

Caractérisation physico-chimique des miels collectés dans la région de Béni Mellal-Khénifra

Mourad CHIKHAOUI¹, Chaimaa ELAGDI¹, Wadi BADRI¹, Jamal MOUSLIM¹, Houda EL HAJJOUJI¹

(Reçu le 29/02/2024; Accepté le 06/03/2024)

Résumé

Pour étudier leur qualité physico-chimique, quatre types de miel ont été échantillonnés dans la région de Beni Mellal-Khénifra au Maroc: miel d'agrumes, miel d'euphorbe, miel d'anis et miel de caroube. Six paramètres physico-chimiques ont été analysés: teneur en humidité, conductivité électrique, teneur en cendres, pH, hydroxyméthylfurfural (HMF) et la teneur en sucres. Les résultats ont montré des différences significatives dans la composition physico-chimique entre les divers échantillons de miel analysés. À l'exception du miel d'agrumes, tous les autres échantillons de miel sont conformes aux normes de qualité établies.

Mots-clés: Miel, Béni Mellal-Khénifra, Caractéristiques physico-chimiques

Physico-chemical characterization of honeys collected in the Beni Mellal-Khenifra region

Abstract

In order to study their physico-chemical quality, four types of honey were sampled from Beni Mellal-Khenifra region in Morocco: citrus honey, euphorbia honey, carob honey and anise honey. Six physico-chemical parameters were analyzed: moisture content, electrical conductivity, ash content, pH, hydroxymethylfurfural (HMF) and sugar content. The results showed significant differences in the physico-chemical composition among the analyzed honey samples. With the exception of citrus honey, all other honey samples comply with established quality standards.

Keywords: Honey, Beni Mellal-Khenifra, Physico-chemical characteristics

INTRODUCTION

Le miel est décrit comme étant une substance sucrée d'origine naturelle, produite par les abeilles mellifères à partir du nectar des fleurs ou du miellat (Codex Alimentarius, 2001). Sa composition dépend principalement de plusieurs éléments tels que son origine géographique, la saison, la santé de la colonie, les conditions environnementales et les pratiques apicoles utilisées (El-Metwally, 2015; Kaškonienė *et al.*, 2010; Leite *et al.*, 2000). Sa composition est hautement diversifiée, incluant l'identification de plus de 200 substances distinctes (Raeesi *et al.*, 2013), principalement les sucres qui représentent environ 95 % de sa composition, avec une prédominance du fructose et du glucose (Bogdanov *et al.*, 2004; Küçük *et al.*, 2007). Ensuite, l'eau constitue le second composé majeur du miel avec un taux qui varie de 17,5 à 21,0 % (Codex Alimentarius, 2001). Il contient également des éléments mineurs, dont des acides aminés, des enzymes, des protéines, des vitamines, des minéraux, des cendres, des acides organiques et des composés phénoliques (Ouchemoukh *et al.*, 2007). Vu la complexité de la composition chimique du miel, les organisations internationales de normalisation telles que la commission du Codex Alimentarius et la commission internationale du miel ont établi des normes de caractérisation physico-chimiques dans un but de certifier la qualité du miel et de détecter toute non-conformité (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001).

Au niveau national, l'apiculture bénéficie du soutien gouvernemental grâce au Plan Maroc Vert (PMV), qui vise à atteindre une production annuelle de 16 000 tonnes de miel (Moujanni *et al.*, 2017). Par ailleurs, le miel constitue un ingrédient principal de l'alimentation et de la médecine

populaire au Maroc (Chikhaoui *et al.*, 2023). En conséquence, sa consommation par habitant (0,52 à 0,75 kg/an) est relativement élevée par rapport à celle des pays voisins tels que l'Algérie (0,20 kg/an) et la Tunisie (0,17 à 0,20 kg/an) (Haderbache et Mohammedi, 2015; Hussein, 2000; Moujanni *et al.*, 2017). Selon le Haut-Commissariat au Plan, la région de Béni Mellal-Khénifra occupe le troisième rang national en termes de production de miel, enregistrant une production annuelle de 274 tonnes en 2017 (HCP, 2017). Cependant, il convient de souligner qu'une part significative de cette production, soit 50 %, est vendue à travers des circuits informels traditionnels sans contrôle de la qualité (Moujanni, 2017). Cette situation met en doute l'authenticité du produit et le rend sujet à des risques d'adultération. Par conséquent, cela peut entraîner une diminution de certains bienfaits nutritionnels et médicinaux par rapport au miel pur (Aljohar *et al.*, 2018).

Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser la composition physico-chimique de quatre variétés du miel produit dans la région de Béni Mellal-Khénifra, et à vérifier leur conformité aux normes de qualité.

MÉTHODOLOGIE

Collecte d'échantillons du miel

Cette étude porte sur quatre échantillons de miel issus de différentes localités de la région de Béni Mellal-Khénifra, collectés entre mars et octobre 2021 (Tableau 1). Tous les échantillons de miel ont été filtrés avec une gaze stérile pour éliminer les débris, et conservés dans des récipients en verre stériles hermétiquement fermés à 4°C dans l'obscurité jusqu'à leur utilisation (Bogdanov et Blumer, 2001).

¹ Laboratoire d'Écologie et d'Environnement, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Université Hassan 2, Casablanca, Maroc

Analyses physico-chimiques

Teneur en eau

Les échantillons de miel ont été mis dans un bain-marie à 50°C ($\pm 0,2$) jusqu'à homogénéisation (tous les cristaux de sucre soient dissous). Par la suite, les solutions ont été laissées refroidir à température ambiante. La mesure de la teneur en eau (g/100 g) est effectuée à l'aide d'un réfractomètre numérique de type Atago (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001).

Conductivité électrique (CE)

Pour déterminer la CE de tous les échantillons, nous avons dilué 20g de miel dans 100 mL d'eau distillée pour avoir une solution de 20 % (p/v). La méthode est basée sur la mesure de la résistance électrique de la solution préparée à $20 \pm 0,50$ °C à l'aide d'un conductimètre portable (HI99300) (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001).

pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre numérique (Sen-sion+ MM 374 GLP) calibré par des solutions étalons (4,0; 7,0; 10,0) dans une solution de miel à 10% (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001).

Teneur en cendres

Pour chaque échantillon, 5 g de miel (P0) additionnés de quelques gouttes d'huile d'olive ont été mis dans un creuset pesé préalablement (P2), l'ensemble a été incinéré à 600°C pendant une heure. Après refroidissement dans un dessiccateur, les creusets ont été pesés (P1) (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001). La Teneur en cendres en g/100 g de miel est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = (P1 - P2 / P0) / 100$$

Teneur en Hydroxyméthylfurfural (HMF)

La teneur en HMF est mesurée par la méthode de Winkler décrite parmi les méthodes harmonisées de la commission internationale des miels (Bogdanov *et al.*, 2002). Cette méthode repose sur la mesure par spectrophotométrie d'absorption moléculaire de l'absorbance de l'HMF combinée avec l'acide barbiturique et la paratoluidine à une longueur d'onde $\lambda = 550$ nm.

Teneur en sucres

La détermination des sucres a été réalisée par HPLC selon la méthode décrite par Aljohar *et al.* (2018) avec quelques modifications. Des solutions étalons de fructose (2 g/l), glucose (2 g/l) et saccharose (0,5 g/l) ont été préparées dans de l'eau distillée. L'analyse HPLC a été réalisée en utilisant une chromatographie liquide couplée à un détecteur à indice de réfraction (LC-RID). La séparation a été effectuée à l'aide d'une colonne de glucides Aminex HPX-87H Column 300 x 7,8 mm.

L'analyse chromatographique a été réalisée avec un mélange de 80:20 v/v d'eau distillée et d'acétonitrile comme phase mobile. Le volume d'injection a été de 20 μ L avec un débit de 1,5 mL/min, la température de la colonne a été réglée à 30°C et la durée d'analyse a été fixée à 30 min.

Tableau 1: Origines botanique et géographique des échantillons de miel étudiés

Types de miel	Origines botaniques	Localités	Dates de récolte
Agrumes	<i>Citrus</i>	Tadla	Mars 2021
Euphorbe	<i>Euphorbia</i>	Tagzirt	Juillet 2021
Caroube	<i>Ceratonia siliqua</i>	El Ksiba	Octobre 2021
Anis	<i>Pimpinella anisum</i>	Souk Sebt	Octobre 2021

Analyses statistiques

Une analyse de la variance associée au test de Tukey a été employée pour évaluer les différences entre les échantillons de miel, et une valeur de $P < 0,05$ a été considérée comme significative. Les corrélations entre les paramètres analysés ont été calculées à l'aide des coefficients de corrélation de Pearson (r) avec un niveau de signification de 95 % ($P < 0,05$).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour évaluer la conformité de nos échantillons de miel aux normes internationales, nous avons examiné les paramètres physico-chimiques couramment utilisés comme des indicateurs de qualité et de stabilité du miel. Nous avons suivi les méthodes d'analyse officielles de la commission du Codex Alimentarius ainsi que les méthodes harmonisées établies par la commission internationale du miel (Bogdanov *et al.*, 2002; Codex Alimentarius, 2001).

