (Bruneau, 2002)

5. Propriétés physico-chimiques du miel :

5.1. Propriétés physiques du miel :

5.1.1. Couleur du miel :

La couleur du miel, qui varie du très clair au noir, est un critère essentiel de classification et de valorisation commerciale. Les miels clairs, comme ceux d'acacia et d'agrumes, sont souvent plus recherchés, tandis que les miels foncés de miellat sont très appréciés en Allemagne, Autriche et Suisse (**Aubert et Gonnet, 1983**).

La classification repose principalement sur l'échelle de Pfund, utilisée dans le commerce, et l'échelle Lovibond, plus simple d'usage (**Fell, 1978**). D'autres méthodes, comme le modèle CIE Lab* ou la spectroscopie de réflectance, ont été testées mais restent à valider pour un usage standardisé (**Negueruela et Perez, 2000 ; Terrab et al., 2002**).

5.1.2. Densité du miel :

La densité, ou poids spécifique, est principalement déterminée par la teneur en eau du miel (**Louveaux, 1968**). Un miel récolté trop tôt, extrait dans un environnement humide ou mal stocké peut contenir un excès d'eau, détectable par densimètre ou réfractomètre (**Prost, 1987**).

Selon **Al-Khalifa et Al-Arif (1999)**, la densité du miel varie entre 1.39 et 1.44 à 20°C, influencée principalement par son taux d'humidité et, dans une moindre mesure, par sa composition chimique.

5.1.3. Viscosité du miel :

La viscosité du miel dépend principalement de sa teneur en eau, de sa composition chimique et de la température de conservation. Sous l'effet de certains facteurs (température, agitation, composition chimique), les sucres peuvent partiellement cristalliser, modifiant ainsi l'aspect du miel sans altérer sa composition (**Donadieu, 2008**).

5.1.4. Degré de Brix :

Le degré Brix représente la quantité de matière sèche soluble exprimée en grammes pour 100 g de miel (**Daily, 2008**).

5.1.5. Indice de réfraction :

L'indice de réfraction, mesuré à l'aide de réfractomètres portables, est une méthode rapide et pratique pour estimer la teneur en eau du miel, plus efficace que d'autres techniques (Emmanuelle *et al.*, 1996).

5.1.6. Teneur en eau du miel :

La teneur en eau est un paramètre clé influençant la conservation du miel. Bien qu'elle ait un impact limité sur la classification des miels unifloraux, elle varie en fonction du climat et de la saison de production, affectant ainsi la viscosité, la cristallisation et le rapport glucose/eau (Persano et Piro, 2004).

Toutefois, elle peut être modifiée artificiellement lors du processus de transformation du miel. La réfractométrie est la méthode couramment utilisée pour mesurer l'humidité, que ce soit avec un réfractomètre analogique Abbé (Bogdanov *et al.*, 1997) ou un réfractomètre numérique, dont les résultats sont comparables (Bogdanov, 1999). Toutefois, ces mesures sous-estiment légèrement la teneur réelle en eau, qui peut être déterminée avec plus de précision par la titration de Karl Fischer (Zürcher et Hadorn, 1980 ; Bogdanov, 1999).

5.2. Propriétés chimiques du miel :

5.2.1. Ph et acidité :

Le miel est naturellement acide, avec un pH compris entre 3.5 et 5.5, en raison des acides organiques qui influencent à la fois son arôme et sa stabilité microbologique. L'acide gluconique, principal acide du miel, est présent en équilibre avec son dérivé, le gluconolactone (White *et al.*, 1958).

L'acidité libre, l'acidité totale et le pH permettent de distinguer les miels unifloraux, mais les lactones, très variables, sont peu informatives (Persano *et al.*, 1986 ; Persano et Piro, 2004). La détermination de l'acidité libre par titration manque de reproductibilité en raison de l'hydrolyse des lactones (Bogdanov *et al.*, 1997), tandis que l'acidité totale est légèrement plus fiable (Conte *et al.*, 2002).

5.2.2. Conductivité électrique du miel :

La conductivité électrique (CE), critère analytique utilisé depuis des décennies (**Vorwohl, 1964**), est un indicateur fiable et économique pour évaluer la teneur en minéraux et différencier les miels unifloraux (**Persano et Piro, 2004**).

Adoptée dans les normes internationales du miel pour remplacer la mesure des cendres (**Codex Alimentarius, 2001 ; Commission Européenne, 2002**), la CE permet notamment de distinguer les miels de nectar des miels de miellat, sauf pour le miel de châtaignier (**Bogdanov et al., 1999**). Cette mesure est fortement corrélée à la concentration en minéraux du miel (**Accorti et al., 1987**).

La CE est exprimée en milliSiemens par centimètre (mS/cm) à 20 °C, bien que les références internationales actuelles recommandent une mesure à 25 °C, nécessitant une harmonisation des protocoles analytiques (**Bogdanov et al., 1997**).

5.2.3. Hydroxyméthylfurfural (HMF) :

Le HMF est absent du miel frais, ce qui en fait un indicateur clé de fraîcheur et d'absence de chauffage plutôt qu'un critère de classification botanique. Avant d'analyser des paramètres sensibles comme l'activité enzymatique ou la couleur, il est recommandé de vérifier que la teneur en HMF ne dépasse pas 15 mg/kg.

L'International Honey Commission (IHC) a validé trois méthodes de dosage du HMF (**Bogdanov et al., 1997**), mais seules la méthode HPLC et la méthode de White sont recommandées. La méthode de Winkler, quant à elle, est déconseillée en raison de l'utilisation du p-toluidine, un composé cancérigène. Depuis l'introduction des méthodes de l'IHC, l'analyse par HPLC a été améliorée par un traitement Carrez, permettant de prévenir la dégradation du HMF (**Wunderlin et al., 1998 ; Känzig et al., 2001**).

5.2.4. Diastase et Invertase :

Les enzymes du miel, principalement la diastase et l'invertase, varient selon l'origine florale, le flux de nectar et l'état physiologique des abeilles. (**Persano et al., 1990, 1999 ; Persano et Piro, 2004**).

Leur activité diminue avec le stockage et la chaleur, limitant leur intérêt à l'analyse des miels frais. Le dosage de la diastase suit la méthode classique (**Bogdanov et al., 1997**) ou le

test Phadebas pour les miels pauvres en enzymes (**Persano et Pulcini, 1999**). L'invertase est désormais exprimée en U/kg au lieu de l'échelle de Hadorn (**von der Ohe et al., 1999**), selon les normes de l'IHC.

6. Propriétés microbiologiques du miel :

Le miel, en plus d'être un aliment naturel, peut être considéré comme un véritable agent thérapeutique en raison de ses multiples propriétés biologiques. Celles-ci sont principalement liées à sa composition, qui varie selon l'origine florale, les conditions climatiques et l'environnement de production.

En revanche, pour que le miel puisse être utilisé à des fins thérapeutiques, il doit répondre à des exigences strictes : une faible charge microbienne, une activité antimicrobienne efficace contre les germes pathogènes notamment en milieu hospitalier, ainsi qu'un bon potentiel cicatrisant et une stabilité suffisante dans le temps.

6.1. Activité antimicrobienne :

Le miel possède une activité antimicrobienne in vitro bien documentée, notamment contre les bactéries à Gram positif et certaines souches résistantes aux antibiotiques. Cette action est également observée sur certains virus et parasites. Ses propriétés antibactériennes résultent de plusieurs facteurs, dont l'efficacité varie selon l'origine botanique du miel. On reconnaît quatre mécanismes principaux :

- Une osmolarité élevée.
- Une acidité marquée.
- La production de peroxyde d'hydrogène.
- Composés non peroxydiques (**Abdulrhman et al., 2013**)

6.1.1. Osmolarité :

L'activité antimicrobienne du miel s'explique en partie par son pouvoir osmotique, conséquence directe de sa forte teneur en sucres simples comme le glucose et le fructose, qui représentent environ 84 % des matières solides. Cette concentration crée une solution sursaturée dans laquelle l'eau libre, indispensable à la croissance microbienne, est très limitée. L'activité hydrique (a_w) du miel se situe en moyenne entre 0,56 et 0,62, une valeur bien inférieure à celle requise pour la multiplication de la plupart des bactéries ($a_w \geq 0,94$). Dans

ces conditions, les micro-organismes subissent une déshydratation osmotique, ce qui inhibe leur développement (**Assié, 2004**).

