

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 5491 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaire

Spécialité : Qualité des Produit et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

Évaluation de la Qualité du Miel : Taux d'Humidité et Teneur en Hydroxyméthylfurfural comme Paramètres Clés

Présenté par :

BENMABROUK Meriem

CLARANOUBA NadjeDjarabaye

MAKHLOUF Dorsaf

Devant le Jury composé de :

Président : BAALI Salim (MCB)

Université de Guelma

Encadrant : MOKHTARI Abdelhamid (MCB)

Université de Guelma

Examineur : MERZOUG Abdelghani (MCB)

Université de Guelma

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

*Notre premier remerciement va à **ALLAH**, le tout puissant qui nous a aidés pour réussir à nos choix dans cette vie et réaliser ce modeste travail.*

Nous tenons particulièrement remercier tous les membres de jury présent aujourd'hui.

*A Dr : **Salim BAALI** Pour l'honneur qu'elle nous a fait en présidant ce jury.*

*ET Dr : **Abdelghani MERZOUG** Pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons aussi à remercier notre directeur de mémoire Professeur **Abdelhamid MOKHTARI** Merci pour votre confiance et votre patience
Mes hommages particuliers.*

*Nous remercions tous nos collègues et particulièrement ceux et celles de notre promotion.
Mes sentiments de reconnaissance et mes remerciements vont à toute personne qui a participé De près ou de loin dans la réalisation de mon travail.*

Dédicace :

Je voudrais dédier cet humble travail :

À Allah qui m'a réconcilié à accomplir ce travail

*À mes deux perles mon paradis **ma mère** et ma gloire et ma fierté **mon père** qui ont tout sacrifié pour mon bien et qui ont éclairé ma route par leur patience, leur amour inestimable, leur soutien et leurs encouragements.*

Je souhaite que dieu les garde en bonne et parfaite santé et leur donne une longue vie.

À Tata Hamida (ma deuxième maman) :

Pour son amour et soutien depuis que j'étais enfant, que Dieu vous garde pour moi.

À mes grands-parents, longue vie à lui.

À la mémoire de mes grands-parents :

Votre souvenir restera à jamais gravé dans mon cœur, puisse Dieu les accueillir dans son vaste paradis.

À Mes chères sœurs : Nouhed, Manar :

Les chandelles de ma vie, ma ceinture dorsal, que Dieu vous garde pour moi.

À mon cher beau-frère : Tu es un membre précieux de notre famille et je suis reconnaissant de t'avoir dans ma vie

À ma petite nièce adorée, Afnane

Que chaque jour soit rempli de joie, de rires et de découvertes merveilleuses.

Je t'aime tendrement et je suis si fière de te voir grandir.

À mon ange gardien chasou :

Tu m'as toujours protégé et guidé sur le bon chemin. Je t'aime plus que les mots ne peuvent le dire.

À ma tante Bouba et sa famille : Je souhaite que dieu les garde en bonne et parfaite santé.

À mes trinômes : Dorsaf, Claranouba

Meriem

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail A celle qui s'est sacrifiée et qui entourée de sa affection ; de son amour et m'a encouragée et protégée, celle qui m'a comblée de sa douceur et de sa compréhension, m'a très cher maman et à mon père aussi que dieu les garde et les protégé.

Comme je dédie aussi ce travail à mon cher frère et mes sœurs.

A mes professeur et enseignants qui m'ont aidé à me repérer.

A mes amis ; mes camarades et a toutes ma famille.

Et a toutes les personnes qui me connaissent.

A toute la promotion QPSA

2023/2024

Claranouba

Dédicace

La première chose est de remercier Allah pour tout.

Je dédie ce travail :

- + A mon père, ma mère pour leur patience, leurs encouragements, leur amour et leur soutien matériel et moral, je leur présente cette réussite comme un cadeau de remerciement et de gratitude envers eux.*
- + A mon seul frère : Haitham.*
- + A mes sœurs : Manar, Ahlam et son mari et sa petite fille : Miral.*
- + A tous mes cousins : Yousra, Siham et ses sœurs.*
- + A toute ma famille : mon grand-père, mes tantes, oncles et leurs enfants.*
- + A l'âme de ma chère grand-mère, que Dieu lui fasse miséricorde.*
- + A mon ange gardien : Anis (mon bras droit).*
- + A mes chers binômes : Meriem et Clara Nouba.*
- + A tous les étudiants de ma promotion et toutes mes amies, mes instituteurs, institutrices et professeurs du primaire, du secondaire et de l'université.*

Dorsaf

Résumé

Une analyse de dix échantillons de miel, comprenant cinq provenant de l'apiculture locale de la région de Guelma et cinq importés des supermarchés locaux, a révélé que la moitié des échantillons (E1, E3, E5, E9 et E10) présentaient des concentrations de HMF inférieures à 40 mg/kg, confirmant leur fraîcheur et leur haute qualité. Seul l'échantillon E1 présentait une concentration la plus proche de la limite réglementaire de 15 mg/kg pour qualifier le miel comme label de qualité, avec 15,52 mg/kg de HMF. Les concentrations croissantes de HMF dans les échantillons E8, E6, E4, E2 et E7, atteignant jusqu'à environ 77 mg/kg pour E7, suggèrent un potentiel vieillissement ou une exposition à des températures élevées, altérant la qualité du miel. En ce qui concerne les taux d'humidité, la plupart des échantillons affichaient un taux identique de 16,2481%, tandis que les échantillons E3, E2 et E6 se distinguaient avec des valeurs de 14,19%, 15,22% et 17,2815% respectivement. Ces variations peuvent être attribuées aux différences entre les sources florales et les conditions de récolte et de stockage, soulignant l'importance de surveiller ces paramètres pour garantir la qualité et la durabilité du miel.

Mots-clés : Miel, qualité, évaluation, humidité, HMF, analyses physico-chimiques.

Abstract

An analysis of ten honey samples, including five from local beekeeping in the Guelma region and five imported from local supermarkets, revealed that half of the samples (E1, E3, E5, E9, and E10) had HMF concentrations below 40 mg/kg, confirming their freshness and high quality. Only sample E1 had a concentration closest to the regulatory limit of 15 mg/kg to qualify honey as a quality label, with 15.52 mg/kg of HMF. The increasing HMF concentrations in samples E8, E6, E4, E2, and E7, reaching up to approximately 77 mg/kg for E7, suggest potential aging or exposure to high temperatures, altering the quality of the honey. Regarding moisture levels, most samples displayed an identical level of 16.2481%, while samples E3, E2, and E6 stood out with values of 14.19%, 15.22%, and 17.2815%, respectively. These variations can be attributed to differences between floral sources and harvesting and storage conditions, highlighting the importance of monitoring these parameters to ensure honey quality and sustainability.

Keywords: Honey, quality, evaluation, moisture, HMF, physicochemical analysis.

ملخص

ظهر تحليل لعشر عينات عسل، تشمل خمس عينات من تربية النحل المحلية في منطقة قالمة، وخمس عينات مستوردة من المتاجر المحلية، أن نصف العينات ، E3، E5، E9، E1 و E10 أظهرت تركيزات HMF أقل من 40 ملغ/كجم، مما يؤكد نضارتها وجودتها العالية. فقط العينة E1 أظهرت تركيزاً أقرب إلى الحد التنظيمي البالغ 15 ملغ/كجم لتصنيف العسل كعلامة تجارية عالية الجودة، مع 15.52 ملغ/كجم من HMF. تشير تركيزات HMF المتزايدة في العينات ، E2، E4، E6، E8، E7 والتي تصل إلى حوالي 77 ملغ/كجم للعينة E7، إلى احتمال الشيخوخة أو التعرض لدرجات حرارة عالية، مما يؤثر على جودة العسل. فيما يتعلق بمستويات الرطوبة، أظهرت معظم العينات مستوى متطابقاً بنسبة 16.2481% بينما تميزت العينات ، E2، E3 و E6 بقيم 15.22%، 14.19% و 17.2815% على التوالي. يمكن أن تُعزى هذه الاختلافات إلى الاختلافات بين المصادر الزهرية وظروف الحصاد والتخزين، مما يؤكد على أهمية مراقبة هذه المعلومات لضمان جودة العسل واستدامته.

كلمات مفتاحية: العسل، الجودة، التقييم، الرطوبة، هيدروكسيميثيل فورفورال ، التحليلات الفيزيوكيميائية

Liste des abréviations

CE : Conductivité Électrique.

cm³ : centimètre cube

CO₂ : dioxyde de carbone

E : Echantillon

EHC : European Honey Commission

g : Gramme

h : heure

HMF: Hydroxyméthylfurfural

IHC : commission Internationale du miel

Kg: Kilogramme

max : maximum

mg : Milligramme

min : minimum

ml : millilitre

mm : millimètre

mq : milliéquivalent

n : indice de réfraction

nm : nanomètre

pH: Potentiel d'hydrogène

T : température

UV : Ultra Violet

Liste des Figures

Figure 01 : Origine du miel.....	4
Figure 02 : Hydrolyse du saccharose en glucose et fructose par l'invertase.....	8
Figure 03 : trophallaxie chez les abeilles.....	9
Figure 04 : Alvéoles operculées et non operculées.....	9
Figure 05 : La récolte du miel.....	10
Figure 06 : La construction de l'HMF à l'aide	15
Figure 07 : Les échantillons des miels étudiés (photo personnel).....	27
Figure 08 : Réaction de Destruction du système α,β -insaturé de l'HMF par le bisulfite	28
Figure 09 : Fréquences de distribution de la concentration du HMF dans différents types de miel.....	36
Figure 10 : Variation de la concentration du HMF selon les types de miel.....	37
Figure 11 : Variation du Taux d'humidité selon les types de miel.....	38
Figure 12 : Fréquences de distribution des Taux d'humidité dans différents types de miel.....	39

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Principales différences entre miel de miellat et miel de nectar.....	6
Tableau 02 : composition de matières minérales dans le miel.....	14
Tableau 03 : Influence de l'humidité et de la présence de levures sur le risque de fermentation du miel.....	16
Tableau 04 : Table de CHATAWAY (1935)	18
Tableau 05 : Recommandations et exigences internationales.....	24
Tableau 06 : Présentation des échantillons de miel étudiés.....	28
Tableau 07 : Correction à apporter à l'humidité de son miel en fonction de la température.....	33
Tableau 08 : Teneur de HMF dans différents types de miel.....	35
Tableau 09 : Les Taux d'humidité dans différents types de miel.....	38

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre I : Partie Bibliographique

1.	Définition du miel.....	4
2.	Origine du miel.....	4
2.1.	Miel de nectar de fleurs.....	5
2.1.1.	Les composants du Nectar.....	5
2.2.	Le miellat.....	5
2.2.1.	Les composants de miellat.....	5
2.3.	La principale différence entre un miel de nectar et un miel de miellat.....	5
3.	Les types de miel.....	6
3.1.	Selon l'origine florale.....	6
3.2.	Selon l'origine géographique.....	7
3.3.	Selon la méthode de l'extraction.....	7
4.	Le miel Algérien.....	7
5.	L'élaboration du miel.....	8
6.	Composition physico-chimique de miel.....	12
7.	Caractéristiques organoleptiques.....	19
8.	Principales transformations physiques et chimiques du miel.....	20
8.1.	Cristallisation.....	20

8.2. Fermentation.....	20
9. Les propriétés biologiques	20
10. Les sources d'adultération	21
11. Législation	23
Chapitre II : Matériel et Méthodes	
1. Objectif expérimental.....	26
2. Présentation des échantillons de Miel.....	27
3. Détermination de l'Hydroxyméthylfurfural (HMF).....	29
3.1 Principe de la méthode de White	29
3.2 Réactifs	29
3.3 Procédure	30
4. Détermination du Taux d'Humidit.....	32
4.2. Mode opératoire	32
4.3. Influence de la température	32
Chapitre III : Résultats et Discussion	
1. Analyse physico-chimique	35
1.1. Détermination et analyse des concentrations de HMF dans les différents types de miel	35
1.2. Détermination et analyse de la teneur en eau dans les différents types miel..	37
Conclusion	40
RéférencesBibliographiques	
Annexes	

Introduction

L'apiculture est une activité ancestrale pratiquée par les populations rurales algériennes (**Bourkache et Peret 2014**). À l'instar de nombreuses productions agricoles, l'apiculture a connu un regain d'intérêt significatif ces dernières années [1]. A ce jour, le pays compte 51.539 apiculteurs déclarés et 1,6 millions de colonies apicoles réparties à travers les régions du Nord, au niveau des montagnes, des steppes mais aussi dans les régions du sud [2].

Différentes variétés de miel sont produites en Algérie et pas moins de 13 sont recensés par le ministère de l'Agriculture (miel d'agrumes, d'eucalyptus, de romarin, de lavande, de jujubier, d'euphorbe, d'arbousier, de la carotte sauvage, de romarin, de thym, d'origan, de peganum « harmel », de caroubier, de chardon en plus du miel de toutes les fleurs du printemps) [2]. En 2020, la production annuelle de miel en Algérie avoisinait les 5376 tonnes [1].

Le miel, qui reste un produit cher et peu consommé (la consommation de miel est de 200 à 300 grammes/an par habitant) en Algérie est très apprécié pour son goût, sa saveur mais également pour ses valeurs nutritives et même thérapeutiques (on dit souvent du miel que « c'est un médicament ») (**Bourkache et Peret 2014**). Le miel est un produit naturel élaboré par les abeilles de l'espèce *Apis mellifera* à partir du nectar des fleurs ainsi que du miellat. Les abeilles récoltent ces substances sucrées, les transforment et les emmagasinent dans les rayons de la ruche. Le miel est un composé complexe qui représente une solution hautement concentrée en sucres dont les principaux sont le glucose et le fructose, il contient aussi des composés mineurs tels que les vitamines, les minéraux, les protéines, les acides organiques, les flavonoïdes... (**Azeredo et al., 2003**). Ces dernières années, le miel a fait l'objet de plusieurs recherches, des analyses sont réalisées afin d'évaluer sa qualité par la mise en évidence de la dégradation du produit, liées au processus de récolte et de conditionnement (chauffage excessif, fermentation, présence de résidus, etc.) (**Clément, 2002**).