Les principaux résultats des paramètres physico-chimiques (Teneur en eau, CE, Teneur en cendre, pH, et teneur en HMF) mesurés au niveau des différents types de miel étudiés sont répertoriés dans le tableau 2. Chaque test a été réalisé en triple et les résultats sont rapportés en utilisant la moyenne \pm l'écart-type.

Teneur en eau

La teneur en eau est un paramètre lié au degré de maturité du miel. IL est responsable de la stabilité et la durabilité du produit pendant le stockage (Bagdanov *et al.*, 1999). Le miel très humide a souvent tendance à subir une fermentation, étant donné qu'il existe une corrélation entre le degré d'humidité du miel et la présence de levures, favorisant ainsi ce processus de fermentation (Rostislav *et al.*, 2016; Zamora *et al.*, 2006). Cependant, une faible teneur en humidité aide à prolonger la durabilité du miel lors de sa conservation (Terrab *et al.*, 2003). Dans notre étude, les valeurs obtenues ont révélé des différences très significatives entre les différents échantillons de miel étudiés ($P < 0,0001$), avec des mesures allant de 17,5 g/100 g pour le miel d'agrumes à 20,5 g/100 g pour le miel d'anis et une moyenne de 19,0 g/100 g (Tableau 2). Ces mesures ont été inférieures à 21 %, le maximum recommandé par les normes internationales (Codex Alimentarius, 2001). Ces résultats sont révélateurs d'une bonne conservation des miels étudiés.

La teneur moyenne en eau dans notre étude (19,0 g/100 g) concorde avec 19,7 g/100 g signalée par Belhaj *et al.* (2015) pour des échantillons de miel de la région de Béni Mellal-Khénifra. Cependant, elle se révèle légèrement plus élevée que celles du miel marocain de la région du Massif d'Ifni (18,5 g/100 g) (Bettar *et al.*, 2019).

La disparité observée entre les études pourrait être attribuée aux variations climatiques significatives entre les zones d'étude. En effet, le Massif d'Ifni est une région aride saharienne relativement sèche par rapport à la région de Béni Mellal-Khénifra. Le miel, étant intrinsèquement hygroscopique en raison de la forte teneur en fructose, a la capacité d'absorber l'humidité de l'air ambiant (Hadjam et Necili, 2022). Cette propriété pourrait être accentuée dans des régions plus humides, potentiellement influençant la teneur en eau du miel récolté.

Conductivité électrique (CE)

Les résultats de notre étude ont montré des différences très significatives ($P < 0,0001$). Ainsi, les miels d'agrumes et d'anis ont présenté les valeurs de la CE les plus élevées (121,5 et 117,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement). En revanche, les miels d'euphorbe et de caroube ont montré les valeurs les plus faibles (74,2 et 93,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement) (Tableau 2). Ces résultats sont inférieurs au maximum préconisé par les limites standards ($< 800 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Codex Alimentations, 2001).

La valeur moyenne de la CE dans notre étude (101,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est inférieure à celles trouvées dans l'étude de Belhaj *et al.* (2015) et Bettar *et al.*, (2019) (274 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement). Cette variation de la CE pourrait être attribuée à l'origine botanique ou à des variations des saisons de la récolte du miel (Belhaj *et al.*, 2015).

Teneur en cendres

La teneur en cendres est un indicateur de qualité qui dépend de l'origine botanique du miel. Les résultats de cette étude ont mis en évidence des variations très significatives de teneur en cendre parmi les types de miel analysés ($P < 0,0001$). Les miels d'anis et d'agrumes ont montré les valeurs les plus élevées (0,48 et 0,51 g/100 g, respectivement) et les miels d'euphorbe et de caroube ont présenté les plus faibles teneur en cendres (0,34 et 0,38 g/100 g, respectivement) (Tableau 2). Ces valeurs sont conformes à la législation internationale (moins de 0,6%) (Codex Alimentations, 2001).