Toutefois, certaines levures osmophiles et bactéries résistantes comme *Staphylococcus aureus* peuvent tolérer des a_w plus faibles, notamment dans les miels à forte humidité. Cependant, des études ont montré que l'effet antibactérien du miel ne se limite pas à son action osmotique. Comparé à des solutions sucrées artificielles, le miel naturel présente une activité inhibitrice nettement supérieure, même à faibles concentrations. Cette efficacité persistante, même après élimination des sucres par dialyse, suggère l'implication d'autres composés antimicrobiens tels que le peroxyde d'hydrogène, les composés phénoliques ou certains peptides. Des agents pathogènes comme *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Penicillium*, *Aspergillus niger* et *A. flavus* ont démontré une sensibilité marquée face au miel naturel, confirmant une action synergique de plusieurs facteurs bioactifs.

En somme, si le pouvoir osmotique joue un rôle important dans la conservation et l'activité antimicrobienne du miel, il agit en synergie avec d'autres mécanismes biochimiques, dont l'impact varie selon l'origine botanique du miel et la sensibilité des micro-organismes (**Assié, 2004 ; Molan, 1992**).

6.1.2. Acidité :

Le miel présente une acidité naturelle avec un pH compris entre 3,2 et 4,5, principalement due à l'acide gluconique formé lors de la maturation du nectar. Bien que cette acidité ait été initialement considérée comme responsable de son activité antibactérienne, plusieurs études ont montré qu'il n'existe pas de corrélation directe entre le pH du miel et son effet inhibiteur.

En effet, des tests réalisés avec des solutions tamponnées de gluconate ou avec du miel neutralisé n'ont pas inhibé la croissance bactérienne, contrairement au miel non modifié. Cependant, l'acidité pourrait jouer un rôle dans certaines situations, notamment dans des applications locales comme les pansements de plaies, où son pH faible pourrait contribuer à inhiber certains agents pathogènes tels que *Corynebacterium diphtheriae* et *Bacillus cereus*, sensibles aux variations de pH (**Molan, 1992**).

6.1.3. Peroxydase :

L'un des principaux mécanismes responsables de l'activité antibactérienne du miel repose sur la production de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), souvent considéré comme l'inhibine majeure du miel. Ce composé est généré par l'action de la gluco-oxydase, une enzyme d'origine animale sécrétée par les glandes hypopharyngiennes des abeilles lors de la transformation du nectar en miel. Cette enzyme catalyse l'oxydation du glucose en présence d'oxygène et d'eau, produisant ainsi de l'acide gluconique et du peroxyde d'hydrogène :



L'acide gluconique contribue à abaisser le pH du miel, créant un environnement défavorable au développement microbien. Le H_2O_2 , quant à lui, agit comme un puissant agent antimicrobien par oxydation des composants cellulaires bactériens.

La libération du H_2O_2 à partir du miel se fait de manière progressive et prolongée, notamment lorsque le miel est dilué, reproduisant les conditions rencontrées sur une plaie exsudative. Cette libération lente permet d'atteindre des concentrations efficaces contre les micro-organismes, tout en évitant la cytotoxicité associée à des doses élevées de peroxyde utilisé sous forme pure.

La catalase, enzyme présente dans certaines bactéries, les fluides corporels ou les exsudats de plaies, peut décomposer le H_2O_2 . Toutefois, son activité n'est efficace qu'à des concentrations élevées ; la libération graduelle de peroxyde par le miel empêche donc une neutralisation rapide, conférant au H_2O_2 d'origine enzymatique un meilleur potentiel antibactérien que lorsqu'il est administré de façon exogène.

L'activité de la gluco-oxydase atteint son pic environ trois heures après dilution du miel, avec une production de peroxyde d'hydrogène maintenue pendant près de 48 heures. Cependant, cette activité est réduite dans les miels mûrs, où les réactions d'oxydation sont limitées. Étant donné que le H_2O_2 est thermolabile et photolabile, il est essentiel de conserver le miel à l'abri de la chaleur et de la lumière afin de préserver son efficacité antibactérienne **(Molan, 1992 ; Assié, 2004)**.

6.1.4. Les composés non-peroxydiques :

Le miel possède des propriétés antibactériennes, en grande partie dues au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), mais des mécanismes antibactériens non peroxyde ont également été identifiés. Ces mécanismes reposent sur des composés bioactifs provenant des plantes butinées et des sécrétions des abeilles, tels que les flavonoïdes (pinocembrine), les lysozymes et des substances comme les terpènes, l'alcool benzénique et l'acide syringique. Ces composés sont plus stables que le peroxyde d'hydrogène, étant moins sensibles à la chaleur, à la lumière et au stockage.

Des études de stabilité thermique ont montré que l'activité antibactérienne persiste même après des traitements thermiques sévères, comme l'autoclavage, qui détruit le peroxyde d'hydrogène. Cela indique la présence de composés antibactériens stables à la chaleur, tels que le méthylglyoxal (MGO), qui est particulièrement présent dans le miel de Manuka.

Le miel possède une activité antibactérienne contre plusieurs pathogènes, notamment *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus* (y compris les souches résistantes aux antibiotiques) et *Escherichia coli*. D'autres bactéries comme *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae* et *Proteus mirabilis* sont également sensibles au miel.

En revanche, des pathogènes tels que *Pseudomonas aeruginosa* montrent une résistance, probablement en raison de leur moindre sensibilité aux composants antibactériens non peroxyde du miel (**Molan, 1992 ; Balas, 2015**).

Ainsi, dans un contexte marqué par l'émergence alarmante de bactéries résistantes aux antibiotiques, le miel apparaît comme une alternative thérapeutique prometteuse. Contrairement aux antibiotiques classiques, son utilisation ne favorise pas l'apparition de résistances bactériennes connues, ce qui renforce son intérêt en tant qu'agent antimicrobien naturel, sûr et durable (**Belhaj *et al.*, 2016**).

Tableau 02 : Facteurs influencent l'activité (Molan, 1992 ; Balas, 2015).

Facteurs	Impact sur l'activité antibactérienne
Concentration en miel	Une concentration plus élevée augmente l'efficacité antibactérienne.
Origine florale	Les plantes butinées par les abeilles déterminent la composition chimique et l'activité.
Acidité et peroxyde d'hydrogène	L'acidité et la quantité de peroxyde d'hydrogène influencent l'activité antibactérienne
Stabilité thermique et durée de consevation	Le miel est stable à des températures inférieures à 40°C ; la chaleur excessive peut réduire l'efficacité. Une conservation prolongée (jusqu'à 2 ans) n'altère pas généralement ses propriétés.
Exposition à la lumière	Une exposition prolongée, notamment à la lumière directe du soleil, peut réduire l'efficacité antibactérienne, mais certains composants non peroxyde, comme les flavonoïdes, sont plus résistants.

6.2. Activité anti-inflammatoire :

6.2.1. Effet antioxydant :

Le miel est riche en composés bioactifs comme les flavonoïdes, les composés phénoliques, la vitamine C et les enzymes. Ces composés ont une forte activité antioxydante en neutralisant les radicaux libres produits par le stress oxydatif et l'inflammation. Cela réduit les dommages tissulaires et limite l'inflammation excessive, ce qui crée un environnement favorable à la cicatrisation.

De plus, la présence de peroxyde d'hydrogène renforce l'activité antioxydante par la séquestration des ions métalliques pro-oxydants tels que le fer et le cuivre, contribuant ainsi à un système antioxydant efficace (Balas, 2015)

6.2.2. Immunomodulation :

Le miel exerce également un effet immunomodulateur, en agissant sur plusieurs cellules du système immunitaire.

Grâce à la présence de composés bioactifs tels que les flavonoïdes et la protéine MRJP1, le miel induit la production de cytokines via la stimulation des monocytes. Ces cytokines, molécules clés dans l'activation du système immunitaire, favorisent directement l'activation des lymphocytes B et T.

Parallèlement, le miel augmente la production de monoxyde d'azote (NO), qui joue un rôle important dans la réponse humorale en stimulant la production d'anticorps. Toutefois, cette activité liée au NO est réduite par la chaleur et le stockage prolongé, ce qui diminue la teneur en ses métabolites actifs. La concentration de ces métabolites varie selon l'origine florale et géographique du miel, ce qui pourrait en faire un marqueur potentiel de qualité et d'activité biologique.

Par ailleurs, le miel inhibe les prostaglandines, connues pour leurs effets immunosuppresseurs sur les fonctions des lymphocytes B et T. Cette inhibition contribuerait à l'effet immunostimulant du miel. Des études ont montré que le miel naturel réduit les concentrations plasmatiques de prostaglandines, avec un effet inhibiteur qui s'intensifie au fil du temps.