Pour déterminer la qualité des miels, le **Codex alimentarius** établi des normes concernant certains paramètres physico-chimique (humidité, taux des sucres réducteurs, pH, acidité, conductivité électrique, d'hydroxyméthylfurfural, etc...) (**Bruneau, 2002**). Le miel subit au cours du temps des modifications dans sa qualité. La concentration en HMF est largement reconnue comme un paramètre affectant la fraîcheur du miel car il est généralement absent (ou présent en très faibles quantités) dans les miels frais, alors que sa concentration a tendance à augmenter pendant le traitement thermique et/ou en raison du vieillissement [2].

Introduction

La commission du *Codex Alimentarius* a établi une limite maximale de 40 mg/kg pour le HMF dans le miel (avec une limite supérieure de 80 mg/kg pour les miels provenant des régions tropicales). La teneur en humidité du miel est un autre critère essentiel pour garantir la qualité du produit avant sa mise sur le marché. Elle détermine sa capacité à rester stable et à résister au processus de fermentation par les levures. Un miel présentant une teneur en humidité trop faible aura une viscosité élevée. En revanche, un miel trop humide risque de fermenter. La limite légale fixée par le *Codex Alimentarius* est de maximum 20 %.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des miels produits localement et importés en déterminant ces deux paramètres physico-chimiques sélectionnés : le taux d'hydroxyméthylfurfural (HMF) et le taux d'humidité. Cette étude est divisée en trois parties :

- Synthèse bibliographique : Cette partie présente une vue d'ensemble du miel, y compris sa définition, son origine, ses variétés, les méthodes de récolte, sa composition chimique et physique, la législation régissant sa commercialisation et les types de fraudes.
- Matériel et Méthodes : Cette section décrit les protocoles utilisés pour évaluer les taux de HMF et d'humidité de différents échantillons de miel, qu'ils soient produits localement ou importés et disponibles sur le marché.
- Résultats et Discussions : Cette partie présente les résultats de l'étude et les analyse, suivis d'une conclusion.

Chapitre I :
Partie
Bibliographique

1. Définition du miel

Le dictionnaire robert définit le miel comme toutes substances sirupeuses et sucrée de couleur ambrée que les abeilles élaborent dans leur jabot avec des nectars des fleurs pour la nourriture de leur communauté. Le mot miel est issu du latin, *mélis* qui signifie « miel » et « douceur » apparenté en grec *méli*, *militos* ainsi qu'au gothique *milith*. Le miel est étroitement lié à la notion de douceur autant dans la littérature que dans que l'esprit du consommateur. Dans de nombreux pays, la loi fournit une définition légale du miel. Cette dernière a pour objet la protection du consommateur contre les différents types de fraudes susceptibles d'être pratiqués (Louveaux, 1968).

Selon le Codex, 2001, le miel est défini comme la substance naturelle sucrée produite par les abeilles *Apis mellifera* à partir du nectar de plantes ou à partir de sécrétions provenant de parties vivantes de plante ou à partir d'excrétions d'insectes butineurs laissées sur les parties vivantes de plantes, que les abeilles butinent, transforment en les combinant avec des substances spécifiques qu'elles sécrètent elles-mêmes, déposent, déshydratent, emmagasinent et laissent affiner et murir dans les rayons de la ruche.

2. Origine du miel

Le miel est élaboré par les abeilles à partir de solution sucrée produits par des végétaux, soit sous forme de nectar, soit sous forme de miellat (Anchling F, 2005). Leur composition chimique diffère selon plusieurs paramètres (pH, teneur en minéraux, profil des glucides...) (Codex standard, 2001). D'après leur origine botanique, les miels peuvent être classés en miel de nectar de fleurs et miellat (Figure 01).

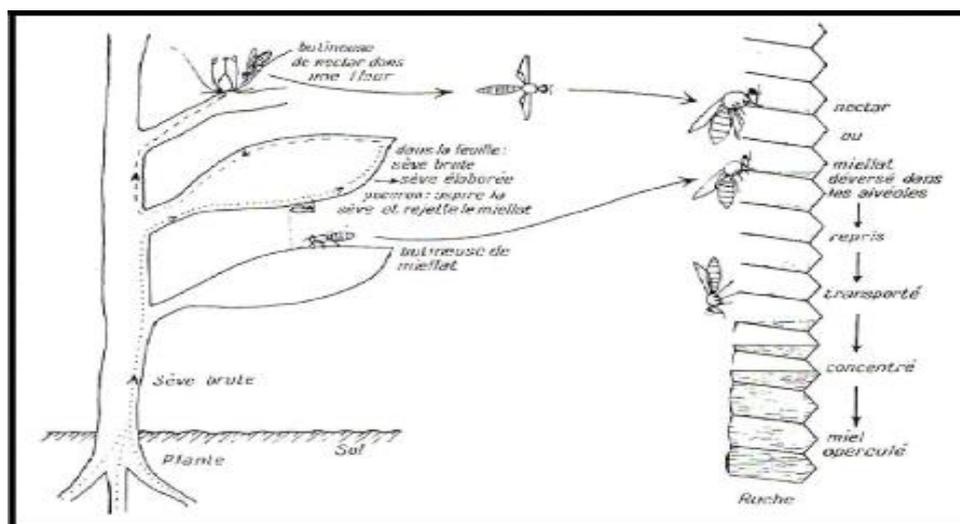


Figure 01. Origine du miel (Jean-Prost, 1987).

2.1.Miel de nectar de fleurs

Le nectar est la source principale de miel, est le liquide sucré sécrété par les glandes dites nectarifères, présentes sur de nombreuses plantes (Marchenay et Berard, 2007). On distingue les nectaires floraux (à la base des fleurs), des nectaires extra floraux (sur les feuilles, les tiges ou les autres parties de la plante) (Hoyet, 2005).

2.1.1. Les composants du Nectar

Le nectar peut contenir jusqu'à 80% d'eau, 7 à 60% de sucres, mais aussi de nombreuses autres substances à l'état de traces, tels que des acides aminés, des acides organiques, des substances aromatiques, des vitamines, des minéraux, etc... Ces substances sont responsables de la valeur aromatique d'un miel et lui confèrent sa personnalité (Philippe, 1999). Le nectar est composé de trois sucres principaux (le saccharose, le glucose, le fructose) (Schweitzer, 2005). Les proportions de chacun d'entre eux sont relativement stables pour une même espèce végétale (Bonté et Desmoulière, 2013).

2.2.Le miellat

Le miellat est un produit sucré élaboré par divers insectes à partir de la sève des végétaux et dont se nourrissent certaines abeilles et fourmis (Hoyet, 2005). Le miellat est un produit plus complexe que le nectar faisant intervenir un intermédiaire généralement, des insectes de la famille des Homoptères tel que les pucerons (Gonnet, Vache, 1985).

2.2.1. Les composants de miellat

Le miellat est une solution sucrée dont la concentration en sucre variable (5 à 20%) contrairement au nectar le miellat contient différentes quantités de sucres, surtout du mélézitose (Bogdanov et al., 2007). Les miels de miellat sont caractérisés par une couleur très foncée, des valeurs élevées en pH, en composés phénoliques et en cendres. Ils contiennent moins de monosaccharides et plus de di, tri et d'oligosaccharides que les miels de fleur (nectar), ce qui rend leur cristallisation plus lente (Terrab et al., 2002 ; Ouchemoukh, et al., 2007).

2.3.La principale différence entre un miel de nectar et un miel de miellat

Le miel de miellat est de couleur plus sombre et possède un goût plus prononcé que le miel de nectar. Il possède également des sucres plus complexes comme le mélézitose ou l'erlose, qui sont formés dans le tube digestif des Homoptères. Il est aussi plus riche en azote, en acides organiques et en minéraux (Tableau 01). Ces différentes caractéristiques permettent d'identifier les miels de miellats (Rossant, 2011).

Tableau 01. Différences principales entre miel de miellat et miel de nectar (Bruneau, 2002).

Composés	Miel de miellat	Miel de nectar
PH	4,5	3,9
Minéraux (cendres)	0,58%	0,26%
Fructose + Glucose	61,6%	74%
Mélézitose	8,6%	0,2%
Raffinose	0,84%	0,03%
Maltose + isomaltose	9,6%	7,8%

3. Les types de miel

3.1. Selon l'origine florale

Le miel varie selon l'origine florale, La détermination de l'origine géographique du miel repose sur l'analyse pollinique (Chauvin, 1968). Il existe deux catégories de miels : les miels mono-floraux et les miels multi-floraux (Élodie, 2013).

3.1.1. Les miels mono floraux (uni floraux)

Les miels mono floraux « Miels de cru » sont élaborés à partir du nectar et/ou du miellat provenant d'une seule espèce végétale et cela nécessite bien sûr d'installer les ruches à proximité de la plante recherchée (Rossant, 2011). Les miels monofloraux courants proviennent du trèfle, de l'acacia, du tilleul et du tournesol. Le miel mono floral est léger et plus cher que les miels poly floral (Bradbear, 2011). Les miels mono floraux possèdent des caractéristiques palynologiques, physico-chimiques et organoleptiques spécifiques (Bogdanov et al., 2003).

3.1.2. Les miels multi floraux (poly floraux)

Les miels poly floraux appelé aussi « miel toutes fleurs » sont produits à partir du nectar et/ou du miellat de plusieurs espèces végétales sans prédominance particulière. On peut dire que dans ces miels, aucune fleur, espèce végétale ou plante n'a dominance sur les autres. On obtient des miels de couleur allant du jaune clair au brun (Clément, 2002).

3.2. Selon l'origine géographique

Le miel peut être désigné par le nom de la région géographique ou topographique, sous réserve d'être produit exclusivement dans la zone indiquée dans la désignation (codex,

1987). La détermination et le dénombrement des grains de pollen et les composants du miel présents dans les sédiments permettent de déterminer l'origine géographique de celui-ci (Bogdanov et al., 2004).

3.3. Selon la méthode de l'extraction

Selon (Nair, 2006) on distingue différentes sortes de miels :

- **Miel en rayon:** C'est le miel contenu dans les alvéoles fraîchement constituées operculées, sans couvains, de couleur blanchâtre. Ce miel est vendu en rayon ou en partie rayon.
- **Miel vierge (miel d'égouttage) :** Il s'écoule naturellement sans intervention, (alvéoles non operculés).
- **Miel écoulé :** Il est obtenu par centrifugation des alvéoles.
- **Miel pressé :** Il est récolté à froid au moyen d'une presse hydraulique dont les alvéoles.
- **Miel jeune (non mur) :** C'est le produit retiré des alvéoles non encore operculée, sa teneur en eau est généralement supérieure à celle du miel parvenu à maturité (plus de 20%).

4. Le miel Algérien

Le cheptel apicole algérien, dont on relèvera au passage la forte fluctuation, est constitué de deux races : *Apis melliferasahariensis* appelée « abeille saharienne » implanté au Sahara algérien (El Oued, Bechar et Ain Séfra). Et *Apis melliferaintermissa* dite « abeille tellienne » ou « abeille noir du tel » dont l'aire de distribution se confond avec l'atlas tellien. De couleur noire, productive, prolifique, résistante aux maladies et aux prédateurs mais néanmoins agressives et présentant une propension à l'essaimage (Chelighoum, 2011).

L'Algérie, surtout la région nord, possède des potentialités mellifères considérable, grâce à son climat doux, à l'étendu des végétations naturelle. Les espèces mellifères sont constituée par l'ensemble des superficies occupées par les forêts et les maquis ainsi que les sous-bois des forets : Les espèces forestières talque l'Eucalyptus, les Chênes, Cidres, Pin, etc... Les maquis et sous-bois : Bruyeres, Arbousier, Cerise, etc... (Chelighoum, 2011).

En plus de la zone nord, il existe des autres zones de production qui répondent à des qualités différentes de miels :

- La zone de montagne : miel de lavande et de diverses variées végétales.
- La zone des hauts plateaux : miel de sainfoin, de romarin, et de plantes steppiques
- La zone de littoral : miel d'agrumes, et d'eucalyptus (Draiaia, 2016).

5. L'élaboration du miel

Une butineuse effectue entre 20 et 50 voyages par jours, chacun demandant environ 15 minutes. Le rayon de travail moyen varie entre 500 mètres et 2 kilomètres, d'où l'importance, de la végétation entourant le rucher, en plus des conditions climatiques et de la nature du sol. Elle prélève sur les fleurs le nectar, liquide sucré, sécrété puis excrété par des glandes dites nectarifères, présentes dans de nombreuses plantes (Huchet *et al.*, 1996).

5.1. La transformation au niveau du tube digestif des abeilles

Les sucres se transforment leur constitution chimique évolue entre celle du nectar ou du miellat et celle du miel. Elle commence dans le jabot de la butineuse et dès son passage dans le tube digestif, le nectar (ou le miellat) subit ses premières transformations sous l'action d'enzymes qui hydrolysent les polysaccharides en sucres simples en particulier, le saccharose qui devient un mélange de glucose (dextrose) et de fructose (lévulose) sous l'action d'une enzyme, l'invertase, incorporée au nectar par la salive des abeilles [1]. Ceci représente 90% des sucres totaux du miel. La transformation, ou inversion, s'exprime par l'équation suivante :

(Figure 02).

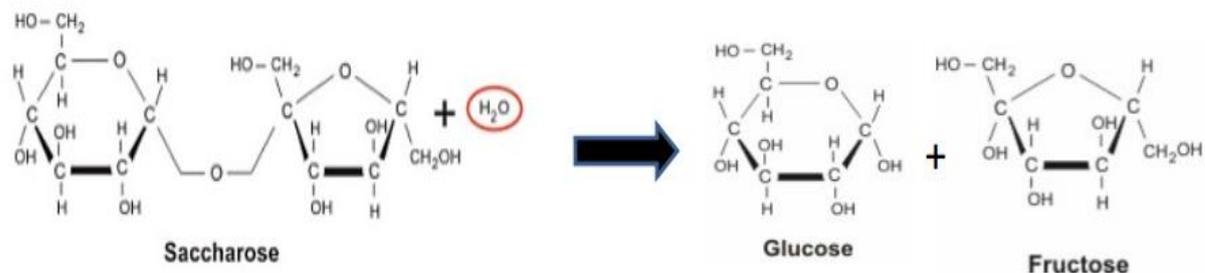


Figure 02. Hydrolyse du saccharose en glucose et fructose par l'invertase.