La valeur moyenne des cendres trouvée dans cette étude (0,43%) est inférieure à celles obtenues pour les miel égyptien et yéménite (1,07% et 2,33%, respectivement). Mais elle est supérieure à celle enregistrée pour le miel d'Arabie saoudite (0,23%) (El Sohaimy *et al.*, 2015). Ces différences de teneur en cendres sont directement liées aux variations de concentration en sels minéraux entre les différents types de miel analysés (Krauze et Zalewski, 1991).

pH

Les valeurs du pH de nos échantillons de miel tendent vers l'acidité avec des variations très significatives ($P < 0,0001$), elles sont comprises entre 3,49 pour le miel d'agrumes et 3,78 pour le miel d'euphorbe (Tableau 2). Ces valeurs sont comparables à celles signalées pour d'autres miels originaires de l'Inde, du Brésil, de l'Espagne et de Turquie, qui présentent un pH compris entre 3,49 et 3,97 (Azeredo *et al.*, 2003; Saxena *et al.*, 2010).

Le pH du miel est affecté par les conditions de traitement et de stockage. Une acidité extrême révèle une fermentation des sucres présents dans le miel en acide organique (Rostislav *et al.*, 2016). C'est également un indicateur d'une teneur élevée en minéraux (El-Metwally, 2015). Les valeurs du pH obtenu dans notre étude sont conformes à la limite standard (pH: 3,5 à 4,5) (Codex Alimentarius, 2001), cela pourrait témoigner des bonnes conditions de récolte et de conservation des échantillons étudiés (Bogdanov *et al.*, 2008).

La variabilité du pH entre échantillons de miel pourrait être attribuée à la diversité de la flore butinée, l'impact de la sécrétion salivaire des abeilles, ainsi que les processus enzymatiques et fermentatifs qui surviennent au cours de la transformation de la matière première (Belhaj *et al.*, 2015).

Teneur en HMF

L'analyse spectrométrique des échantillons de miel a révélé des différences très significatives de teneurs en HMF ($P < 0,0001$), allant de 13,4 à 21,0 mg/kg avec une valeur moyenne de 20,0 mg/kg (Tableau 2). Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par Belhaj *et al.* (2015) situant entre 3,87 et 100 mg/kg, ainsi que de ceux enregistrés par Bettar *et al.* (2019) situant entre 2,45 et 85,5 mg/kg.

La teneur en HMF est largement reconnue comme un indicateur de fraîcheur pour les échantillons de miel, elle est absente du miel frais immédiatement stocké par les abeilles et a tendance à augmenter avec le vieillissement du miel (Gomes *et al.*, 2010). Les valeurs obtenues dans notre étude sont en dessous des limites établies par le Codex Alimentarius (2001), fixées à moins de 60 mg/kg, garantissant ainsi la fraîcheur de ces échantillons de miel.

Analyse des sucres

Les sucres sont des composants majeurs dans tous les types de miel. On estime qu'environ 25 sucres différents ont été détectés dans le miel (Soylu *et al.*, 2015). Leur dosage est considéré comme un bon critère pour identifier l'origine botanique du miel (Louveaux, 1968).

Tableau 2: Paramètres physico-chimiques des échantillons de miel étudiés

Paramètres physico-chimiques	Types de miel				Analyse statistique	
	Agrumes	Euphorbe	Caroube	Anis	F	p
Teneur en eau g/100 g	17,5 ± 0,667 ^a	18,9 ± 0,667 ^b	19,3 ± 0,133 ^c	20,5 ± 0,133 ^d	143,6	<0,0001
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	121,5 ± 0,300 ^a	74,2 ± 0,285 ^b	93,2 ± 0,145 ^c	117,6 ± 0,233 ^d	79665	<0,0001
Teneur en cendre (%)	0,51 ± 0,006 ^a	0,34 ± 0,006 ^b	0,38 ± 0,006 ^c	0,48 ± 0,006 ^a	142,0	<0,0001
pH	3,49 ± 0,003 ^a	3,78 ± 0,011 ^b	3,66 ± 0,003 ^c	3,54 ± 0,003 ^d	391,2	<0,0001
HMF (mg/kg)	20,9 ± 0,094 ^a	25,7 ± 0,231 ^b	19,8 ± 0,159 ^c	13,6 ± 0,307 ^d	544,4	<0,0001

$P < 0,05$: significatif; $P < 0,01$: hautement significatif; $P < 0,001$: très hautement significatif. a, b, c, d: Des lettres différentes indiquent des différences significatives.