À l'inverse, les préparations artificielles à base de glucose et de fructose ont tendance à augmenter les taux de prostaglandines, ce qui suggère que le miel naturel contient des composés actifs spécifiques capables d'en inhiber la production (**Al-Waili *et al.*, 2011**).

Expérimentalement :

- **Application topique :**

Sur le plan expérimental, l'application topique de miel a permis de réduire significativement l'inflammation locale, en diminuant l'œdème, les exsudats et la douleur, indépendamment de son action antibactérienne. Des études histologiques chez l'animal ont confirmé une diminution des infiltrats leucocytaires dans les tissus inflammés, suggérant un effet anti-inflammatoire direct.

- **Administration orale :**

Par ailleurs, l'administration orale de miel a montré une efficacité dans des modèles animaux de maladies inflammatoires chroniques (notamment intestinales), par modulation des médiateurs de l'inflammation, en particulier les radicaux libres.

Ces observations soulignent le rôle thérapeutique important du miel dans la régulation des réponses inflammatoires. En limitant l'intensité et la durée de l'inflammation, le miel favorise un environnement propice à la guérison tissulaire (**Balas, 2015**).

6.3. Prébiotique et probiotique :

Bien que le miel soit majoritairement constitué de sucres simples (glucose et fructose) rapidement absorbés dans l'intestin grêle, il contient également une fraction d'oligosaccharides et de composés non digestibles capables d'atteindre le côlon. Ces composés présentent un potentiel prébiotique, favorisant la croissance de bactéries intestinales bénéfiques, telles que *Bifidobacterium* spp et *Lactobacillus* spp. Cette stimulation contribue à inhiber la prolifération de microorganismes pathogènes, notamment *Clostridium perfringens* et *Eubacterium aerofaciens* (**Al-Waili et al., 2011 ; Schell et al., 2022**).

La composition en oligosaccharides du miel varie selon son origine florale, ce qui influence directement ses propriétés prébiotiques. Par exemple, certains miels néo-zélandais sont riches en isomaltose et mélezitose, tandis que de la raffinose a été identifié dans des miels italiens (**Schell et al., 2022**).

Des études in vitro ont démontré que des oligosaccharides extraits de miel de miellat entraînaient une augmentation des populations de bifidobactéries et lactobacilles, tout en réduisant celles de bactéries potentiellement nuisibles comme *Bacteroides* et *Clostridia*. Ces effets sont mesurés à l'aide de l'indice prébiotique, qui évalue le rapport entre bactéries bénéfiques et pathogènes. Notamment, cet indice pour les oligosaccharides dérivés du miel est comparable à celui observé avec des prébiotiques commerciaux tels que les fructo-oligosaccharides FOS (**Schell et al., 2022**).

Un critère fondamental d'efficacité des prébiotiques repose ainsi sur leur capacité à promouvoir la croissance sélective des microorganismes bénéfiques, tout en restreignant celle des espèces pathogènes, renforçant ainsi l'intérêt pour le miel en tant que source naturelle de prébiotiques (**Mohan et al., 2017**).

6.4. Micro-organismes :

Le miel contient une diversité de micro-organismes, comprenant principalement des bactéries, des levures et des moisissures. Toutefois, en raison de ses propriétés antibactériennes naturelles, la majorité de ces micro-organismes ne peuvent ni se développer

ni se multiplier dans ce milieu ; ils y demeurent généralement à l'état dormant (**Snowdon et Cliver, 1996**).

Le microbiote du miel est particulièrement varié, résultant principalement de sources naturelles telles que le pollen, les fleurs, le sol, l'air, la poussière ainsi que le tube digestif des abeilles. Par ailleurs, des contaminations microbiennes secondaires peuvent également survenir au cours des étapes de transformation et de manipulation humaine du produit (**Snowdon et Cliver, 1996**).

7. Qualité du miel et normes internationales relatives au miel :

Selon le Codex Alimentarius, le miel commercialisé tel quel ne doit contenir aucun ingrédient ajouté ni aucune substance étrangère, à l'exception du miel lui-même. Il doit être exempt de matières étrangères visibles, ainsi que de toute odeur, arôme ou saveur anormale résultant d'une contamination durant le traitement ou le stockage. En outre, le miel ne doit présenter aucun signe de fermentation ou d'effervescence, indicateurs d'une altération microbiologique. Enfin, aucun constituant naturel du miel, y compris le pollen, ne peut être retiré, sauf lorsque cela s'avère indispensable pour éliminer des impuretés organiques ou inorganiques. (**Codex Alimentarius Commission, 2001**).

Tableau 03 : Critères de composition du miel selon le Codex Alimentarius (**Codex Alimentarius Commission, 2001**)

Paramètre	Type de miel	Limite fixée
Teneur en eau	Tous les miels sauf exceptions	≤ 20 %
Teneur en eau	Miel de bruyère (Calluna)	≤ 23 %
Fructose + Glucose	Miels floraux standards	≥ 60 g/100 g
Fructose + Glucose	Miel de miellat / Mélanges miellat-fleurs	≥ 45 g/100 g
Saccharose	Miel standard	≤ 5 g/100 g
Saccharose	Robinier, agrumes, luzerne, eucalyptus, etc.	≤ 10 g/100 g
Saccharose	Lavande (Lavandula spp.), bourrache (Borago officinalis)	≤ 15 g/100 g
Solides insolubles dans l'eau	Miels autres que les miels pressés	≤ 0,1 g/100 g
Solides insolubles dans l'eau	Miels obtenus par pressage	≤ 0,5 g/100 g
Traitements interdits	Chauffage altérant la composition / traitements chimiques contre la cristallisation	Interdits
Éléments ajoutés	Ajout d'ingrédients ou retrait de constituants naturels (pollen...) sauf pour épuration technique	Interdits

Tableau 04 : Comparaison des normes nationales du miel dans différents pays.
(Thrasyvoulou *et al.*, 2018)

Pays	Critères principaux
Argentine	Humidité < 18 % HMF < 40 mg/kg Sucres réducteurs > 65 % Sucres apparents < 6 % Dextrines < 13 %
Brésil	Sucres réducteurs > 65 % HMF < 60 mg/kg Minéraux < 0,6 % Insolubles < 0,1 % (non pressé)
Canada	Sucres réducteurs ≥ 63 % HMF < 40 mg/kg Humidité < 21 % Sucres apparents < 5 %
Chine	Humidité < 20 % HMF < 40 mg/kg Diastase ≥ 8 DN Conductivité < 800 μS/cm
Colombie	Humidité < 18 % HMF < 40 mg/kg Sucres totaux ≥ 65 %
République Tchèque	HMF < 20 mg/kg Humidité < 18 % Sucres apparents < 10 %
Ethiopie	Diastase > 3 DN HMF < 40 mg/kg sucres apparents < 10 %
Inde	HMF < 80 mg/kg ; Humidité < 20 % ; Sucres réducteurs ≥ 65 % ; Sucres apparents < 5 %
Allemagne	Conductivité ≤ 0,8 mS/cm ; Diastase ≥ 8 DN ; HMF ≤ 40 mg/kg ; Taux acide exprimé en acides formiques < 50 meq/kg
Grèce	Humidité < 18 % ; HMF ≤ 40 mg/kg ; Conductivité ≤ 0,8 mS/cm
Japon	Sucres réducteurs ≥ 60 % ; Saccharose ≤ 5 % ; HMF ≤ 75 mg/kg ; Humidité < 20 %

Chapitre 2

Matériels et Méthodes

Chapitre 2 : matériels et méthodes

1. Problématique :

Le miel est un produit naturel aux nombreuses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques. Toutefois, la qualité du miel influence directement l'expression de ses effets biologiques. En effet, ses caractéristiques physico-chimiques reflètent des paramètres essentiels tels que la fraîcheur, la pureté, ou encore l'absence d'altération. Il est donc indispensable de caractériser ces paramètres afin de garantir une meilleure valorisation et exploitation du produit, notamment dans un contexte alimentaire ou thérapeutique.

2. Objectif :

L'objectif principal de cette partie expérimentale est d'évaluer certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques de plusieurs échantillons de miel, en se basant sur des méthodes d'analyse reconnues par le Codex Alimentarius.

L'étude a été réalisée en laboratoire **SARL Al Rayhane** sur un total de dix échantillons provenant de différentes régions du centre de l'Algérie (Blida, Médéa, Aïn Defla, Bouira, ...). Elle vise à vérifier la conformité des miels analysés aux normes internationales en matière de qualité et de sécurité, telles que définies par le Codex Alimentarius.