De retour à la ruche, l'abeille butineuse transfère sa récolte à l'abeille ouvrière, qui l'absorbe puis la régurgite à son tour pour la transmettre à une autre ouvrière, et ainsi de suite. Ce phénomène s'appelle la trophallaxie (Figure 03).

Progressivement, cette matière se déshydrate, s'enrichit en sucres gastriques et en substances salivaires, et sa concentration en sucre augmente (Bruneau, 2009). Déposé dans les alvéoles, le miel sera concentré, protégé ; il achèvera là sa transformation biochimique [1].



Figure 03.La trophallaxie chez les abeilles [2].

5.2.Ladéshydratationdumiel

La solution de sucre transformée, qui contient encore environ 50% d'eau, va subir une nouvelle concentration par l'évaporation, qui se produit sous la double influence de la chaleur régnant dans la ruche qui est de l'ordre de 36 à 37 °C, et de la ventilation qui est assurée par les abeilles ventileuses, en créant un puissant courant d'air ascendant dans la ruche par un mouvement très rapide des ailes. Au bout de quelques jours, cette solution contiendra en moyenne 18% d'eau, et 80% de sucre (**Gonnet, 1982** et **Donnadieu, 1984**). La cellule est alors fermée avec un opercule de cire qui permet une bonne conservation (**Figure 04**). La colonie dispose en réserve d'un aliment hautement énergétique, stable, peu sensible aux fermentations et de longue conservation (**Hoyet, 2005**). Finalement, le travail de l'apiculteur est de récolter le miel quand la majorité des alvéoles sont operculé, à cette étape, il désopercule les cadres et extrait le miel. Il le filtre puis les conditionne (**Nicolay, 2014**).



Figure 04. Alvéoles operculées et non operculées (**DeblocketReims, 2011**).

5.3.La récolte

Le miel est récolté par l'apiculteur a lieu généralement après une miellée (qui correspond à la période de production du nectar par la flore susceptible d'en fournir) et lorsque les 3/4 des alvéoles des rayons de cire sont operculés. C'est ainsi que le miel est récolté entre les mois d'avril et novembre, en une ou plusieurs fois, la première récolte ne commence généralement que la fin du mois de mai (**Figure 05**)(**Donnadiou, 1984**). Le miel peut être passé à travers un filtre grossier. Cette filtration ne doit pas retirer le pollen, pour le purifier. De plus, aucune substance ne doit être ajoutée ni retirée du miel. Pour conserver tout son arôme et pour éviter la destruction de certains éléments biologiques et enzymes, il doit également être exempt de corps étrangers et d'impuretés (**Bogdanov et al., 2003**).



Figure 05. La récolte du miel [3].

5.4.L'extraction

L'apiculteur retire les cadres de miel, après avoir chassé les abeilles par enfumage. Il transporte ensuite les hausses dans la milleraie et enlève les opercules à l'aide d'un couteau à désoperculer. La désoperculation se pratique dans une pièce tiède et bien fermée (**Jean Prost, 1987 ; Huchet et al., 1996**). Après cette opération, l'apiculteur procède à l'extraction. Selon **Biri (1986)**, cette dernière doit être réalisée à l'aide d'un extracteur, c'est-à-dire un récipient cylindrique recouvert d'acier inoxydable, qui permet d'extraire le miel des rayons par la force centrifuge sans que ceux-ci soient endommagés. Finalement, le miel est collecté sur un filtre, qui va retenir les débris de cire entraînés lors de l'extraction, et être reçu dans un cuve avant d'atteindre, après la seconde filtration le maturateur qui est un simple récipient de décantation.

Selon **Louveaux (1985)**, la taille des mailles des filtres utilisés en apiculture est de 0,1 mm. Son efficacité est suffisante pour éliminer les résidus de cire et les grosses impuretés du miel.

5.5.La maturation

Le miel est recueilli dans un maturateur, qui est un simple récipient de décantation surmonté d'un filtre. Son but est de retenir les éventuelles impuretés qui pourraient y être présentes (bulles d'air, fragments de cire...). Ces dernières remontent à la surface du miel et forment une écume qui sera retirée (**Hoyet, 2005**).

5.6.La pasteurisation

La pasteurisation consiste à déshydrater le miel, à une température d'environ 78°C pendant 6 à 7 minutes, puis le refroidir rapidement. L'appareillage comporte principalement des plaques chauffantes parallèles sur lesquelles le miel va circuler en lames fines (**Prost, 1987**). Le miel pasteurisé est protégé de la fermentation puisque les levures ont été détruites, et il se conservera à l'état liquide pendant au moins six mois, le temps nécessaire de sa consommation (**Louveaux, 1985**).

Prost (1987), affirme que la pasteurisation peut augmenter considérablement la couleur et le taux de l'HMF, qu'il caractérise les miels chauffés et vieux.

5.7.L'emballage et modalités étiquette

Le meilleure emballage pour le miel est le verre, mais sa fragilité, son poids et transparence rend visible les trainées blanche, causées par les bulles d'air, dans le miel cristallisé lui font préférer le carton ou la matière plastique (**Prost, 1987**). L'étiquette doit fournir les indications suivantes :

- Le nom et l'adresse de l'apiculteur,
- L'appellation du miel ou une autre appellation légale,
- Le poids du miel contenu dans le récipient,
- Une date de garantie, à consommer de préférence avant fin mois/année (exemple, à consommer avant fin 04/2010), mais ce n'est pas la date de péremption, tout miel peut être consommé sans risque après cette date. Il est normal de respecter une durée de conservation maximale de 18 à 24 mois selon les miels, à condition de garantir au consommateur que le miel conservera ses qualités et ses caractéristiques sensorielles au moins jusqu'à cette date (**Gheriat, 2000**).

5.8. Conditionnement et stockage

Depuis l'appareil de maturation, le miel est versé directement dans les récipients de vente. Le miel doit être mis à l'abri de l'air et de l'humidité ceci afin d'éviter certaine dénaturation et surtout des fermentations, d'où la nécessité de récipients bien remplis et hermétiquement fermés (Donnadieu, 1984).

D'après Huchet (1996), le miel est conservé dans des locaux frais où la température ne dépasse pas 20°C. Si le miel à conserver présente un risque de fermentation, il doit être pasteurisé ou conservé à une température de 4 à 5°C.

6. Composition physico-chimique de miel

Il est important de rappeler que les propriétés physico-chimiques des miels sont essentielles. Le miel présente selon l'origine de la plante à partir de laquelle il a été fabriqué, et selon la composition de ses sucres, des caractéristiques physico-chimiques particulières (Rossant, 2011). La composition du miel est majoritairement constituée de sucres (environ 80%), suivie d'eau (environ 17%) et d'une variété d'autres éléments tels que des acides organiques, des acides aminés, des protéines, des lipides, des sels minéraux, des enzymes, des pigments et des vitamines (Bonté et Desmoulière, 2013).

6.1. Les paramètres chimiques du miel

6.1.1. Eau

Selon le Codex Alimentarius (2001), la teneur en eau ne doit pas dépasser 20 %. Elle est déterminée par sa source, le climat et son degré de maturation.

Un taux d'humidité dépassant 20% favorise la fermentation du miel (Gupta et al., 2014).

6.1.2. Les glucides

Ils représentent 75 à 80 % de matière sèche. Le miel est principalement composé de fructose et de glucose, les deux sucres les plus abondants. D'autres sucres, tels que le saccharose, le mélézitose et le raffinose, sont également présents, mais en quantités moindres (Can et al., 2015). D'autres sucres tels que le maltose, l'érlose, l'isomaltose apparaissent seulement comme des produits secondaires issus de la transformation par les abeilles (Barcelo, 2013).

Les glucides, ces sucres naturels, jouent un rôle crucial dans les propriétés physico-chimiques du miel, telles que sa viscosité, l'hygroscopicité et la granulation (Can et al., 2015).

6.1.3. Les acides

Le miel doit son acidité caractéristique à la présence d'acides organiques, qui représentent environ 0,57% de sa composition (**Karabagias et al., 2014**). Les acides identifiés dans le miel sont : l'acide formique, l'acide tartinique, l'acide malique, l'acide citrique, l'acide succinique, l'acide butyrique, l'acide lactique et l'acide oxalique de même que différents acides aromatiques (**Bogdanov et al., 2003**).

6.1.4. Les protéines

Les miels sont pauvres en protéines, ils contiennent environ 0,25%, principalement constituées d'enzymes et d'acides aminés (**Khan et al., 2017**). On y trouve des peptones, des albumines, des globulines ainsi que des acides aminés comme la proline, l'acide aspartique, l'acide glutamique, l'alanine, la cystéine (**Hoyet, 2005**).

6.1.5. Les lipides

Rossant, 2011, signale que leur proportion est infime, provenant sans doute de la cire. Il trouve sous forme de glycéride et d'acide gras (acide palmitique, acide oléique et acide linoléique (**Bonté et Desmoulière, 2013**).

6.1.6. Les enzymes

Le miel contient également des enzymes qui peuvent provenir des sécrétions salivaires de l'abeille (**Belhaj et al., 2015**), du pollen et du nectar floral. Les principales enzymes sont la glucose-invertase qui est responsable de l'hydrolyse des disaccharides, l' α -amylase et la β -amylase qui permettent la dégradation de l'amidon, l' α -glucosidase et le glucose oxydase capable de transformer le glucose en acide gluconique. Il contient aussi une catalase et une phosphatase qui sont importantes pour détecter les fraudes liées au chauffage du miel car ces enzymes sont détruites par un chauffage exagéré (**Huchet et al., 1996**).

6.1.7. Les matières minérales ou cendres

La teneur en minéraux dans le miel varie de 0,04% dans les miels légers à 0,2% dans les miels sombres (**Alqarni et al., 2012**). La teneur en sel minéraux et en oligo-éléments du miel est indiquée dans le **tableau 02**.

Tableau 02. Composition de matières minérales dans le miel, Selon (Mores et Lisk1980).

Les constituants minéraux	Quantité en mg/kg	Les constituants minéraux	Quantité en mg/kg
Potassium	200-1500	Manganèse	0.2-10
Sodium	16-170	Chrome	0.1-0.3
Calcium	40-300	Cobalt	0.01-0.5
Magnésium	7-130	Nickel	0.3-1.3
Fer	0.3-40	Aluminium	60
Zinc	0.5-20	Cuivre	0.2-6
plomb	0.02-0.8	Cadmium	0.005-0.15

6.1.8. Les composés aromatiques

Les arômes jouent un rôle important dans la qualité sensorielle du miel. Certaines de ces arômes ont été identifiées, notamment le méthylantranilate dans les miels d'orangers et de lavandes ; le formaldéhyde et l'acétaldéhyde dans les miels de colza et de trèfle. Des alcools et des esters peuvent aussi être rencontrés dans la plupart des miels (Gonnet, 1982 ; Jelen, 2012).

6.1.9. Les pigments

La couleur du miel provient de matière pigmentaire, ils donnent au miel une couleur caractéristique. Les pigments du miel proviennent des fleurs butinées par les abeilles et du miellat, une substance produite par les insectes suceurs de sève. Ils appartiennent aux groupes de caroténoïdes (rouge) et des flavoïdes (jaune) (Gonnet, 1982 ; Louveaux, 1985).

6.1.10. Les vitamines

Les vitamines sont rares dans le miel, présentes en très faibles quantités. La vitamine C et les vitamines B (thiamine, biotine, acide folique...) sont les plus répandues, tandis que les vitamines A, D et K y sont presque inexistantes. (Gonnet, 1982).

6.1.11. L'hydroxyméthylfurfural (HMF)

L'hydroxyméthylfurfural (HMF) est un produit intermédiaire de la réaction de Maillard, une réaction non enzymatique qui se produit fréquemment en présence de glucides et d'acides aminés, il est un composé chimique issu de la dégradation du fructose (Figure 06)(Bruneau, 2005).

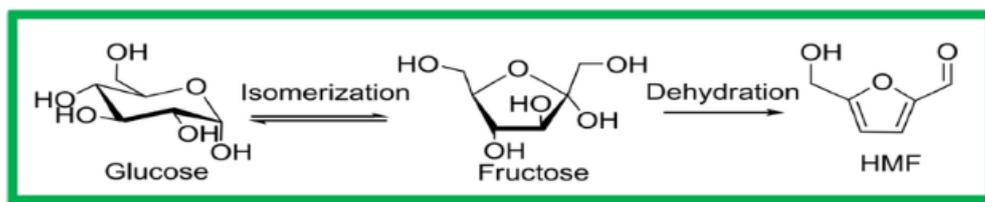


Figure 06. La formation de l'HMF à l'aide de fructose.

L'HMF est présent dans les vieux miels ou dans les miels qui ont subi un chauffage mais aussi à l'état naturel, comme dans le miel de lavande.

La concentration en H.M.F constitue un indicateur de dégradation ou de fraîcheur du miel, elle provient du lent vieillissement ou de mauvaises conditions de conditionnement et de stockage du miel, plus sa teneur est faible, meilleur est le miel. Le dosage d'H.M.F permet de détecter si le miel a été chauffé, et par conséquent dénaturé (**Huchet et al., 1996**).

6.1.12. Les autres composants

Le miel renferme aussi, des spores, des algues unicellulaires, des levures osmotolérantes et des champignons microscopiques. En raison de la forte pression osmotique, les microorganismes qui parviennent dans le miel ne peuvent pas s'y développer (**Schiver, 2006**).