Les sucres réducteurs constituent la part prédominante des sucres contenus dans le miel, ils sont représentés principalement par le fructose et le glucose (Belhaj *et al.*, 2015). Les principaux résultats des analyses des sucres dans les différents types de miel sont présentés dans le tableau 3. Les valeurs du glucose, du fructose, du saccharose et des glucose + fructose sont présentées sous forme de moyenne \pm l'écart type.

Dans notre étude, l'analyse statistique des taux de glucose, fructose et saccharose a révélé des différences très significatives entre les échantillons de miel examinés ($P < 0,0001$). En conséquence, Les taux des sucres réducteurs (glucose + fructose) ont varié de 16,51% pour le miel d'agrumes à 71,3 % pour le miel d'euphorbe (Tableau 3). À l'exception du miel d'agrumes, tous les échantillons de miel analysés ont montré des taux de glucose + fructose conformes à la norme ($> 60\%$) énoncée par le Codex Alimentarius (2001).

À l'exception du miel d'agrumes, les taux de sucres réducteurs des échantillons de miel analysés dans notre étude (65,1%, 69,3%, et 71,3%) sont comparables à ceux trouvés dans d'autres études menées par Achour *et al.* (2014), Belhaj *et al.* (2015) et Doukani *et al.* (2014), où ces taux se sont situés entre 60,6 % et 79,9%. Cette cohérence dans les résultats entre différentes études renforce la validité des taux de sucres réducteurs obtenus dans notre étude, soulignant une certaine uniformité dans ces valeurs au sein d'échantillons de miel provenant de diverses régions (exception faite pour le miel d'agrumes).

Il est également important de noter que la teneur en glucose dans nos échantillons est systématiquement plus basse que la teneur en fructose, sauf dans le cas du miel d'agrumes. Ces observations suggèrent que ce dernier a été produit à partir de colonies d'abeilles ayant été partiellement nourries avec du sirop de sucre, contrairement aux autres types de miel témoignant une alimentation naturelle des colonies et confirmant leur haute qualité (Buba *et al.*, 2013; El Sohaimy *et al.*, 2015; Sahinler *et al.*, 2004).

La teneur en saccharose dans les échantillons analysés a été comprise entre 1,43% pour le miel d'agrumes et 3,64% pour le miel d'euphorbe, avec une moyenne de 2,95% (Tableau 3). Bien que légèrement inférieure aux valeurs moyennes rapportées par Belhaj (3,50%) et Doukani (3,45%), cette mesure demeure conforme aux normes internationales qui fixent une limite maximale de 5% (Codex Alimentarius, 2001).

Les rapports fructose/glucose et glucose/eau sont largement utilisés comme des indicateurs permettant d'évaluer la qualité du miel en termes de sa propension à cristalliser. Ainsi, un rapport fructose/glucose inférieur à 1 et un rapport glucose/eau supérieur à 2 sont des signaux révélateurs d'une cristallisation plus rapide du miel.

Cependant, lorsque le rapport fructose/glucose dépasse 1,45 et que le rapport glucose/eau est inférieur à 1,60, le miel a tendance à maintenir sa forme liquide (Achouri *et al.*, 2022). Dans notre étude, il est apparu que les échantillons de miel d'euphorbe, d'anis et de caroube ont tendance à conserver une consistance liquide. Ceci est attribué aux variations observées dans les rapports fructose/glucose et glucose/eau, qui se sont respectivement situés entre 1,52 et 2,42, et entre 0,64 et 1,33. Cependant, le miel d'agrumes a montré une propension à se cristalliser suite à un rapport fructose/glucose inférieur à 1 (0,47) (Tableau 3).

Corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques

Le tableau 4 présente une analyse détaillée des corrélations entre certains paramètres physico-chimiques du miel.

Dans cette étude, l'analyse de corrélation a révélé des liens entre les divers paramètres physico-chimiques. En particulier, des coefficients de corrélation sont identifiés, mettant en évidence une relation très significative entre la teneur en cendres et la CE du miel ($r: 0,98; P < 0,001$), ainsi qu'entre le pH et la CE ($r: -0,99; P < 0,001$) (Tableau 4). Dans ce sens, il est à noter que des conclusions similaires sont relevées dans l'étude de El Sohaimy *et al.* (2015) qui ont établi une relation linéaire entre la teneur en cendres et la CE, et Bettar *et al.* (2019) qui ont conclu dans leur travaux que la CE est positivement corrélée à l'acidité du miel. Cette corrélation établie entre la teneur en cendres et la CE peut être expliquée par le fait qu'une teneur élevée en cendres est proportionnelle à une concentration plus élevée de matière minérale dissoute dans le miel, induisant ainsi une augmentation de la CE (Krauze et Zalewski, 1991).