3. Matériel :

3.1. Matériel non biologique :

L'ensemble d'appareillage et verreries et présentés dans le tableau 01 en (annexe 01).

3.2. Matériel biologique :

Les miels ont été classés selon leur origine florale ainsi que leur provenance géographique.

Dans le cadre de cette étude, dix échantillons de miel ont été collectés au cours de l'année 2024_2025 dans différentes régions mellifères du centre de l'Algérie, notamment Blida, Médéa, Aïn Defla, etc. Chaque échantillon a été codifié en tenant compte des éléments suivants :

- **L'origine géographique.**
- **L'origine florale présumée.**

- **La date de récolte.**

Les dix échantillons de miels sont présentés dans un tableau en (annexe 02)

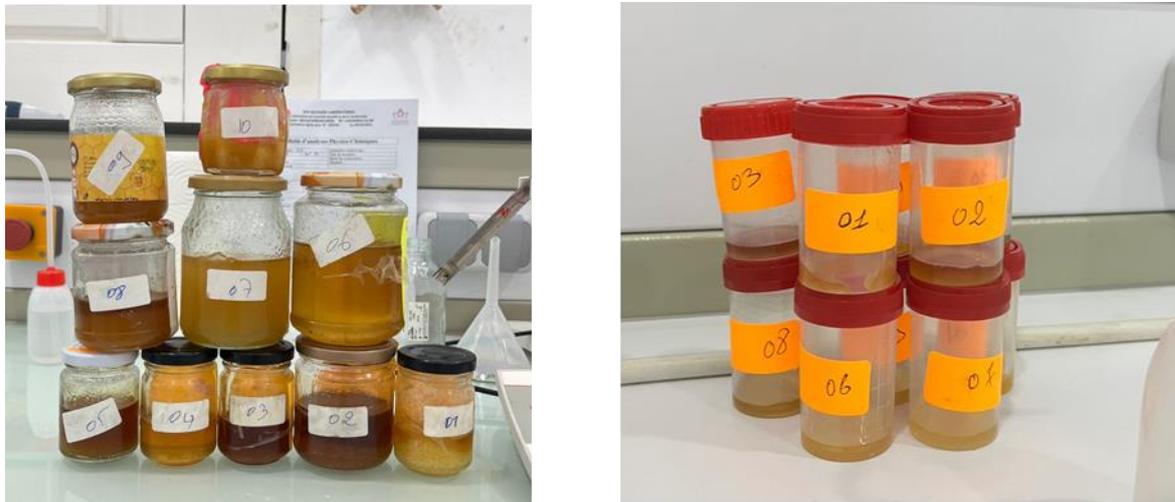


Figure 04 : les échantillons du miel (photo personnelle, 2025)

4. Méthodes d'analyses :

La procédure expérimentale adaptée pour notre étude est résumée dans la figure suivante

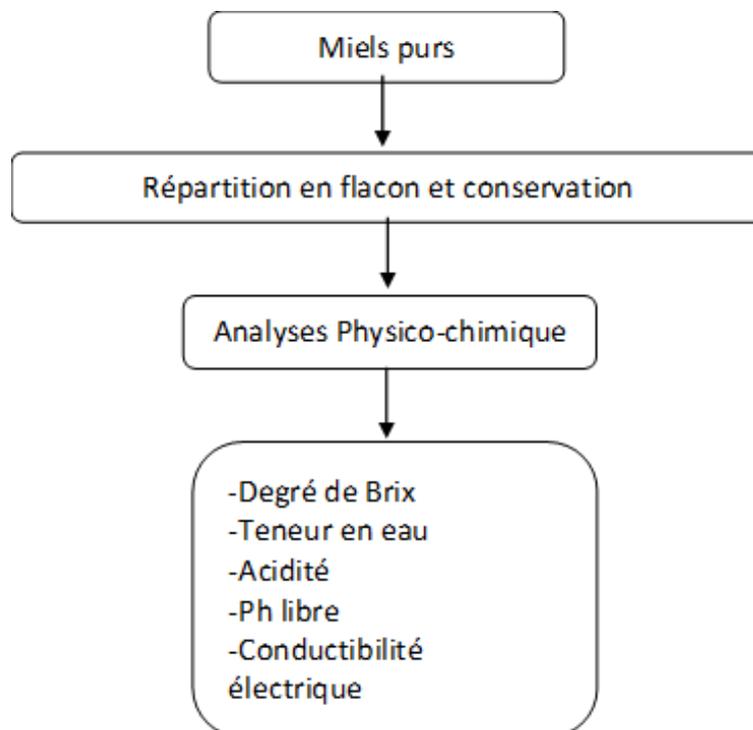


Figure 05 : schéma de protocole expérimentale

4.1. Analyses physico-chimiques :

Cinq paramètres physico-chimiques sont déterminés :

4.1.1. Mesure du degré Brix et détermination de la teneur en eau :

Principe :

Le degré de Brix et la teneur en eau des échantillons de miel sont obtenus par un réfractomètre portable ATC, la mesure des degrés Brix constitue une méthode couramment utilisée dans le secteur agroalimentaire pour évaluer la concentration en matières sèches solubles des produits sucrés tels que le miel et ainsi déduire la teneur en eau.

Le degré Brix (°Brix) correspond à la masse de solutés, principalement des sucres, contenue dans 100 grammes de solution. (**Pudlowski et Rougement 2002**). Cela est exprimé en pourcentage.

La teneur en eau peut ensuite être estimée indirectement par soustraction à partir du degré Brix mesuré, selon la formule :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = 100 - \text{°Brix}$$

Cette méthode simple et rapide est couramment employée dans les analyses de routine du miel, bien qu'elle repose sur l'hypothèse que la quasi-totalité de la matière sèche est composée de sucres.

Protocole :

Une goutte de miel liquide est déposée sur la platine du prisme d'un réfractomètre préalablement étalonné avec de l'eau distillée.

Si le miel est cristallisé, il doit d'abord être placé dans un flacon hermétiquement fermé, puis chauffé dans une étuve à 40 °C ou dans un bain-marie à 50 °C jusqu'à dissolution complète des cristaux. L'échantillon est ensuite laissé à refroidir à température ambiante avant d'être analysé.

La lecture du degré Brix se fait à travers l'oculaire, au niveau de la ligne horizontale qui sépare une zone claire d'une zone sombre.



Figure 06 : refractomètre (photo personnelle, 2025)

4.1.2. La mesure du Ph :

Principe :

La mesure du pH permet d'apprécier l'acidité active du miel, c'est-à-dire celle liée aux ions H^+ présents en solution, à la différence de l'acidité libre (ou titrable) qui tient compte de l'ensemble des acides organiques présents.

Le pH est déterminé selon la méthode du **Codex Alimentarius, (2001)** sur une solution de miel à 7,5%.

Protocole :

Une quantité de 10 g de miel est dissoute dans 75 ml d'eau distillée. La solution est homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique afin d'assurer une dissolution complète. L'électrode du pH-mètre, préalablement étalonnée avec des solutions tampons standards, est ensuite immergée dans la solution. La mesure est effectuée à température ambiante, et chaque échantillon est analysé en double pour garantir la fiabilité des résultats. La valeur du pH est lue directement à l'écran de l'appareil après stabilisation.



Figure 07 : pH-mètre (photo personnelle, 2025)

4.1.3. L'acidité libre :

Principe :

L'acidité libre des échantillons de miel est déterminée à l'aide d'un pH-mètre, conformément à la méthode décrite par **Bogdanov (2009)**.

Protocole :

Dix grammes de miel sont dissous dans 75 mL d'eau distillée. Après homogénéisation à l'aide d'un agitateur magnétique, l'électrode du pH-mètre est immergée dans la solution pour mesurer le pH initial. La solution est ensuite titrée avec une solution de soude (NaOH 0,1 N) jusqu'à atteindre un pH final de 8,30 considéré comme le point d'équivalence pour ce type d'analyse. Les volumes de NaOH sont notés. Les mesures sont réalisées en double, et l'acidité libre est exprimée en milléquivalents par kilogramme de miel (meq/kg).