6.1.13. Pollen

L'abeille récolte le pollen pour ses propres besoins tels que l'alimentation des larves, leur permettant la prolongation de leur durée de vie et favorise le développement du couvain. Il est introduit involontairement dans le miel par les abeilles qui le porte sur leurs fourrures, leurs pièces buccales et sur leurs pattes. L'origine botanique du miel peut être identifiée par une observation microscopique des grains de pollen (**Nair, 2014**).

6.2. Les paramètres physiques du miel

La teneur en humidité est l'une des caractéristiques les plus importantes, influençant les propriétés physiques du miel telles que la viscosité et cristallisation, ainsi que d'autres paramètres: couleur, saveur, goût, gravité spécifique, solubilité et conservation (**Escuredo et al., 2013**).

6.2.1. L'humidité

Pour l'humidité elle se mesure à l'aide d'un réfractomètre dans lequel un rayon lumineux traverse une goutte de miel puis il éclaire une échelle graduée, plus le miel est riche en matière sèches, plus le rayon lumineux est dévié et donc l'indice de réfraction est fort (**Jean Prost, 2005**).

La conservation du miel dépend de son humidité, plus l'humidité est élevée, plus le risque de fermentation est important (**Tableau 03**).

Tableau 03.Influence de l'humidité et de la présence de levures sur le risque de fermentation du miel (Lequet, 2010).

Teneur en eau	Risque de fermentation en fonction du nombre de levures par gramme de miel
Moins de 17,1 %	Aucun ne risque quel que soit le nombre de levures.
De 17,1 à 18 %	Aucun ne risque si le nombre de levures est inférieur à 1000.
De 18,1 à 19 %	Aucun ne risque si le nombre de levures est inférieur à 10.
De 19,1 à 20 %	Aucun ne risque si le nombre de levures est inférieur à 1.
Plus de 20 %	Risque de fermentation quel que soit le nombre de levures.

6.2.2. La densité

Le miel a une densité relativement élevée qui varie entre 1,40 et 1,45 g/cm³ (Bogdanov et al., 2003).

Quelques exemples de la densité de miel :

- Miel de forêt : Sa densité est d'environ 1,45 g/ml.
- Miel d'acacia : Sa densité est d'environ 1,42 g/ml.
- Miel de fleurs : Sa densité est d'environ 1,43 g/ml.
- Miel d'eucalyptus : Sa densité est 1,42 g/ml

6.2.3. La viscosité

La viscosité du miel est conditionnée essentiellement par sa teneur en eau, sa composition chimique et la température à laquelle il est conservé ; par ailleurs, les sucres contenus dans le miel peuvent cristalliser en partie sous l'influence de certains facteurs (température, agitation, composition chimique), entraînant alors une modification complète de son aspect mais sans rien changer à sa composition (Donadieu, 2008).

Le miel de haute qualité est habituellement épais et visqueux (James et al., 2009).

6.2.4. La conductivité électrique

La conductivité électrique est un paramètre efficace pour la distinction entre les miels floraux et les miels de miellats. Elle dépend de la teneur du miel en minéraux et en acidité (la présence des acides organiques et des protéines) (Yucel et Sultanoglu, 2013).

En général, la conductivité électrique du miel est d'autant plus élevée que sa teneur en substances minérales est élevée (Acquarone et al., 2007). Ce paramètre est en rapport avec la couleur du miel. Selon (Belay et al., 2013), les miels foncés conduisent mieux le courant électrique que les miels clairs.

6.2.5. Le pH

Le pH est un paramètre important corrélé directement à la texture et la stabilité du miel au cours du stockage (Zarei et al., 2019). Le pH de miel est généralement compris entre 3,2 et 5,5 et les miels ayant un pH bas, compris entre 3.4 et 3.6, se dégradent facilement (Jean-Prost et Le Conte, 2005).

6.2.6. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction permet de calculer une variable très importante, la teneur en eau, bien plus rapidement que les autres méthodes (Emmanuelle et al., 1996). L'indice de réfraction de miel est d'autant plus élevé que sa teneur en eau est plus basse (Gonnet, 1982). La table de Chataway (1935) donne directement la correspondance (Tableau 04)(Mekious, 2016).

Tableau 04. Table de CHATAWAY (1935).

Indice de réfraction (20°C)	Teneur en eau (%)	Indice de réfraction (20°C)	Teneur en eau (%)	Indice de réfraction (20°C)	Teneur en eau (%)
1.5044	13.0	1.4935	17.2	1.4835	21.2
1.5038	13.2	1.4930	17.4	1.4830	21.4
1.5033	13.4	1.4925	17.6	1.4825	21.6
1.5028	13.6	1.4920	17.8	1.4820	21.8
1.5023	13.8	1.4915	18.0	1.4815	22.0
1.5018	14.0	1.4910	18.2	1.4810	22.2
1.5012	14.2	1.4905	18,4	1.4805	22.4
1.5007	14.4	1.4900	18.6	1.4800	22.6
1.5002	14.6	1.4895	18.8	1,4795	22.8
1.4997	14.8	1.4890	19.0	1.4790	23.0
1.4992	15.0	1.4885	19.2	1.4785	23.2
1.4987	15,2	1.4880	19.4	1.4780	23.4
1.4982	15.4	1.4875	19.6	1.4775	23.6
1.4976	15.6	1.4870	19.8	1.4770	23.8
1.4971	15.8	1.4865	20.0	1.4765	24.0
1.4966	16.0	1.4860	20.2	1.4760	24.2
1.4961	16.2	1.4855	20.4	1.4755	24.4
1.4956	16.4	1.4850	20.6	1.4750	24.6
1.4951	16.6	1.4845	20.8	1.4745	24.8
1.4946	16.8	1.4840	21.0	1.4740	25.0
1.4940	17.0				

6.2.7. La solubilité

Le miel est soluble dans l'eau, l'alcool dilué et insoluble dans l'alcool fort, l'éther, le chloroforme et le benzène (Clémence H, 2005).

6.2.8. L'hygroscopie

Si le miel est mis en contact avec un air dont l'humidité relative dépasse 55%, il va se charger d'humidité (Bruneau, 2008). Un miel à 18% d'eau se trouve en équilibre dans une

atmosphère dont l'humidité relative est de 60% et dont la température est de 14°C (ex. divers : miel de colza : 19 à 20% ; miel de miellat : 15 à 16% ; s'il contient plus de 20% d'eau, le miel dégagera du CO₂ et fermentera) [1].

6.2.9. La turbidité

Lorsque les miels sont ramenés à l'état liquide par passage à l'étuve à 65°C jusqu'à disparition totale des cristaux de glucose, ils se présentant généralement comme des liquides très transparents. Toutefois, ils contiennent toujours en suspension des éléments figurés (levures, poussières, grains de pollen, colloïdes) qui leur donnent une certaine turbidité (Marini *et al.*, 2004).

7. Caractéristiques organoleptiques

7.1. La couleur

La couleur du miel est le facteur le plus important affectant son apparence visuelle et dépend principalement de la composition du miel donc de son origine botanique (Can *et al.*, 2015). Selon les normes de Codex Alimentarius les miels clairs ont des valeurs des couleurs entre 0 et 85 mm et les miels foncés supérieur 114 mm (Bakchiche *et al.*, 2018). La couleur du miel va généralement du jaune pâle à l'ambre foncé et parfois même à une teinte verte ou rouge (Zarei *et al.*, 2019).

7.2. L'odeur et le goût

L'odeur du miel varie considérablement mais s'évaporent très rapidement. Elles sont végétales, florales ou fruitées, puissantes ou non, fines, lourdes, vulgaires (Blanc, 2010). Le goût et l'arôme varient et dépendent de l'origine végétale, mais le miel ne doit pas présenter de goût étranger ou d'odeur étrangère (fumée, etc.) ni avoir commencé à fermenter (Lequet, 2010). Ils sont végétaux, floraux, empyreumatiques, fins, puissants ou persistants, exogènes, l'arrière-goût peut être amer ou acide et laisse en fin de bouche de tanin, de rance, de fumée... (Mokeddem, 1998).

7.3. La consistance

La consistance d'un miel, qui peut être liquide, est conditionnée essentiellement par trois facteurs qui sont: La teneur en eau, la température et la composition en sucres (Donnadieu, 1984).

8. Principales transformations physiques et chimiques du miel

8.1. La cristallisation

Elle se produit d'autant plus rapidement que le rapport glucose/eau est élevé. Généralement ce rapport oscille entre 1,6 et 2,5 (colza = 2,25 ; acacia = 1,63). La cristallisation dépend aussi du rapport fructose / glucose (colza = 0,90 contient plus de glucose que de fructose, cristallisation très rapide ; acacia = 1,43, c'est l'inverse, il reste toujours liquide s'il est pur), ainsi que de la présence d'impuretés (pollen, autres) [1].

8.2. La fermentation

A part la cristallisation, les miels peuvent aussi subir une fermentation qui est produite par la levure en dégradant les sucres. Fabian et Quinet ont déterminé en 1928 une valeur critique de la teneur en eau de 21 % à partir de laquelle le phénomène de fermentation se déroule. La variation de la teneur en eau vient en grande partie de l'hygroscopicité du fructose. Le miel absorbe suffisamment d'eau à sa surface afin de diminuer la concentration en sucres. Cette absorption se produit jusqu'à 21 % d'eau qui est un niveau compatible avec la vie de certaines levures qui pénètrent progressivement dans le miel (Killian, 2023).

9. Les propriétés biologiques

Le miel, bien plus qu'un simple aliment, possède un riche éventail de propriétés biologiques remarquables, notamment antiseptiques, thérapeutiques, antibactériennes et antioxydants, qui en font un véritable médicament naturel (Lobreau *et al.*, 1999).

9.1 Les propriétés nutritionnelles et diététiques

Le miel est un aliment naturel, étant composé de sucres simples (glucose et fructose), il est facilement assimilé par l'organisme, doué d'un pouvoir sucrant important. Le miel est un aliment à haute valeur énergétique permet de couvrir les besoins de l'organisme dans des conditions optimales. Il apporte 310 calories aux 100g, traditionnellement, il a été utilisé dans la nourriture comme agent édulcorant (Huchet *et al.*, 1996).

9.2 Les propriétés thérapeutiques

Le miel est utilisé dans de nombreux domaines de la médecine populaire depuis des milliers d'années et d'ailleurs Aristote le recommandait pour soulager divers maladies

(Paulus *et al.*, 2012). Quelques usages empiriques comme le fait de prendre une cuillère de miel lorsque la gorge se fait douloureuse (Prost, 2005).

Dans le domaine médical, l'action antibactérienne bénéfique du miel a été signalée dans certains cas de maladies de l'estomac, de l'intestin, des reins ou des voies respiratoires (Gonnet M, 1982).

9.3. Propriétés générales

Allah a dit dans la sourate Nahl n°16 verset 69 en parlant des abeilles : « Sort de leurs ventres une boisson aux couleurs variées dans laquelle il y a une guérison pour les gens. Il y a vraiment là une preuve pour les gens qui réfléchissent ».

9.4. Propriétés spécifiques à chaque miel

L'activité thérapeutique du miel adopte l'activité de la plante source (Sekkal, 2019), exemple :

- Le miel d'acacia pour problèmes de constipation
- Le miel de romarin pour améliorer la digestion
- Le miel d'oranger considéré comme un calmant
- Le miel de tilleul favorise le sommeil et soulage les brûlures d'estomac
- Le miel de lavande est un antiseptique des bronches et des poumons, il est recommandé aussi aux cardiaques
- Le miel de bruyère est diurétique, antirhumatismal et il est bon pour la prostate
- Le miel d'eucalyptus est efficace contre la toux et la désinfection des voies urinaires
- Le miel de pin ou de sapin est recommandé en cas de bronchite (Festy, 2010).

10. Les sources d'adultération

L'adultération est une pratique frauduleuse consistant en l'ajout d'un produit de moindre valeur à un autre produit qui est alors vendu pour ce qu'il n'est pas. Sous ce terme on retrouve une série de fraudes plus ou moins volontaires qui placent le produit hors des limites des critères légaux qui le définissent et/ou des mentions reprises sur son étiquette.

Le miel est un produit naturel qui ne permet aucun ajout (ou retrait) de substances de quelque nature que ce soit. Ainsi un ajout de sucres si infime soit-il, est une adultération (Bruneau, 2016).

10.1. Les fraudes

Bien que la législation interdise l'ajout d'autres substances au miel, la fraude demeure une réalité. En effet, le miel est un aliment "chère" dû à sa méthode de production qui nécessite l'entretien des ruches et sa récolte ainsi que sa commercialisation qui passe notamment par son emballage.

En ce qui concerne les fraudes réalisées dans le domaine du miel, il en existe de 2 types qui sont celles dues à des fraudes par non-conformité et à des fraudes par contamination.

10.1.1. Les fraudes par non-conformité

La plupart du temps, il s'agit d'une fausse indication d'origine botanique, en général non intentionnelle. Les analyses polliniques, physico-chimiques et organoleptiques permettent de déceler facilement ces « fraudes » et de reclasser le produit dans la bonne catégorie (**Lequet, 2010**). Il peut s'agir également soit de mauvaises pratiques soit d'une volonté du vendeur de diminuer ses coûts de manière illégale. Dans le 1^{er} cas se retrouvent, par exemple, le nourrissage des abeilles avec des sirops de sucre ou des suppléments alimentaires notamment ce qui va donc modifier les proportions des sucres par rapport à celles attendues au niveau de l'origine botanique. Dans le 2^{eme} cas, L'adultération peut se faire soit en croisant plusieurs miels pas chers à produire avec un miel coûteux afin d'en diminuer le prix (**Killian, 2023**).

On peut trouver également des miels d'années non-conformes (un miel de 2009 présenté comme un miel de 2010 par exemple). La fraude est décelable par analyse de la teneur en HMF, des activités enzymatiques (amylase et invertase) (**Lequet, 2010**).

10.1.2. Les fraudes par contamination

Le miel peut être contaminé par l'environnement ou par l'apiculteur. Dans ces cas, on peut retrouver dans le miel (**Lequet, 2010**):

- Des résidus de métaux lourds,
- Des résidus de pesticides,
- Des résidus d'acaricides, de fongicides et d'antibiotiques,
- Des spores de *Clostridium botulinum*,
- Des molécules toxiques.