Le calcul est effectué selon la formule suivante :

$$\text{Acidité libre (milliéquivalents / Kg de miel)} = 10 \times V$$

Où :

- V : volume en mL de NaOH 0,1 N utilisé pour atteindre le point d'équivalence,

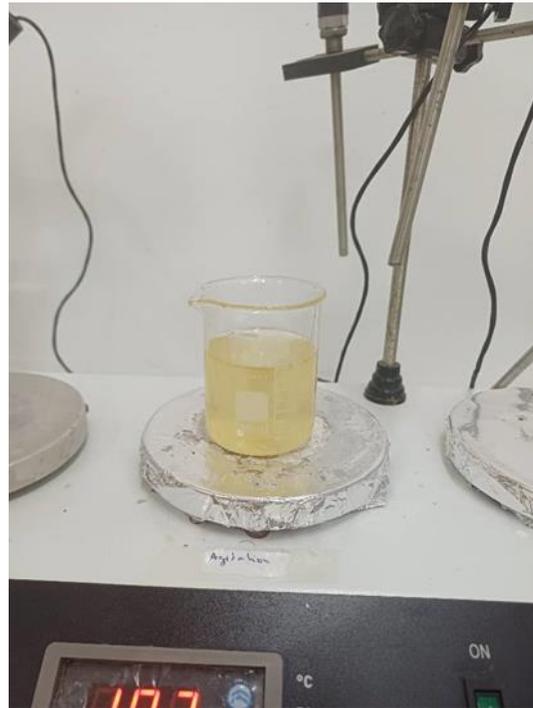


Figure 08 : Homogénéisation du miel (photo personnelle , 2025)

4.1.4. La conductivité électrique :

Principe :

Selon **Louveaux (1985)**, la conductivité électrique du miel se mesure à 20 °C dans une solution aqueuse à l'aide d'un conductimètre portable.

Cette mesure fournit des informations utiles sur l'origine botanique du miel et permet de distinguer les miels de miellat des miels floraux (**Bruneau, 2005**).

Protocole :

Dans un petit bécher, 10 g de miel sont dissous dans 75 ml d'eau distillée. La solution est ensuite homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique, puis l'électrode du conductimètre est plongée dans le mélange. La mesure de la conductivité est répétée trois fois afin d'assurer la fiabilité des résultats.



Figure 09 : conductimètre (photo personnelle, 2025)

Chapitre 3

Résultats et discussion

Chapitre 3 : Résultats et discussion

1. Résultat et discussion d’analyses physico-chimiques :

1.1. Degré de Brix :

Les valeurs de Brix des 10 échantillons sont présentés dans le tableau 01 en (annexe 03).

Puis en graphe dans la figure ci-dessous :

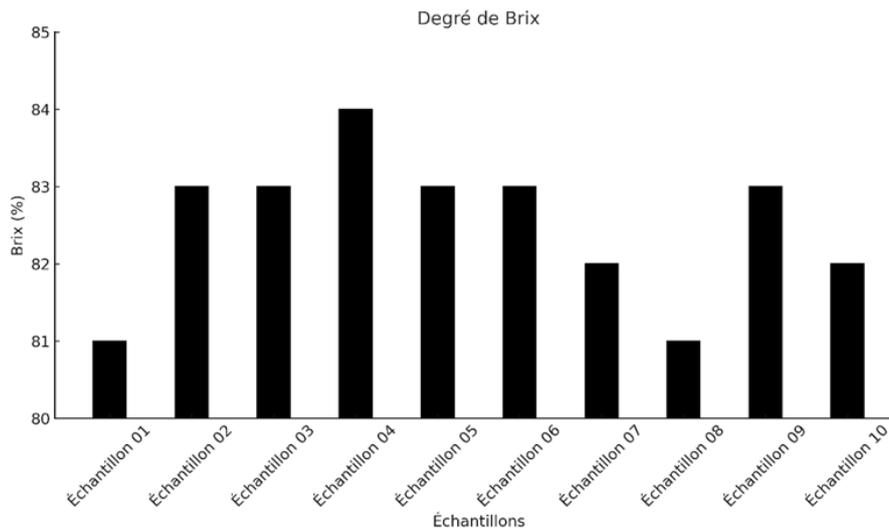


Figure 10 : Représentation graphique des valeurs de Brix

Le degré Brix, directement lié à la teneur en sucres du miel, constitue un indicateur clé permettant de détecter d’éventuelles falsifications (**Habib et al., 2014**).

Les valeurs obtenues pour les dix échantillons analysés varient de 81,0 % à 84,0 %, avec une moyenne de 82,3 %. Ces valeurs indiquent une teneur élevée en matières sèches, caractéristiques de miels bien mûrs et non altérés. Elles se situent bien au-dessus du seuil de 65 % recommandé par le **Codex Alimentarius (2001)** pour garantir l’authenticité du produit.

Selon **Bogdanov et al., (2001)**, un degré de Brix supérieur à 60 % est typique des miels d’origine nectarifère.

Hors l’origine botanique, ces variations peuvent être aussi attribuées aux facteurs environnementaux tels que le climat, l’écosystème local ou encore les conditions de stockage (**Ouchemoukh et al., 2012**).

1.2. La teneur en eau :

Les valeurs de teneur en eau sont obtenues par un simple calcul :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = 100 - \text{°Brix}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau 02 en (annexe 03).

Puis dans la figure en dessous :

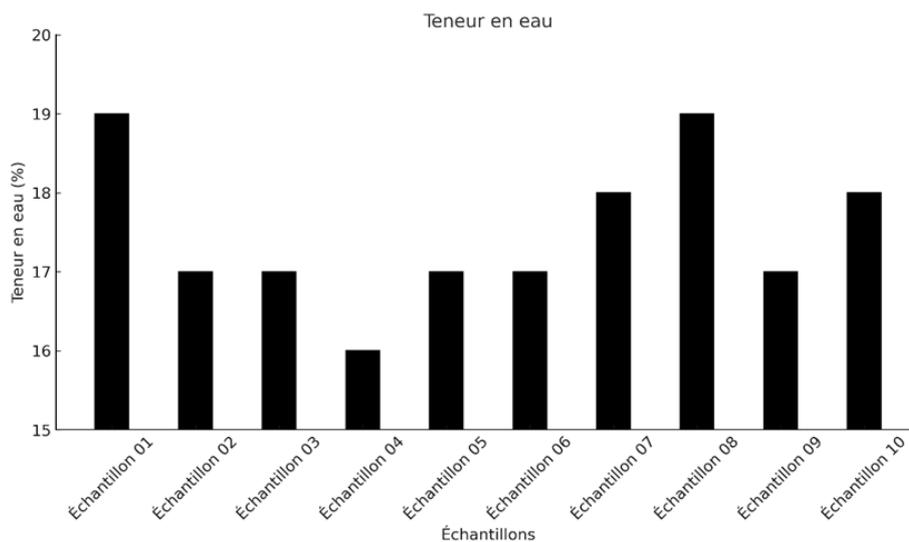


Figure 11 : Représentation graphique des valeurs de teneur en eau

La teneur en eau constitue un paramètre clé dans l'évaluation de la maturité du miel. Elle informe sur sa stabilité biochimique, en particulier vis-à-vis du risque de fermentation et de cristallisation pouvant survenir au cours du stockage (**Kuku et al., 2007**).

Dans cette étude, les teneurs en eau des échantillons analysés varient entre 16,0 % et 19,0 %, avec une moyenne de 17,7 %. Ces valeurs sont toutes inférieures au seuil maximal de 20 % fixé par le **Codex Alimentarius (2001)** pour les miels standards. Cela indique que les échantillons de miel analysés résultent d'un bon stockage, d'une bonne maturation et d'un très faible risque de fermentation.

Les teneurs relativement faibles en eau (16 %) indiquent un miel très mature, probablement récolté après une operculation complète et/ou conservé dans un

environnement sec, ce qui permet au miel de mieux résister à la fermentation, même en présence de levures.

Cela contribue à préserver sa qualité et à prolonger sa durée de conservation, une observation déjà confirmée par (Gonnet ,1982).

Les teneurs relativement élevées, par contre (19 %), restent toujours dans la norme, mais le risque de fermentation existe, surtout si la température ambiante est élevée. Ces valeurs peuvent s’expliquer par une récolte précoce des miels (Prost, 1972).

Ainsi, une humidité de l’air élevée au moment de la récolte cause des difficultés aux abeilles à déshydrater le nectar. Cela peut conduire à la production d’un miel plus riche en eau, moins stable sur le plan physique et biologique, et donc plus exposé aux risques de dégradation (Gonnet, 1993).

Ces variations, selon Lequet (2010), dépendent du climat, de la saison et du taux d’humidité des plantes butinées par les abeilles.

1.3. Mesure de Ph :

Les valeurs de Ph mesuré sont mentionnées dans le tableau 03 en (annexe 03).

Puis dans la figure ci-dessous :

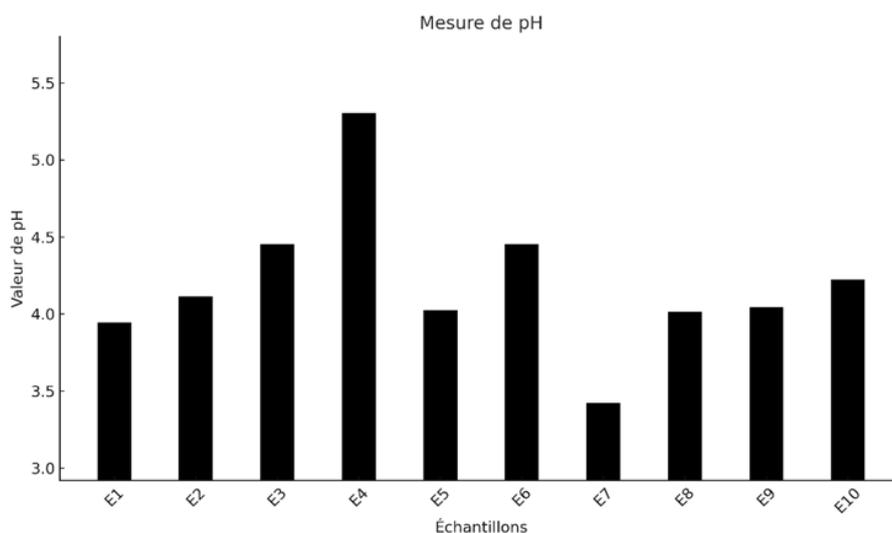


Figure 12 : Représentation graphique des valeurs de Ph

La détermination du pH d'un miel constitue un bon indicateur de son origine et donne des informations précieuses sur sa capacité à résister à la dégradation lors du stockage (Jeanne, 2005).

Dans cette étude, les valeurs moyennes de pH des dix échantillons de miel analysés varient entre 3,42 (échantillon E7) et 5,30 (échantillon E4), avec une moyenne générale avoisinant 4,30. Ces résultats sont conformes à la littérature. Selon Cavia et al., (2007), tous les miels sont acides, avec des valeurs de pH généralement comprises entre 3,2 et 5,5.

Les échantillons présentant les valeurs les plus faibles (notamment E7 : 3,42) tendent à se décomposer plus rapidement au cours du stockage, vu que le pH influence fortement la vitesse de dégradation des sucres et des enzymes (Singh et al., 1997). À l'inverse, l'échantillon E4, avec un pH moyen de 5,30, se conservera mieux et plus longtemps.

Les variations du pH observées peuvent s'expliquer par la nature de la flore butinée, les sécrétions salivaires des abeilles, ainsi que par les processus enzymatiques et fermentaires intervenant durant la transformation de la matière première (Doukani et al., 2014).

1.4. Acidité libre :

Les valeurs de l'acidité libres sont mentionnées dans le tableau 04 en (annexe 03).

Puis dans la figure suivante :

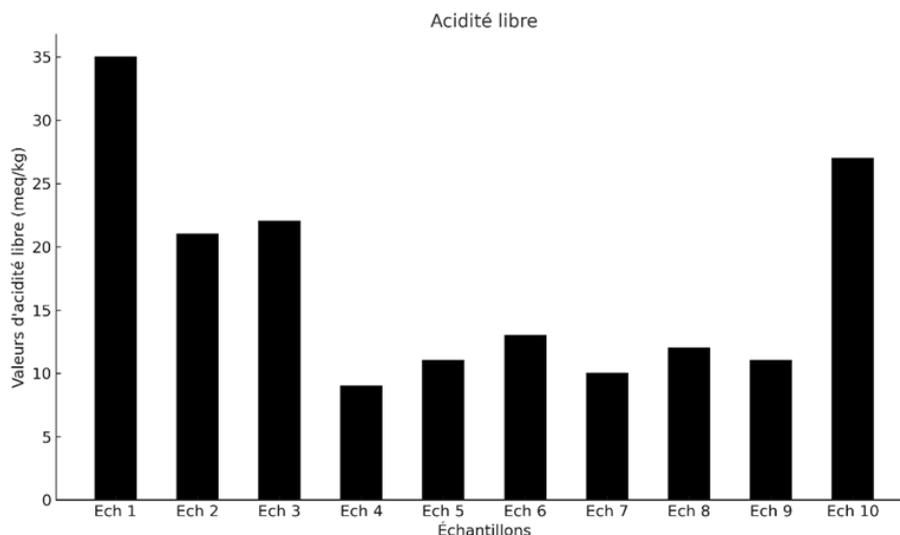


Figure 13 : représentation graphique des valeurs d'acidité libre

L'acidité libre constitue un paramètre déterminant dans l'évaluation de la qualité du miel, car elle influence la stabilité physico-chimique du produit ainsi que sa texture. Cette acidité résulte principalement de la présence d'acides organiques, dont certains sont présents à l'état libre et d'autres sous forme liée. Le glucose contenu dans le nectar est oxydé en acide gluconique, qui représente l'acide organique majeur du miel. Sa formation s'accompagne d'un dégagement d'eau oxygénée (H₂O₂), ce qui confère au miel une certaine activité antimicrobienne (**Gomes *et al.*, 2010 ; Bogdanov *et al.*, 2004 ; Louveaux, 1968**).

L'examen des résultats montre que l'acidité mesurée varie entre 9 et 35 meq/kg, ce qui indique un bon état de fraîcheur et l'absence de fermentation, puisque toutes les valeurs se situent dans la plage autorisée par le **Codex Alimentarius (2001)**, à savoir inférieure à 50 meq/kg.

L'échantillon E1 présente l'acidité la plus élevée (35 meq/kg), mais reste conforme à la norme. Cette valeur relativement haute suggère une richesse plus importante en acides organiques comparée aux autres échantillons.

La variation de l'acidité entre les différents miels peut être attribuée à l'origine florale, mais également à des facteurs environnementaux tels que la saison de récolte (**Pérez-Arquillue *et al.*, 1995**).

1.5. Conductivité électrique :

Les valeurs obtenues sont mentionnées dans le tableau 05 en (annexe 03).

Puis dans la figure qui suit :

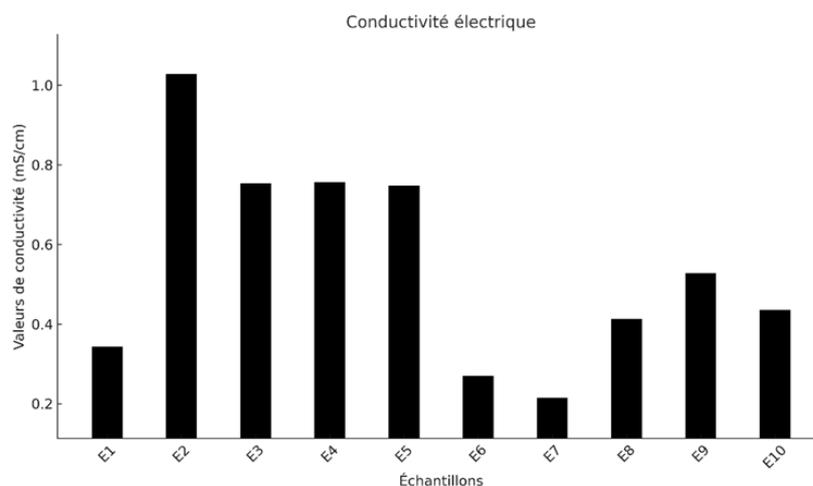


Figure 14 : Représentation graphique des valeurs de conductivité électrique

La conductivité électrique est un paramètre clé pour caractériser les propriétés physiques du miel. Elle représente également un outil précieux pour l'authentification des miels monofloraux (**Mateo et al., 1998**), et permet de différencier les miels issus du nectar de ceux provenant du miellat (**Karabagias et al., 2014**).

Les valeurs moyennes de conductivité électrique mesurées sur les 10 échantillons de miel varient entre 0,213 mS/cm (E7) et 1,027 mS/cm (E2), avec une moyenne de 0,548 mS/cm. Ces résultats sont globalement inférieurs au seuil de 0,8 mS/cm fixé par le **Codex Alimentarius (2001)** pour distinguer les miels floraux des miels de miellat.

Les miels de nectar présentent des valeurs de conductivité inférieures à 0,8 mS/cm, alors que les valeurs supérieures sont généralement associées aux miels de miellat. Enfin, les valeurs intermédiaires correspondent à des miels issus de mélanges des deux origines (**Doukani et al., 2014**).