11.Législation

Le miel, en tant que produit destiné à l'alimentation est soumis à une réglementation précise. À l'exception du miel filtré, aucun pollen ou constituant propre au miel ne doit être retiré, sauf si cela est inévitable lors de l'élimination de matières organiques et inorganiques étrangères (Cavelier, 2013).

Dans le (Tableau 05) figurent les exigences et recommandations les plus importantes de l'Union européenne et du Codex Alimentarius concernant le miel (Bogdanov, 2003). Pour contrôler la mise en vente des miels et des produits ayant subi une adultération, le conseil de l'Union Européenne a décidé d'imposer en 2001 des règles sur la substance appelée "miel" en commerce. C'est par la Directive 2001/110/CE du Conseil du 20 décembre 2001 que ces règles ont été imposées en commençant par donner la définition du miel. L'article 2 donne une explication de ce que compose le miel naturel et des différentes caractéristiques que cet aliment doit posséder pour pouvoir être commercialisé en tant que tel. Le paragraphe 3 explique notamment qu'il ne doit avoir fait l'objet d'aucune addition autre que du miel. Le paragraphe 6 donne les caractéristiques des miels afin de pouvoir être mis en vente (Killian, 2023).

Tableau 05. Recommandations et exigences internationales.

Critères de qualité	Projet du Codex	Projet de l'UE
Teneur en eau		
Général	≤ 21 g/100g	≤ 21 g/100g
Miel de bruyère, de trèfle	≤ 23 g/100g	≤ 23 g/100g
Miel industriel ou miel de pâtisserie	≤ 25 g/100g	≤ 25 g/100g
Teneur en sucres réducteurs		
Miel de fleur	≥ 65 g /100 g	≥ 65 g /100 g
Miel de miellat ou mélanges avec miel de de fleurs	≥ 60g /100 g	≥ 60 g /100 g
Teneur en saccharose apparent		
Miel en générale	≤ 5 g/100 g	≤ 5g/100 g
Miel de miellat ou mélanges avec miel de de fleurs (miel d'acacia, de lavande, de Banksia, d'Euciphia)	≤ 10 g/100 g	≤ 10 g/100 g
Acidité	Acidité ≤ 50 meq/kg	≤ 40 meq/k
Teneur en matières minérales (cendres)		
Miel en générale	≤ 1 g/100 g	≤ 0,6 g/100 g
Activité diastasique, (indice diastasique en unités de Schade)		
Miel en générale	≥ 8	≥ 8
Miels pauvre en enzyme, comme le miel d'acacia, de fleur	≥ 3	≥ 3
Teneur en hydroxyméthylfurfural	≤ 40 mg/kg	≤ 40 mg/kg
Substances non hydrosolubles	0.1 g/100 g	0.1 g/100 g

Chapitre II :

Matériel et Méthodes

Toute la partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la faculté de biologie université 08 mai 1945 Guelma.

1. Objectif expérimental

L'objectif de ce travail est le contrôle qualité des miels commercialisés localement par l'évaluation de deux paramètres physicochimiques à savoir le HMF et le taux d'humidité ». Le HMF est un composé formé naturellement dans le miel en raison de la dégradation des sucres, et sa concentration est un indicateur de la fraîcheur du miel et de son traitement thermique car sa présence est plus élevée dans les miels traités ou vieillis par rapport aux miels frais. Le contenu en eau est un autre paramètre de qualité important surtout pour : la durée de conservation du miel, ses propriétés physiques (viscosité, cristallisation) qui influence également la valeur du rapport glucose/eau et son authenticité. Les méthodes analytiques utilisées sont celles utilisées pour le contrôle régulier du miel. Elles ont été validées et harmonisées par la Commission Internationale du Miel et peuvent être utilisées dans le cadre de la Norme du Codex Alimentarius pour le Miel (**Codex Alimentarius, 2001**) et la Directive de l'Union Européenne sur le Miel (**Commission Européenne, 2002**). Ils examinent différentes manières de déterminer quel type de miel est de bonne qualité, ce qui est important pour les normes de qualité internationales.

2. Présentation des échantillons de Miel

Dix échantillons de miel différents sont présentés, comprenant cinq provenant de la région de Guelma, issus de l'apiculture locale, et cinq autres importés et disponibles dans les supermarchés de la ville. Les miels proviennent des sources florales suivantes: Jujubier, Eucalyptus, Montagne, Mille fleurs et Fleurs, telles que déclarées sur l'étiquette du producteur. Les échantillons ont été collectés comme suit : deux échantillons distincts de miel Jujubier, deux échantillons distincts de miel d'eucalyptus, un échantillon de miel de Montagne, deux échantillons distincts de miel de Fleurs, un échantillon de miel de Mille fleurs et un échantillon de miel d'origine mellifère inconnu. Par la suite, les échantillons ont été transférés au laboratoire du département de Biologie de la Faculté des Sciences de l'Université 8 Mai de Guelma pour y entreprendre les analyses physico-chimiques requises.



Figure 07. Les échantillons des miels étudiés (photo personnel)

À chaque échantillon, il a été attribué un code E1,..... E10 (**Tableau 06**).

Tableau 06. Présentation des échantillons de miel étudiés				
	Type du miel	Localisation	Origine botanique	Date de production/ de récolte
<i>Miels Locaux</i>	Miel eucalyptus (HALIMI) E1	Guelma	Eucalyptus	2023
	Miel jujubier (HALIMI) E2	Guelma	Jujubier	2023
	Miel eucalyptus (ABDERAHMAN) E3	Guelma	Eucalyptus	2023
	Miel jujubier (ABDERAHMAN) E4	Guelma	Jujubier	2023
	Miel de montagne E10	Guelma	Montagne	2023
<i>Miels commercialisés</i>	Miel Langnese E9	Allemagne		2022
	Miel Granja SanFrancisco E8	Espagne	Fleurs	2021
	Miel Chahd E6	Espagne	Fleur	2024
	Miel Eltabi3a E7	Guelma	Mille fleurs	2023
	Miel Elrahik E5	Oran		2023

3. Détermination de l'Hydroxyméthylfurfural (HMF)

La méthode de détermination de l'HMF qui est décrites et validées par la Commission Internationale du Miel (IHC) est la méthode White. Cette méthode implique la mesure de l'absorbance UV de solutions aqueuses de miel clarifiées avec et sans bisulfite. Le bisulfite est ajouté pour réagir avec le HMF et faciliter sa détection par spectrophotométrie.

3.1 Principe de la méthode de White

La méthode implique de mesurer l'absorbance UV d'une solution aqueuse de miel clarifiée par rapport à une solution de référence du même miel. Dans la solution de référence, le chromophore HMF à 284 nm a été détruit par du bisulfite. La destruction du chromophore à 284 nm est réalisée en ajoutant un nucléophile au système carbonyle α,β -insaturé de l'HMF (**Figure 08**). Cette destruction du chromophore élimine l'absorption de fond du miel. La différence spectrale entre l'échantillon (sans bisulfite) et la référence (avec bisulfite) ressemble étroitement à la bande d'absorption symétrique de l'HMF entre 250 et 330 nm (avec un maximum à 284 nm). Cette différence peut être facilement quantifiée en utilisant la valeur de l'absorptivité de l'HMF dans la littérature (**White, 1979**).

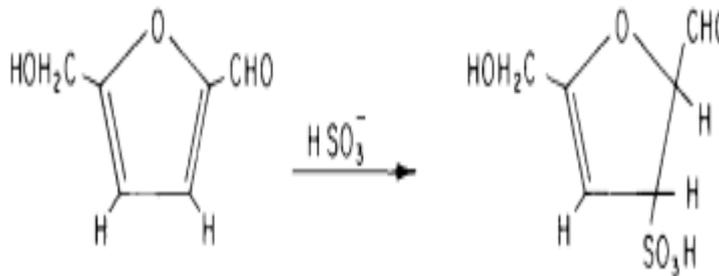


Figure 08. Réaction de Destruction du système α,β -insaturé de l'HMF par le bisulfite(**White, 1979**).

3.2 Réactifs

1. Solution de Carrez I :

- Dissoudre 15 g de ferrocyanure de potassium ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) dans de l'eau distillée (D.I) et diluer à 100 ml.

2. Solution de Carrez II :

- Dissoudre 30 g d'acétate de zinc ($Zn(CH_3CO_2)_2 \cdot 2H_2O$) dans de l'eau distillée (D.I) et diluer à 100 ml.

3. Solution de bisulfite de sodium (NaHSO_3) :

- Préparer une solution à **0,20%** dans de l'eau distillée (D.I). (à utilisé dans les 24 à 48h à préparé le jour de l'expérience)

3.3 Procédure

Le protocole utilisé pour préparer les échantillons de miel et effectuer les mesures de l'absorbance :

1. Dissolution du miel :

- Dissoudre 5 g de miel (pesé avec une précision de 1 mg) dans un petit bécher avec de l'eau distillée (25 ml).
- Transférer l'intégralité de la solution dans une fiole volumétrique de 50 ml (en incluant le rinçage du résidu du bécher avec une petite quantité d'eau distillée).

2. Ajout de la solution Carrez I :

- Ajouter 0,5 ml de la solution Carrez I à la solution de miel.
- Mélanger soigneusement.

3. Ajout de la solution Carrez II :

- Ajouter 0,5 ml de la solution Carrez II à la solution obtenue.
- Mélanger à nouveau.

4. Remplissage de la fiole avec de l'eau distillée :

- Remplir la fiole avec de l'eau distillée (une goutte d'alcool peut être ajoutée pour supprimer la formation de mousse en surface).

5. Filtration :

- Filtrer la solution à travers du papier, en rejetant les premiers 10 ml de filtrat.

6. Préparation des échantillons pour la mesure d'absorbance :

- Pipeter 5 ml du filtrat dans deux tubes à essai.
- Pipeter 5 ml d'eau distillée dans l'un (échantillon) et 5 ml de bisulfite à 0,20% dans l'autre (référence).

7. Mesure de l'absorbance :

- Utilisez des cellules en quartz de 10 mm de largeur optique pour la mesure.
- Utilisez un spectrophotomètre UV-Vis de haute précision.
- Mesurez l'absorbance de la solution d'échantillon par rapport à la solution de référence à deux longueurs d'onde spécifiques : 284 nm et 336 nm.

- S'assurez que les mesures sont effectuées dans un délai d'une heure après la préparation des échantillons pour éviter les changements dans les échantillons au fil du temps.

8. Évaluation de l'absorbance à 284 nm :

- Si l'absorbance mesurée à 284 nm dépasse une valeur approximative de 0,6 cela indique une concentration élevée dans l'échantillon.
- Diluez alors la solution d'échantillon avec de l'eau distillée et la solution de référence avec de la solution de méta bisulfite de sodium dans la même proportion. Cela permet d'obtenir une absorbance de l'échantillon suffisamment basse pour assurer la précision des mesures.

9. Remesure de l'absorbance après dilution :

- Une fois diluées, remesurez l'absorbance de la solution d'échantillon diluée par rapport à la solution de référence aux mêmes longueurs d'onde (284 nm et 336 nm).

10. Analyse des données :

- Analyse des données d'absorbance obtenues à 284 nm et 336 nm pour déterminer la concentration de la substance ciblent dans l'échantillon. La teneur en HMF dans le miel est calculée à l'aide de l'équation suivante :

❖ Mode de calcul

La teneur en HMF est exprimée en mg par kg et donnée par la formule suivante (Bogdanov, 2002):

$$HMF \text{ (mg/Kg de miel)} = (A_{284} - A_{336}) * 149,7 * 5 / P$$

S'il y a une dilution :

$$HMF \text{ en mg/kg} = (A_{284} - A_{336}) * 149,7 * 5 * D / P$$

Avec :

- ✓ HMF : quantité d'HMF en mg/kg
- ✓ A₂₈₄ : absorbance à 284 nm
- ✓ A₃₃₆ : absorbance à 336 nm
- ✓ 5 : poids théorique de l'échantillon
- ✓ D : facteur de dilution
- ✓ P : prise d'essai
- ✓ 149,7 : constante

4. Détermination du Taux d'Humidité

Un moyen simple de mesurer l'humidité du miel est de déterminer l'indice de réfraction de ce dernier à l'aide d'un réfractomètre numérique. C'est un appareil optique de précision qui permet d'évaluer le degré Brix à partir de l'indice de réfraction.

4.1 Principe

Le miel est composé de plusieurs substances en solution : des sucres (glucose, fructose, saccharose...), des acides organiques, des minéraux et bien d'autres composés. Selon sa concentration, chacune de ces substances a sa propre influence sur le parcours lumineux. L'indice de réfraction du miel est en quelque sorte la résultante de chacun de ses constituants. La méthode EHC (European Honey Commission) pour la détermination de la teneur en eau du miel établit la corrélation suivante (Dailly, 2006):

$$\% \text{ humidité} = [-0,2681 - \log(n_D^{20} - 1)] / 0,002243$$

– où n_D^{20} : indice de réfraction du miel à 20°C.

4.2. Mode opératoire

L'indice de réfraction, qui permet également d'évaluer le degré Brix, est déterminé grâce à la méthode de la réfractométrie à l'aide d'un réfractomètre numérique de la marque **Bellingham + Stanley (BS)**. Tout d'abord, il est nécessaire de régler le réfractomètre à zéro en utilisant de l'eau distillée (le miel à analyser doit être homogénéisé et parfaitement liquide). Ensuite, déposez une goutte de miel en couche mince sur la platine du prisme à l'aide d'une spatule. Enfin, lancez la lecture pour mesurer directement le taux de sucre et l'indice de réfraction, dont les valeurs seront affichées sur l'écran de l'appareil.