Étant donné que les miels étudiés ont présenté des valeurs au-dessous de ce seuil, il est possible de conclure qu'ils sont majoritairement issus du nectar, à l'exception de l'échantillon E2, dont la valeur dépasse nettement ce seuil, suggérant une origine probable de miellat ou un mélange riche en composés minéraux.

Conclusion
recommendations

Conclusion

Le miel est un produit naturel complexe, dont la richesse en goûts, en couleurs et en propriétés varie considérablement selon de nombreux facteurs. Cette diversité rend difficile, pour le consommateur, l'évaluation de sa qualité par simple observation visuelle. Il est donc indispensable de recourir à des méthodes d'analyse sûres et fiables, notamment des examens physico-chimiques, permettant de caractériser les miels et de déterminer leurs critères de qualité.

Dans ce cadre, notre travail a permis d'explorer les différentes caractéristiques physico-chimiques du miel à travers l'analyse de plusieurs paramètres clés : le degré de Brix, la teneur en eau, le pH, l'acidité libre et la conductivité électrique. Ces paramètres, essentiels pour évaluer la qualité du miel, ont été étudiés sur des échantillons locaux analysés dans un laboratoire privé à Blida.

Les résultats obtenus ont montré que la majorité des échantillons respectaient les normes internationales fixées par le Codex Alimentarius, ce qui témoigne de la bonne qualité et de la stabilité des miels locaux. Les variations observées entre les échantillons ont mis en évidence l'influence de facteurs tels que l'origine florale, les conditions de récolte et les pratiques de conservation.

Recommandations

Pour approfondir l'évaluation de la qualité globale du miel, nous recommandons de compléter cette étude par :

- L'analyse des sucres (glucose, fructose, saccharose) et le calcul du rapport glucose/fructose, afin d'évaluer la fraîcheur et l'origine florale du miel ;
- La détermination du taux d'HMF (hydroxyméthylfurfural), en tant qu'indicateur essentiel de fraîcheur et de traitement thermique ;
- Des analyses microbiologiques, pour détecter la présence éventuelle de levures, moisissures ou bactéries pathogènes, et ainsi apprécier la qualité sanitaire du produit, notamment dans le cadre de la consommation humaine.

Les résultats obtenus soulignent également la nécessité de promouvoir la production de miels de qualité, à travers :

- Le développement technologique dans la filière apicole,
- Le respect des bonnes pratiques d'hygiène lors de la récolte et de la transformation,
- Et la mise en place de systèmes de contrôle rigoureux, afin de garantir un produit sain, stable et conforme aux exigences du marché.

References
bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdulrhman, M. M., El-Hefnawy, M. H., Aly, R. H., Shatla, R. H., Mamdouh, R. M., Mahmoud, D. M., & Mohamed, W. S.** (2013). Metabolic effects of honey in type 1 diabetes mellitus: a randomized crossover pilot study. *Journal of Medicinal Food*, 16(1), 66–72.
- Accorti, M., Piazza, M. G., & Persano Oddo, L.** (1987). La conductivité électrique et le contenu en cendre du miel. *Apiacta*, 22, 19–20.
- Al-Khalifa, A. S., & Al-Arif, I. A.** (1999). Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Saudi honeys. *Food Chemistry*, 67, 21–25.
- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J.** (2011). Honey and microbial infections: a review supporting the use of honey for microbial control. *Journal of Medicinal Food*, 14(10), 1079–1096.
- Apiculture.net. (s.d.).** La composition du miel. <https://www.apiculture.net>
- Assié, B., & Descottes, B. (dir.).** (2004). Le miel comme agent cicatrisant. Thèse d'exercice : Médecine. Toulouse : Université Toulouse III. 115 p.
- Aubert, S., & Gonnet, M.** (1983). Mesure de la couleur des miels. *Apidologie*, 14, 105–118.
- Balas, F. (2015).** Les propriétés thérapeutiques du miel et leurs domaines d'application en médecine générale : revue de la littérature. Thèse de doctorat en médecine, Université de Nice Sophia-Antipolis.
- Ballot-Flurin. (s.d.).** L'Apiculture DOUCE®.
- Belhaj, O., El Abbadi, I., & Ouchbani, T.** (2016). Contribution à l'étude de l'activité antibactérienne du miel naturel d'origine marocaine. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4(3).
- Bogdanov, S., Martin, P., & Lüllmann, C.** (1997). Harmonised methods of the European Honey Commission. *Apidologie*, extra issue, 1–59. [En ligne] : http://www.apis.admin.ch/host/doc/pdfhoney/IHCmethods_e.pdf (consulté le 16 août 2004).
- Bogdanov, S. (1999).** Water content: comparison of refractometric methods with the Karl Fischer Method. Annual Meeting of the International Honey Commission, Dijon. [En ligne] : <http://www.apis.admin.ch/host/honey/minutes.htm> (consulté le 16 août 2004).
- Bogdanov, S., & 21 other members of the International Honey Commission.** (1999). Honey quality, methods of analysis and international regulatory standards: review of the work of the International Honey Commission. *Mitt. Lebensm. Hyg.*, 90, 108–125.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & Persano Oddo, L.** (2004). Physicochemical methods for the characterization of unifloral honeys: a review. *Apidologie*, 35(S1), S4–S17.

- Bogdanov, S., Tomislav, J., Sieber, R., & Gallmann, P.** (2009). Honey for nutrition and health. *American Journal of Clinical Nutrition*, 27, 677–689.
- Bogdanov, S.** (2017). Honey Composition and Properties. *Bee Product Science*.
- Bruneau, E.** (2002). Les produits de la ruche. In *Le traité rustica de l'apiculture*, Paris : Rustica, pp. 354–384.
- Bruneau, E.** (2005). Voyage au cœur du miel. *Revue Actuapi*, n°31, ED. CARI, Louvain-la-Neuve, pp. 05–07.
- Cappaert, D. (n.d.)**. Apis mellifera (honey bee) [Photograph]. Bugwood.org.
- Canini, A., De Santis, L., Leonardi, D., Di Giustino, P., Abbale, F., Damesse, E., & Cozzani, R.** (2005). Qualificazione dei miele e piante nettariifere del Camerun Occidentale. *La Rivista di Scienza dell'Alimentazione*, 34, 4.
- Cavia, M. M., Fernandez-Muino, M. A., Alonso-Torre, S. R., Huidobro, J. F., & Sancho, M. T.** (2007). Evolution of acidity of honeys from continental climates: Influence of induced granulation. *Journal of Food Chemistry*, 100, 1728–1733.
- Codex Alimentarius Commission.** (2001). Codex standard for honey (CXS 12-1981, Rev. 1-2001). Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization.
- Conte, L., Persano Oddo, L., Cozzoli, O., & Piana, M. L.** (2002). Armonizzazione e validazione delle metodologie analitiche concernenti il miele. In Sabatini, A. G., Bolchi Serrini, G., Frilli, F., & Porrini, C. (Eds.), *Il ruolo della ricerca in apicoltura* (pp. 263–268). Bologna : Litosei.
- Deschamps, V. C.** (1998). Production et commercialisation du miel. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse, 118 p.
- Donnadieu, Y.** (1982). Les miels et leurs caractéristiques botaniques. *Revue Française d'Apiculture*, 37(2), 112–118.
- Doukani, K., Tabak, S., Derriche, A., & Hacini, Z.** (2014). Étude physicochimique et phytochimique de quelques types de miels algériens. *Eco-Environnement*, 10, 1112–5888.
- Emmanuelle, H., Julie, C., & Laurent, G.** (1996). Les constituants chimiques du miel. École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. APISERVICES, Galerie virtuelle apicole.
- FAO.** (2001). Norme Codex pour le miel CXS 12-1981. Codex Alimentarius. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) & Organisation mondiale de la santé (OMS).
- FAO.** (2009). Codex Alimentarius – Norme pour le miel CXS 12-1981. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