4.3. Influence de la température

La plupart des réfractomètres sont calibrés à une température de 20°C, ce qui doit être pris en considération lors de nos mesures. Certains appareils disposent d'une fonction de correction automatique de la température, tandis que pour d'autres, la correction doit être effectuée manuellement. Pour ramener la valeur mesurée de l'indice de réfraction d'un fluide à une température T en degrés Celsius à une valeur de référence à 20°C, une formule mathématique (fonction affine) peut être utilisée. Cette formule est valide pour de faibles variations de température et est spécifique au miel selon la relation donnée par l'EHC (Dailly, 2006).

$$n_T = n_{20} - 0,00023 \times (T - 20)$$

- où n = indice de réfraction.
- et T = température exprimée en degrés Celsius.

Le **Tableau 07** fournit les corrections nécessaires à apporter à l'humidité du miel en fonction des variations de température.

Tableau 07. Correction à apporter à l'humidité de son miel en fonction de la température.

Température (C°)	17	18	19	20	21	22	23	24
Humidité (%)	+0.273	+0.182	+0.091	0	-0.091	-0.182	-0.273	-0.364

Chapitre III :

Résultats et

Discussion

1. Analyse physico-chimique

1.1. Détermination et analyse des concentrations de HMF dans les différents types de miel

L'HMF, 5-hydroxy-méthyle-furfural, est un produit de dégradation du fructose. Dans le nectar et dans le miel frais l'HMF est inexistant. Cette molécule se forme par déshydratation du sucre. Sa formation est accélérée par la température. C'est donc un des indicateurs de la fraîcheur et du bon conditionnement du miel (Freitag, 2010).

La méthode analytique utilisée pour déterminer la concentration en HMF est la méthode dite de White(1978). Les résultats des analyses des concentrations de HMF dans 10 échantillons de miel de différents types sont présentés dans le **Tableau** suivant :

Types de miel	HMF (mg/Kg)
E1	15,5230467
E2	68,4810933
E3	20,6142067
E4	56,5018933
E5	20,7639467
E6	54,20588
E7	76,8665333
E8	53,7067467
E9	30,84644
E10	28,30086

Tableau 08. Teneur de HMF dans différents types de miel.

La **Figure 09** montre la distribution des concentrations du HMF dans les différents échantillons de miel, avec une ligne pointillée rouge indiquant la moyenne des taux de concentration du HMF, qui est de 42,58 mg/kg. La moitié des échantillons (5 sur 10) qui correspondes à E1, E3, E5, E9 et E10 ont une concentration en HMF inférieure à 40mg/kg (**Figure 10**). Cela suggère qu'ils sont probablement frais et n'ont pas été exposés à des températures élevées pendant le traitement ou le stockage. Ils représentent des miels de haute qualité qui n'ont pas subi de dégradation significative. Le règlement pour le label de qualité pour le miel définit une valeur maximale de 15 mg/kg, valeur plus basse que la valeur légale de tolérance de 40 mg/kg (Kast et al. 2013).

Le faible niveau de HMF est typique des miels qui ont été récemment récoltés et stockés à des températures appropriées. Un miel, récolté depuis peu et sans chauffage particulier, ne contient pas plus de 5 mg d'HMF par kg.

Durant le stockage du miel à température ambiante, il est admis que la concentration en HMF augmente d'environ 5 à 10 mg/kg par an. Le réchauffage réalisé lors du défige âge ou de la refonte peut développer quelques unités d'HMF en plus. Il faut cependant éviter que la température du miel ne dépasse 40°C sous peine d'augmenter sa teneur en HMF rapidement et de limiter sa durée de conservation. Un miel pasteurisé présente par exemple une teneur en HMF plus élevée qu'un miel non chauffé (Massaux, 2016).

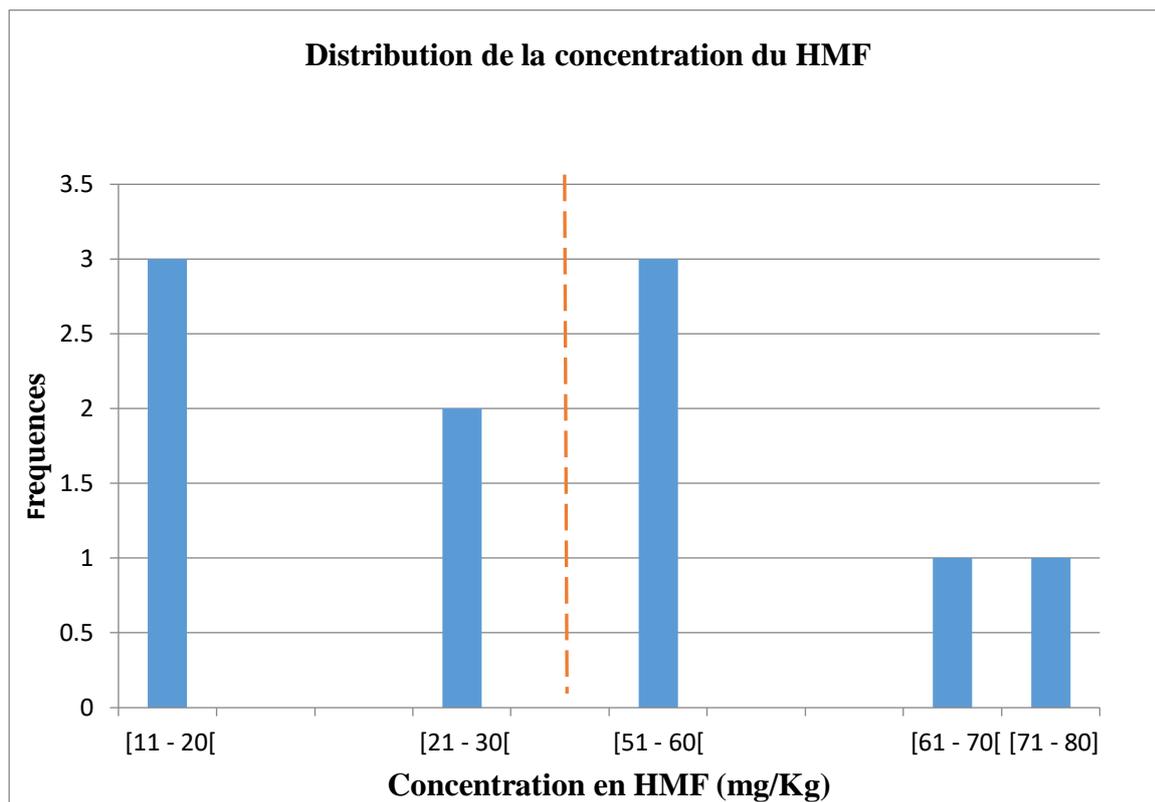


Figure 09. Fréquences de distribution de la concentration du HMF dans différents types de miel.

Les autres échantillons E8, E6, E4, E2 et E7 montrent des concentrations respectivement croissantes qui sont supérieures à 40 mg/kg de HMF mais inférieures à 80 mg/kg. En effet, l'échantillon E7 se distingue avec la concentration la plus élevée de HMF, environ 77 mg/Kg (Figure 10). Cela indique que ces miels sont probablement les plus anciens ou qu'ils ont été soumis à des températures élevées pendant une période prolongée, ce qui a conduit à une augmentation significative du HMF. La formation de HMF dans le miel est influencée par plusieurs autres facteurs. Parmi ceux-ci figurent les propriétés physico-chimiques du miel, comprenant son pH, son contenu en acides libres, son acidité totale, son contenu en lactone et son contenu minéral (Gunbaej et al., 2020).

L'intérêt de déterminer la concentration de HMF est lié à sa toxicité. L'HMF est facilement absorbé par le tractus gastro-intestinal et, une fois métabolisée différents dérivés, comme le 5-chlorométhylfurfural et le 5-sulfidéméthylfurfural, ont montré des effets cytotoxiques, génotoxiques, mutagènes et carcinogènes. Ces découvertes soulignent l'importance de surveiller les niveaux de HMF non seulement comme indicateur de qualité mais aussi pour des raisons de sécurité alimentaire (Truzzi *et al.*, 2012; Gunbaej *et al.*, 2020).

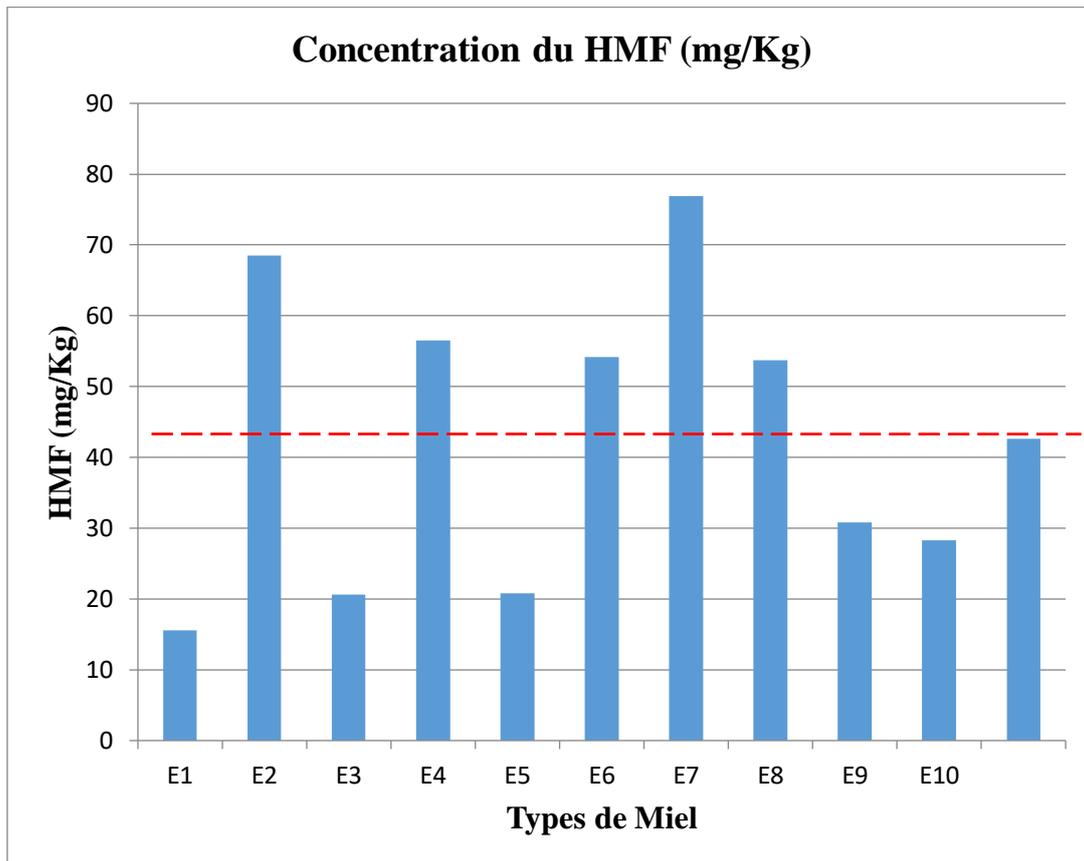


Figure 10. Variation de la concentration du HMF selon les types de miel.

De plus, un miel qui possède une concentration d'HMF élevée, risque d'être altéré. L'effet le plus négatif dans la commercialisation d'un miel altéré se fait ressentir auprès du consommateur. A l'état frais, le miel contient plusieurs composés aromatiques qui lui donne un goût typique qui attire les consommateurs. Ces composés étant très volatiles, un miel soumis à un mauvais traitement subira une altération du goût qui risque d'éloigner ces adeptes de miel à saveur caractéristique (Marceau *et al.* 1994) [4].

1.2. Détermination et analyse de la teneur en eau dans les différents types miel

La teneur en eau permet l'estimation du degré de maturité des miels et renseigne sur sa stabilité biochimique, notamment, sa fermentation et une éventuelle cristallisation aux cours du stockage (Küçük et al, 2007).

Selon les valeurs de l'indice de réfraction retrouvées par réfractomètre, on peut déduire les teneurs en eau des différents miels analysés (locaux et commercialisés) dans notre étude expérimentale qui sont présentés dans le **Tableau** ci-dessous.

Types de miel	Taux d'humidité (%)
E1	16,2481463
E2	15,2163645
E3	14,1823267
E4	16,2481463
E5	16,2481463
E6	17,2815309
E7	16,2481463
E8	16,2481463
E9	16,2481463
E10	16,2481463

Tableau 09. Les Taux d'humidité dans différents types de miel.

La majorité des échantillons de miel étudiés présentent un taux d'humidité très proche de la moyenne, qui est de 16,0417% avec des échantillons variant entre 14,1823 % et 17,2815 % (**Figure 11**) qui correspondent à des indices de réfraction allant de 1,4835 à 1,5012 (voir partie bibliographique : **Tableau 04 de Chataway**).

En effet, sur les dix échantillons sept d'entre eux (E1, E4, E5, E7, E8, E9, E10) ont exactement le même taux d'humidité de 16,2481

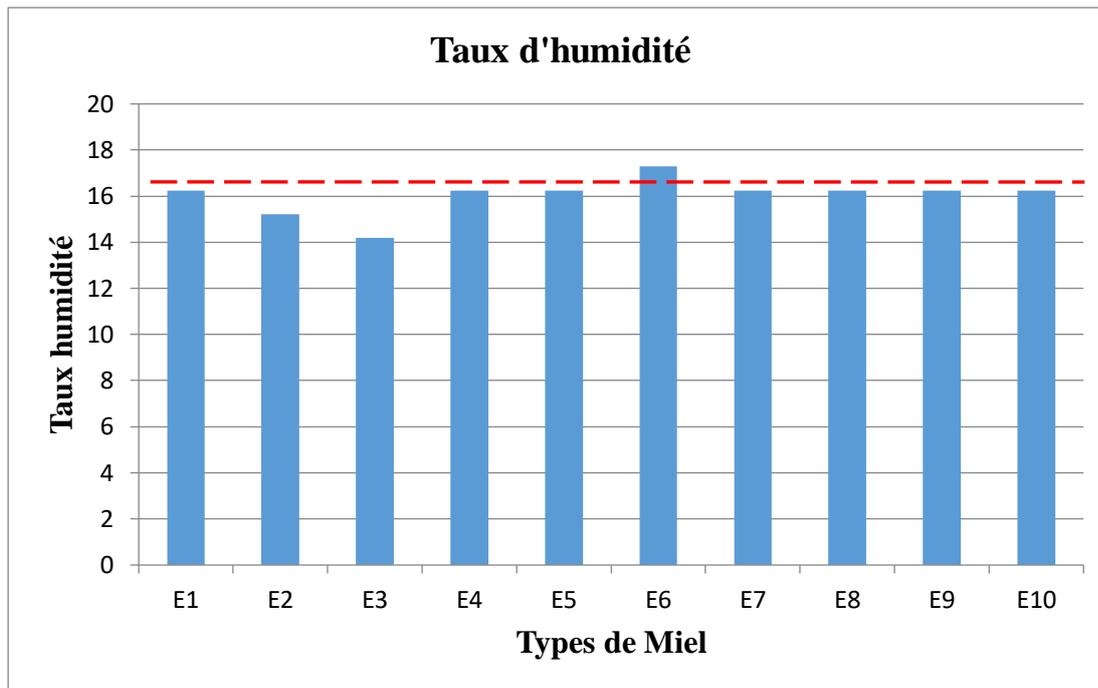


Figure 11. Variation du Taux d’humidité selon les types de miel.

Et qui domine largement la distribution des effectifs comme présenté dans la (Figure 12). Cependant, trois échantillons (E2, E3, E6) se distinguent avec des taux d'humidité différents. L'échantillon E3, identifié comme du miel eucalyptus, a enregistré le taux d'humidité le plus bas de l'échantillon, soit seulement 14,19%. De manière similaire, l'échantillon E2, représentant le miel jujubier, présente également une faible teneur en eau, avec un taux de 15,22%. Tandis que l'échantillon E6 est au-dessus avec un taux de 17,2815.

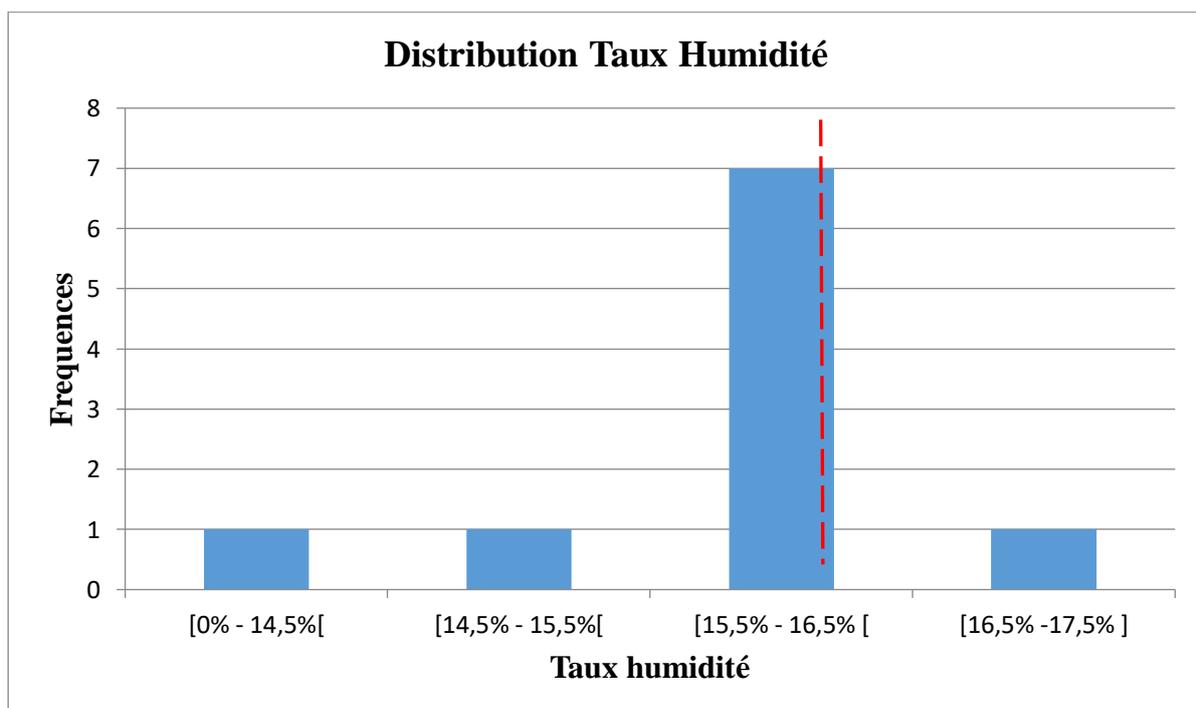


Figure 12. Fréquences de distribution des Taux d’humidité dans différents types de miel.

En comparant les résultats obtenus avec le maximum préconisé par le *Codex Alimentarius* (2001) de 21 % de taux d'humidité, tous les échantillons de miel étudiés se situent largement en dessous de cette limite. Ainsi, aucun des échantillons ne dépasse la limite maximale recommandée par les normes internationales, ce qui indique leur conformité aux critères de qualité établis par le *Codex Alimentarius* en termes de taux d'humidité. Cette conformité est essentielle pour garantir la sécurité et la qualité du miel en tant qu'aliment. Il est à noter que la valeur moyenne du taux d'humidité des miels, selon la bibliographie scientifique, se situe autour de 17 %, ce qui confirme la cohérence de nos résultats avec les connaissances établies **(Hoyet, 2005)**.

La variation de la teneur en eau est due aux différentes conditions environnementales comme : le climat de la région, la saison de la récolte de miel, l'origine florale du miel, les techniques de traitement et les conditions de stockage **(Bogdanov et al., 2004)**. Ces résultats témoignent de la qualité d'un bon miel qui a moins de chances de cristalliser s'il est conservé dans un environnement frais, sec et à l'abri de la lumière directe du soleil. La cristallisation du miel est un processus naturel qui ne signifie pas nécessairement une détérioration de la qualité.

Cependant, un miel avec un taux d'humidité plus élevé est plus susceptible de cristalliser plus rapidement. La cristallisation la plus rapide du miel a lieu quand son taux d'humidité est compris entre 17 et 18%. Au-dessus de 18% de taux d'humidité, le miel va cristalliser moins vite car il est moins « sursaturé » en sucres. En-dessous de 17% de taux d'humidité, le miel devient plus visqueux, ce qui ralentit sa cristallisation malgré une « sursaturation » en sucres plus élevée [1].

De plus, une teneur excessive en eau dans le miel crée un environnement propice à la prolifération de microorganismes. Tous les miels naturels contiennent des levures, responsables des fermentations alcooliques. Lorsque la teneur en eau dépasse 18 % et que la température est excessive, ces levures peuvent se développer, provoquant la fermentation du miel. D'autres micro-organismes présents dans le miel peuvent également entraîner différentes fermentations, telles que lactique, butyrique, acétique, etc. Toutes ces fermentations altèrent considérablement le miel, lui conférant une acidité supérieure à la normale. Un miel fermenté présente généralement des bulles d'air dans sa masse et devient impropre à la consommation **(Rossant, 2011)**.

Conclusion

Conclusion

La concentration en HMF, un composé souvent lié au traitement thermique et au vieillissement, est cruciale pour évaluer la fraîcheur du miel. Les normes du *Codex Alimentarius* fixent une limite maximale de 40 mg/kg pour le HMF dans le miel, avec une limite de 80 mg/kg pour les miels tropicaux. Parallèlement, la teneur en humidité du miel est un autre facteur déterminant sa qualité, affectant sa stabilité et sa résistance à la fermentation. Une teneur en humidité trop basse peut entraîner une viscosité élevée, tandis qu'une humidité excessive peut favoriser la fermentation. Le Codex Alimentarius a établi une limite légale de 20 % pour la teneur en humidité du miel.

L'analyse des données de dix échantillons de miel différents comprenant cinq provenant de la région de Guelma, issus de l'apiculture locale, et cinq autres importés et disponibles dans les supermarchés de la ville montre que la moitié des échantillons examinés E1, E3, E5, E9 et E10 présentent des concentrations de HMF inférieures à 40 mg/kg, ce qui suggère qu'ils sont probablement frais et n'ont pas été exposés à des températures élevées, les classant ainsi comme des miels de haute qualité, sans dégradation notable. Cependant, seul l'échantillon E1 pourrait répondre aux critères stricts du label de qualité pour le miel, bien que sa concentration en HMF (15,52 mg/kg) soit légèrement supérieure à la valeur réglementaire de 15 mg/kg. Ce faible niveau de HMF est caractéristique des miels récemment récoltés et stockés adéquatement, soulignant l'importance du contrôle de la température pendant le stockage pour maintenir la qualité du miel. En revanche, les échantillons E8, E6, E4, E2 et E7 présentent des concentrations croissantes de HMF, dépassant les 40 mg/kg mais reste inférieures à 80 mg/kg, avec E7 présentant la concentration la plus élevée à environ 77 mg/kg. Ces niveaux plus élevés suggèrent un vieillissement avancé ou une exposition prolongée à des températures élevées, ce qui peut entraîner une dégradation significative du HMF et réduire la qualité globale du miel.

L'analyse des taux d'humidité dans les échantillons de miel révèle une distribution principalement homogène, avec sept échantillons E1, E4, E5, E7, E8, E9, E10 affichant un taux identique de 16,2481 %. Néanmoins, trois échantillons se distinguent par leurs valeurs différentes : l'échantillon E3, représentant le miel d'eucalyptus, affiche le taux le plus bas à 14,19 %, tandis que l'échantillon E2, du miel de jujubier, présente une faible teneur en eau avec 15,22 %. En revanche, l'échantillon E6 se situe au-dessus de la moyenne, avec un taux d'humidité de 17,2815 %. L'échantillon E6, avec un taux d'humidité dépassant la moyenne, pourrait connaître une cristallisation plus rapide.

Conclusion

En effet, un taux d'humidité supérieur à 17 % favorise ce processus naturel de cristallisation du miel. En revanche, les autres échantillons dont E3 et E2, avec des taux d'humidité inférieurs à 17 %, pourraient présenter une viscosité plus élevée. En effet, lorsque le taux d'humidité du miel est en dessous de ce seuil, sa viscosité tend à augmenter, même en présence d'une "sursaturation" en sucres, ce qui peut retarder la cristallisation. Ces variations dans les taux d'humidité peuvent être attribuées aux différences entre les sources florales des miels étudiés ainsi qu'aux conditions de récolte et de stockage spécifiques à chaque échantillon.

Par conséquent, la surveillance rigoureuse des niveaux de HMF dans le miel est cruciale pour garantir sa qualité, assurer la sécurité alimentaire et maintenir la satisfaction des consommateurs. Une gestion efficace de la formation de HMF contribuera à préserver la réputation et la valeur du miel sur le marché alimentaire. De même, ces données mettent en évidence l'importance vitale de surveiller et de contrôler attentivement les niveaux d'humidité dans le miel pour garantir sa qualité et sa durabilité. Cette vigilance permet de s'assurer que le miel respecte les normes réglementaires et conserve ses propriétés organoleptiques et nutritionnelles, préservant ainsi sa valeur sur le marché alimentaire et la satisfaction des consommateurs.

Référence Bibliographique

Acquarone, C., Buera, P. et Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry*, 111: 695–703.

Aitlounis Lydia. (2012). Comparaison des caractéristiques physiques, polliniques, microbiologiques et organoleptiques de quelques miels locaux et ceux d'importation commercialisés, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques spécialité Technologie Alimentaire, Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Almajdoby and Njawa M. Alwahij. 2020. Evaluation of 5-Hydroxymethylfurfural (HMF)

Anchling F. (2005). Juin, sommet de développement des colonies, mais quid de la première récolte. *Revue j'abeille de France* N° 915. 07p.

Azeredo L. C., Azeredo M. A. A., Souza S.R., Dutra V.M.LL. (2003). Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food chemistry*. 80 ,p 249-254.

Bakchiche, B., Habati, M., Benmebarek, A., &Gherib, A. (2018). Caractéristiques physico-chimiques, concentrations des composés phénoliques et pouvoir antioxydant de quatre variétés de miels locales (Algérie). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6(1), 118-123.

Barcelo, D. (2013). *Comprehensive analytical chemistry*. In “Honey Authenticity and traceability”. Ed. Elsevier. Science & Technology: 512-530

Belay, A., Solomon, W.K., Bultona, G., Adgaba, N. et Melaku, S. (2013). Physicochemical properties of the Harena forest honey, Bale, Ethiopia. *Food Chemistry*, 141: 3386-3392.

Belhaj O., Oumato J., & Zrira, S. (2015). Étude physico-chimique de quelques types de miels marocains. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(3), 71-75.

Biri M., 1986. L'élevage moderne des abeilles. Manuel pratique. Ed DEVECCHI.S.A. (Paris), p 91.

Blanc, M. (2010). Propriétés et usage médical des produits de la ruche. Thèse de doctorat, Univ. Limoges, 142 p

Bogdanov S., Bieri K., Gremaud G., Iff D., Kanzig A., Seiler K., Stockli H. et Zurcher K., (2003) - Produits Apicoles. 23 A Miel, 1-37.

Bogdanov S., Bieri K., Kilchenmann V., Gallman P., Dillier F. X. (2007). Les procréons à l'œuvre dans la production du miel de forêt. Centre suisse de recherche apicoles Station de recherche AgroscopeLiebefeld-Posieux ALP.5p.

Bogdanov S., Ruoff K., Oddo L. P. (2004). Physic-chemical methods for the characterization of unifloral honeys, a review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), p4-17.

Bogdanov S; Matzke, A (2003). La propolis un antibiotique naturel. Edition VDB 6235 Winikon ; 72 pp.

Bonté, F et Desmoulière, A. (2013). Le miel : origine et composition, Elsevier Masson, 531: 17-21 p.

Bonté, F., &Desmoulière, A. (2013). Le miel: origine et composition. *Actualités pharmaceutiques*, 52(531), 18-21.

Bradbear N. (2011). Le rôle des abeilles dans le développement rural manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles .FAO. ISBN 978-92-5-206276-9, p100.

Bruneau E. (2002). Le miel. In «Le Traité Rustica de l'Apiculture». Edition Rustica, p: 354-364.