- Fell, R. D.** (1978). The color grading of honey. *American Bee Journal*, 18, 782–789.
- Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., & Estevinho, L.** (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 544–548.
- Gonnet, M.** (1982). Le miel : composition, propriétés, conservation. Station expérimentale d'apiculture, INRA, 18 p.
- Gonnet, M., & Vache, G.** (1987). Le miel. Aujourd'hui l'apithérapie, supplément n°465, pp. 20–21.
- Gonnet, M.** (1993). Le miel : composition, propriétés, conservation (2^e éd.). INRA, Station expérimentale d'apiculture.
- Habib, H. M., Al Meqbali, F. T., Kamal, H., Souka, U., & Ibrahim, W. H.** (2014). Physicochemical and biochemical properties of honey from arid regions. *Food Chemistry*, 153, 35–43.
- INAO.** (2010). Cahier des charges IGP – Miel des Cévennes. Institut National de l'Origine et de la Qualité.
- ITSAP.** (s.d.). Nourrissements sucrés : quel impact sur la santé des abeilles ? Disponible sur ITSAP.
- Jean-Prost, P.** (2005). Apiculture : Connaître l'abeille, conduire le rucher (7^e éd.). Tec & Doc Lavoisier, 698 p.
- Karabagias, I. K., Badeka, A., Kontakos, S., Karabournioti, S., & Kontominas, M. G.** (2014). Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. *Journal of Food Chemistry*, 146, 548–557.
- Lequet, A.** (2010). Du nectar à un miel de qualité : Contrôle analytique du miel et conseils pratiques à l'intention de l'apiculteur amateur [Thèse de doctorat vétérinaire, École nationale vétérinaire de Lyon]. Les abeilles et leur élevage (Nouvelle encyclopédie des connaissances agricoles), 194 p.
- Louveaux, J.** (1968). Les pollens des miels. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, 187 p.
- Louveaux, J.** (1968). Composition, propriétés et technologie du miel. In R. Chauvin (Éd.), *Traité de biologie de l'abeille* (Tome 3, pp. 277–324). Paris : Masson et Cie.
- Louveaux, J.** (1968). Composition, propriété et technologie du miel. In *Les produits de la ruche, Traité de biologie de l'abeille*, Tome 03. Paris : Éditions Masson et Cie, 389 p.

- Mateo, R., & Bosch-Reig, F.** (1998). Classification of Spanish unifloral honeys by discriminant analysis of electrical conductivity, color, water content, sugars, and pH. *Journal of Food Chemistry*, 46, 393.
- Meda, A., Lamien, C. E., Marco, R., et al.** (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571–577.
- Molan, P. C.** (1992). The antibacterial activity of honey: 1. The nature of the antibacterial activity. *Bee World*, 73(1), 5–28.
- Mohan, A., Quek, S.-Y., Gutierrez-Maddox, N., Gao, Y., & Shu, Q.** (2017). Effect of honey in improving the gut microbial balance. *Food Quality and Safety*, 1(2), 107–115.
- Negueruela, A. I., & Perez Arquillue, C.** (2000). Color measurement of rosemary honey in the solid state by reflectance spectroscopy with black background. *Journal of AOAC International*, 83, 669–674.
- Odoux, J. F., Aupinel, P., Gateff, S., Requier, F., Henry, M., & Bretagnolle, V.** (2014). ECOBEE: a tool for long-term honey bee colony monitoring at the landscape scale in Western European intensive agroecosystems. *Journal of Apicultural Research*, 53(1), 57–66.
- Ouchemoukh, S.** (2012). Caractérisation physicochimique, profils polliniques, glucidiques et phénoliques et activités antioxydantes de miels algériens [Thèse de doctorat en biochimie, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa], 164 p.
- Persano Oddo, L., Baldi, E., & Piazza, M. G.** (1986). Acidità e pH nei principali mieli uniflorali italiani. *Apicoltura*, 2, 145–154.
- Persano Oddo, L., Baldi, E., & Accorti, M.** (1990). Diastatic activity in some unifloral honeys. *Apidologie*, 21, 17–24.
- Persano Oddo, L., & Pulcini, P.** (1999). A scientific note on the Phadebas method for honeys with low enzyme content. *Apidologie*, 30, 347–348.
- Persano Oddo, L., & Piro, R.** (2004). Main European unifloral honeys: descriptive sheets. *Apidologie*, 35 (Suppl. 1), S38–S81.
- Pham-Delègue, M.-H.** (1999). *Les abeilles*. Genève : Minerva, 206 p.
- Prost, J.** (1972). *Apiculture*. Paris : Éditions J.-J. Baillière.
- Prost, F.** (1987). *Le miel : composition, propriétés, conservation*. INRA, Station expérimentale d'apiculture, 18 p.
- Pudlowski, G., & Rougement, M.** (2002). *Les trésors gourmands de la France*. Éditions La Renaissance du Livre, 177 p. (Cité par Tadjouri, 2013.)

- Rossant, J.** (2011). L'apiculture moderne : Production et qualité du miel. Éditions France Agricole, 312 p.
- Snowdon, J. A., & Cliver, D. O.** (1996). Microorganisms in honey. *International Journal of Food Microbiology*, 31(1–3), 1–26.
- Schell, K. R., Fernandes, K. E., Shanahan, E., Wilson, I., Blair, S. E., Carter, D. A., & Cokcetin, N. N.** (2022). The potential of honey as a prebiotic food to re-engineer the gut microbiome toward a healthy state. *Frontiers in Nutrition*, 9, 957932.
- Terrab, A., Diez, M. J., & Heredia, F. J.** (2002a). Chromatic characterisation of Moroccan honeys by diffuse reflectance and tristimulus colorimetry – Non-uniform and uniform colour spaces. *Food Science and Technology International*, 8, 189–195.
- Thrasylvoulou, A., Tananaki, C., Goras, G., Karazafiris, E., Dimou, M., Liolios, V., Kanelis, D., & Gounari, S.** (2018). Legislation of honey criteria and standards. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 88–96.
- Vorwohl, G.** (1964). Die Beziehungen zwischen der elektrischen Leitfähigkeit der Honige und ihrer trachtmässigen Herkunft. *Annales de l'Abeille*, 7, 301–309.
- Von der Ohe, W., Von der Ohe, K., Raude-Roberg, L., & Dustmann, J. H.** (1999). Vergleich der Methoden zur Bestimmung der Saccharase-Aktivität im Honig. *Apidologie*, 30, 412–413.
- White, J. W., Petty, J., & Hoger, R.** (1958). Composition of honey II. Lactone content. *Journal of the AOAC*, 41.
- Wunderlin, D. A., Pesce, S. F., Ame, M. V., & Faye, P. F.** (1998). Decomposition of hydroxymethylfurfural in solution and protective effect of fructose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1855–1863.
- Zürcher, K., & Hadorn, H.** (1980). Vergleichende Wasserbestimmungen in Honig nach Karl Fischer, aus Dichte, refraktometrisch und gravimetrisch. *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 71, 396–403.

Annexes

Annexe 01 : matériels non biologiques

Matériel	Verreries	Solutions et réactifs
Refractomètre portable ATC	Béchers	Eau distillé
PH-mètre électronique	Eprouvettes graduées	Solution NaOH 0.05 N
Conductimètre portable	Fioles jaugées	Phénolphtaléine (1%)
Balance électronique	Pipettes graduées	Tampons Ph 4 et 7
Agitateur magnétique + bareau	Burette graduée	Solution de KCl
	Verre de montre	
	Spatule inox	

Annexe 02 : matériel biologique

N°	Type de région	Origine floral	Saison de récolte
01	Urbaine	UF ORANGER	Printemps 2024
02	Urbaine	UF EUCALYPTUS	Été 2024
03	Montagne	TF	Printemps 2024
04	Montagne	UF JUJUBIER	Été 2024
05	Montagne	TF	Été 2024
06	Montagne	TF	Été 2024
07	Urbaine	TF AGRUMES	Printemps 2024
08	Urbaine	UF EUCALYPTUS	Été 2024
09	Montagne	TF	Été 2024
10	Montagne	TF	Printemps 2024

Annexe 03 : résultats des analyses**Tableau 01** : Les valeurs de degré de Brix

Échantillon	Degré de Brix (%)
E1	81
E2	83
E3	83
E4	84
E5	83
E6	83
E7	82
E8	81
E9	83
E10	82

Tableau 02 : les valeurs de teneur en eau

Échantillon	Teneur en eau (%)
E1	19
E2	17
E3	17
E4	16
E5	17
E6	17
E7	18
E8	19
E9	17
E10	18

Tableau 03 : Les valeurs mesurées de PH

Échantillon	Moyenne pH
E1	3.94
E2	4.11
E3	4.45
E4	5.3
E5	4.02
E6	4.45
E7	3.42
E8	4.01
E9	4.04
E10	4.22

Tableau 04 : Les valeurs mesurées d'acidité libre

Échantillon	Acidité libre (meq/kg)
E1	35
E2	21
E3	22
E4	9
E5	11
E6	13
E7	10
E8	12
E9	11
E10	27

Tableau 05 : Les valeurs mesurées de conductivité électrique

Échantillon	Moyenne (mS/cm)
E1	0.342
E2	1.027
E3	0.752
E4	0.755
E5	0.746
E6	0.269
E7	0.213
E8	0.412
E9	0.527
E10	0.434