Bruneau E. (2009). Les produits de la ruche. In Le traité rustica de l'apiculture. Paris, Rustica. pp. 354-387.

Bruneau E.(2012). Nectaires et nectar. Fiche technique.

Bruneau E., (2005). « Voyage au cœur du miel », Edition resp, 5 p

Bruneau E., 2008. Humidité du miel, attention. Abeille & Cie, vol.35, n°124, p.p.28-29.

Can, Z. Yaldiz, O. Sahim, H. Turumtay, E.A, Silici, S. &Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: their physic-chemical Properties, antiorycht capacities and phenolic profiles. *FoudChemistry*, 180: 133-141.

Cavelier E. (2013). Le Miel : Composition et Techniques de Production. Mémoire de Master. ESIT – Université Sorbonne Nouvelle – Paris 3.

Chauvin. R (1968). Actions physiologiques et thérapeutiques des produits de la ruche, in Traité biologique de l'abeille, Tome 3. Édition Masson de Cie, Paris. Pp: 116-155.

Chelighoum A. (2011). Etude comparative de deux méthodes de récolte de miel (unique et partielles) dans la Mitidja. Diplôme de Magister. Département de Production Animales. Ecole National Supérieure Agronomique- El Harrach-Alger.

Clément Henri. (2002). Guides des miels 40 miels à découvrir. Paris, éditions Rustica. 64p.

Clément M.C. (2002). Méllissopalynologie en Nouvelle-Calédonie, importance des spectres pollinique dans la typification de miels. Diplôme de l'école pratique des hautes études, Nouvelle-Calédonie, p77.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION (2001). Codex standard 12, Revides Codex Standard for honey, p : 1-

Codex standard (12-1981, 1987 2001): Codex Alimentarius commission Standards.

CodexS. (1987). Revised Codex Standard for Honey Codex Stan 12-1981.

Cristina Truzzi, Anna Annibaldi, Silvia Illuminati, Carolina Finale, Monica Rossetti,

Dailly H. (2008). Le réfractomètre, un outil essentiel. abeilles & cie. N°122.

Deblock A. C., Reims C. L. (2011). Le miel. Au bon miel.

Donadieu Y. (1984). Le miel thérapeutique. 2ème Ed Maloine S.A .Paris. 28p.

Donadieu Y., (1984.) Le miel : thérapeutique naturel. 3ème édition. Paris, 61p.

Donadieu Y., (2008) Les Produits De La Ruche. Thérapeutiques naturelles. Edit, Maloine S. A, Paris

Donadieu. Y. (1982). Pollen : thérapeutique naturelles. 5 ème Ed Maloine S.A Paris. 31p.

Draiaia R., 2016. Caractérisation physico-chimique et appellation botanique des miels Algériens (Cas des ruches langstroth). Thèse doctorat en biochimie Université Badji Mokhtar, Annaba. P8.

Elhadi E. Gunbaej ,Tariq A. Ahabaal , Heba Y. Al zahaf , Hanady N. Alhaj , Maha A.

Élodie Cavelier. (2013) Le miel. composition et techniques de production. Mémoire de master de traduction italien-français. Université Sorbonne Nouvelle – Paris 3, 121 p.

Emmanuelle H., Julie C. et Laurent G., (1996) .Les Constituants Chimiques du Miel. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaire. APISERVICES, Galerie Virtuelle apicole.

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, 851–856.

FerroudjaBourkache et Cécile Perret. 2014. La filière apicole dans les Wilayate de Tizi-

FreytagIzabela. 2010. Du changement dans les analyses. Abeilles& Cie. N° 135. furaldehyde (HMF) in Natural Honey: Comparison Between the HPLC Technique and the

Gheriat H. Etre performant en apiculture. Rucher de Tilleul, Daussois, 2000.

Gonnet M. (1982). Edition UNAF Paris 1985.le gout du miel.

Gonnet M., (1982).Le miel ; composition, propriétés, conservation. Ed. INRA station Expérimentale d'apiculture, 1-18, 22, 31p.

Gonnet. M, Vache. G, (1985). Le gout de miel. Ed. UNAF, Paris. 150p.

Hoyet, C. (2005).Le miel, de la source à la thérapeutique (Thèse d'Etat, Université Henri Poincaré-Nancy 1, Nancy) ,17-19-106 p.

Huchet. E, Coustel. J, Guinot. L. (1996). Les constituants chimiques du miel. Méthode d'analyse chimique. Département de science et l'aliment. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaire. France.1-3- 16-19 p.

James O., Mesubi M A., Usman L A., YEYE S O., Ajanku K O., Ogunniran K O., Ajani O., Siyanbola T O., 2009. Physical characterization of some honey samples from North-Central Nigeria. International Journal of Physical Sciences, vol.4, Septembre, p.p.464-470.

Jean-Prost P. (2005). Apiculture ; Connaitre l'abeille, Conduire Le Rucher (7ème édition). Edition Tec & Doc. p : 379-419.

Jean-Prost P. et Le Conte Y. (2005). Apiculture: connaitre l'abeille. conduire le rucher. 7ème édition. Edition TEC & DOC Lavoisier. 697 p.

JEAN-PROST. P. (1987). L'apiculture. Connaître l'abeille .conduire le rucher. 6 ème édition Lavoisier.597p.

Jelen, H. (2012). Food flavors: chemical sensory technology properties. E. Taylors&Francis Group, LLC: 389-390.

Kast Christina, Freiburghaus Carola, Badertscher René, Simonet Leo et Ritter Ruedi.2014. Analyses du miel de 2013 dans le cadre du programme du label de qualité d'apiculture. Revue Suisse d'Apiculture. N°8.

Khan, R. U., Naz, S., &Abudabos, A. M. (2017).Towards a better understanding of the therapeutic applications and corresponding mechanisms of action of honey. Environmental Science and Pollution Research, 24(36), 27755-27766.

Killian M. (2023). Détection des fraudes en sucres dans les miels : appui au développement d'une méthode se basant sur la technique HPAEC-PAD. Thèse de Doctorat. Ecole polytechnique de Louvain, Université catholique de Louvain.Belgique.

Lequet L. (2010). Du Nectar au Miel de Qualité: Contrôle Analytique du Miel et Conseils Pratiques à l'Intention de l'Apiculteur Amateur. Thèse de Doctorat Vétérinaire. Université Claude-Bernard Lyon I, France.levels in Honey Produced in Western Libya. Libyan Journal of Food & Nutrition (1):1: pp 52- 64

Lobreau-Callen D., Marmion V. and Clément M-C. (1999). Les miels. In « Techniques de l'ingénieur »: 1-20.

Louveaux J, (1968): L'analyse pollinique des miels, in Traité biologique de l'abeille, Tome 3. Edition Masson de Cie, Paris. Pp. 324-361.

Louveaux J., (1985). Les abeilles et leur élevage. Edition Opida, 165-181 p.

Louveaux, J., Pessent, P. (1984) .Edition INRA .PARIS pollinisation et production végétales .pages 565,566.

Marceau Jocelyn, Noreau Jean et Houle Émile. 1994. Les HMF et la qualité du miel. L'abeille, automne. Vol. 15, N° 2.

Marchenay P, Berard L. (2007). L'homme, l'abeille et le miel. Editions De Borée, Romagnant, 224 p.

Marini M J., Magri A L., Balestrieri F., Fabretti F., Marini D., 2004. Supervised pattern Recognition applied to the discrimination of the floral origin of six types of Italian honey samples. Analytica Chimica Acta, vol.515, mars, p.p.117-125.

Massaux Carine. (2016). Des miels étoilés. Abeilles & Cie. N° 171.

Mokademm T., (1998). Contribution à l'analyse physicochimique et pollinique du miel d'oranger, région de Mitidja. Mémoire d'ingénieur en agronomie. Département de biotechnologie. Université de Blida-1-.

Morse R., Lisk DJ. (1980). Elemental analysis of honeys from several nations. Am Bee.J.522-523.

Nair S., (2006) : Biodiversité végétale et qualité du miel dans la région nord-ouest Algérienne. Mémoire de magister d'écologie.

Nair S. (2014). Identification des plantes mellifères et analyses physicochimiques des miels Algériens. Thèse de Doctorat en Biologie. Université d'Oran. p 202.

Nicolay J. (2014). Perspectives d'avenir en Apithérapie à l'officine(en ligne) Thèse d'exercice : Pharmacie Université Angers, p 208.

Ouchemoukh, S., Louaileche, H., & Schweitzer, P. (2007). Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. Food Control, 18(1), p: 52-58.

Philippe Jean Marie. 1999. Le guide de l'apiculture. Ed sud la calade .13090 Aix-en-Provence, pp 209-228.

Pierre Jean-Prost. (2005). Apiculture, connaître l'abeille, conduire le rucher.7^{ème} Edition, J.B. BAIUIERE, Paris.

Pulus H., Kwakman S. Sebastian A. j. Zaat. (2012).Antibacterial Components of honey. IUBMB Life. 64 (1): 48-55.

Rossant A. (2011) .Le miel, un compose complexe aux propriétés surprenantes. Thèse de doctorat, Univ. Limoges, 136 p. Tizi Ouzou et de Blida : une ressource territoriale en devenir.

Rossant A. (2011) .Le miel, un compose complexe aux propriétés surprenantes. Thèse de doctorat, Univ. Limoges, 136 p.

Schweitzer P, (2005). Encore des miels hors normes. Revue L'abeille de France N°917 .laboratoire d'analyse et d'écologie apicole. 03p.Spectrophotometric White Method. Journal of Food Science. Vol. 77, N° 7.

Terrab A., González, A. G., Díez, M. J. & Heredia, F. J. (2002). Characterization of Moroccan unifloral honeys using multivariate analysis. Food Chemistry, 79, p: 373-379.

White, J. W. (1979). Sugar and Sugar Products: Spectrophotometric Method for Hydroxymethylfurfural in Honey. Journal of the Association of Official Analytical Chemists : 62, 509.

Zarei, M., Fazlara, A., & Tulabifard, N. (2019). Effect of thermal treatment on physicochemical and antioxidant properties of honey. Heliyon, 5(6), e01894.

Références webographiques

[1] : <https://tunisia.un.org/fr/232873-nouveau-projet-de-la-fao-et-partenariat-avec->

[1%E2%80%99uma-pour-pr%C3%A9server-et-d%C3%A9velopper-1%E2%80%99apiculture](https://tunisia.un.org/fr/232873-nouveau-projet-de-la-fao-et-partenariat-avec-1%E2%80%99uma-pour-pr%C3%A9server-et-d%C3%A9velopper-1%E2%80%99apiculture)

[2] : <https://algerie-medinfo.dz/archive/index.php/actualite/6314-la-production-nationale-de-miel-a-presque-double-durant-les-10-dernieres-annees>

[3] : <https://mesabeilles.fr/wp-content/uploads/2024/02/Trophallaxie-abeilles.jpg>

[4] : <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQqoTLOSU701O6TD9DZh5CAiLUpSRUV964FuQ&as>

[5]: <https://www.miel-du-kleinfeld.com/blogs/le-miel/le-miel-la-cristallisation-du-miel>

[1] : <https://www.labeilledecompanie.fr/wp-content/uploads/2013/06/Du-nectar-au-miel-final-5p.pdf>

Les annexes

Annexe 01 : Matériel et réactif utilisés dans notre étude.

Appareillages	Réactifs	Autres matériel
<ul style="list-style-type: none">- Réfractomètre numérique- Balance analytique- Spectrophotomètre	<ul style="list-style-type: none">- Ferrocyanure de potassium ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$)- Acétate de zinc ($Zn(CH_3CO_2)_2 \cdot 2H_2O$)- Bisulfite de Sodium ($NaHSO_3$)	<ul style="list-style-type: none">- Bécher de 50ml- Fiole volumétrique de 50ml- Pipette graduée- Pince- Eprouvette- Papier filtres- Étiquettes- Tubes à essai

**Annexe 02 : Tableau des résultats de la teneur en hydroxy-méthylfulfural
(HMF) des échantillons de miel analysés.**

Echantillon		1 ^{er} lecture		2eme lecture		3eme lecture	
		Référence	Échantillon	Référence	Échantillon	Référence	Échantillon
E1	284nm	0.146	0.306	0.155	0.293	0.198	0.299
	336nm	0.035	0.063	0.039	0.067	0.026	0.058
E2	284nm	0.793	0.347	0.717	0.370	0.732	0.330
	336nm	0.219	0.018	0.218	0.043	0.222	0.026
E3	284nm	0.249	0.304	0.246	0.310	0.250	0.345
	336nm	0.080	0.105	0.077	0.102	0.076	0.125
E4	284nm	0.642	0.767	0.640	0.759	0.630	0.765
	336nm	0.239	0.269	0.237	0.256	0.228	0.255
E5	284nm	0.162	0.319	0.173	0.333	0.177	0.329
	336nm	0.028	0.029	0.033	0.032	0.038	0.035
E6	284nm	0.614	0.918	0.606	0.880	0.608	0.916
	336nm	0.230	0.248	0.237	0.241	0.230	0.253
E7	284nm	0.863	0.929	0.864	0.932	0.855	0.923
	336nm	0.345	0.345	0.340	0.350	0.349	0.347
E8	284nm	0.687	0.288	0.681	0.241	0.688	0.317
	336nm	0.228	0.038	0.226	0.033	0.230	0.027
E9	284nm	0.345	0.370	0.306	0.411	0.385	0.394
	336nm	0.140	0.118	0.122	0.128	0.154	0.172
E10	284nm	0.263	0.623	0.251	0.648	0.265	0.649
	336nm	0.098	0.086	0.096	0.058	0.099	0.068

Annexe 03 : tableau des résultats de Brix et l'indice de réfraction

Echantillon	Brix	Indice de réfraction
E1	82.3	1.49597
E2	82.5	1.49862
E3	83.7	1.50129
E4	81.9	1.49597
E5	82.0	1.49597
E6	81.4	1.49333
E7	82.2	1.49597
E8	81.5	1.49597
E9	82.4	1.49597
E10	82.3	1.4969