En outre, la teneur en HMF est en corrélation significative avec le pH ($r: 0,66; P < 0,05$) (Tableau 4). Pour expliquer cela, il est important de signaler que la teneur en HMF est le résultat de la transformation du fructose en HMF, la dite transformation est favorisée principalement par l'acidité du miel. Dans ce sens, Cantarelli *et al.* (2008) ont trouvé une relation directe entre l'acidité du miel et le HMF, en raison de la formation d'acides lévulinique et métanoïque de HMF.

Tableau 4: Corrélation entre certains paramètres physico-chimiques du miel

Paramètre 1	Paramètre 2	Corrélation de Pearson	Signification
Teneur en cendre	CE	0,979**	0,000
pH	CE	-0,990**	0,000
pH	HMF	0,656*	0,020

* : $P < 0,05$ ** : $P < 0,001$

Tableau 3: Analyse des sucres des échantillons de miel

Paramètres	Types de miel				Analyse statistique	
	Agumés	Euphorbe	Caroube	Anis	F	p
Glucose (%)	11,2 \pm 0,18 ^a	20,8 \pm 0,22 ^b	25,8 \pm 0,41 ^c	26,6 \pm 0,31 ^c	11487	<0,0001
Fructose (%)	5,30 \pm 0,31 ^a	50,5 \pm 0,24 ^b	39,3 \pm 0,31 ^c	42,8 \pm 0,20 ^d	27664	<0,0001
Glucose + Fructose (%)	16,5 \pm 0,25 ^a	71,3 \pm 0,18 ^b	65,1 \pm 0,32 ^c	69,3 \pm 0,23 ^b	4473	<0,0001
Saccharose (%)	1,43 \pm 0,10 ^a	3,64 \pm 0,17 ^b	3,45 \pm 0,23 ^b	3,12 \pm 0,20 ^b	147,0	<0,0001
Fructose/Glucose	0,47 ^a	2,42 ^b	1,52 ^c	1,60 ^c	27,6	<0,0001
Glucose/Eau	0,64 ^a	1,10 ^b	1,33 ^b	1,29 ^b	6,83	<0,05

$P < 0,05$: significatif; $P < 0,01$: hautement significatif; $P < 0,001$: très hautement significatif. a, b, c, d: Des lettres différentes indiquent des différences significatives.

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les échantillons de miel analysés ont présenté des propriétés physico-chimiques variables en fonction de leurs origines botaniques. À l'exception du miel d'agrumes, tous les échantillons sont conformes aux normes internationales, garantissant ainsi la stabilité, la qualité et l'authenticité de ces échantillons.

L'analyse des corrélations a révélé des relations significatives entre certains paramètres physico-chimiques du miel, notamment le pH, la teneur en cendres, la CE et la teneur en HMF, renforçant ainsi la validité de nos résultats par rapport à la littérature.

Pour valoriser davantage ce produit, des études futures seront nécessaires pour analyser d'autres types de miel produits au niveau régional ou national. De plus, il sera crucial de mettre en place un contrôle qualité systématique du miel avant sa commercialisation afin de garantir son authenticité et, par conséquent, de préserver ses bénéfices nutritionnels et thérapeutiques.

Remerciement

Nous tenons à remercier le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) pour la contribution à la réalisation des analyses des sucres et de HMF.

RÉFÉRENCES

Achouri M.Y., Selka M.A., Yakoub M.N.S. (2022). Méthodes physiques utilisées dans la caractérisation et le contrôle de qualité des miels: revue générale. *Algerian journal of pharmacy*, 4: 8-14.

Aljohar H.I., Maher H.M., Albaqami J., Al-Mehaizie M., Orfali R., Orfali R., Alrubia S. (2018). Physical and chemical screening of honey samples available in the Saudi market: An important aspect in the authentication process and quality assessment. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26: 932-942.

Becerril-Sánchez, A.L., Quintero-Salazar, B., Dublán-García, O., Escalona-Buendía, H.B. (2021). Phenolic compounds in honey and their relationship with antioxidant activity, botanical origin, and color. *Antioxidants*, 10: 1700.

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

Bettar I., González-Miret M.L., Hernanz D., Marconi A., Heredia F.J., Terrab A. (2019). Characterisation of Moroccan Spurge (*Euphorbia*) honeys by their physicochemical characteristics, mineral contents and colour. *Arabian Journal of Chemistry*, 12: 2052-2060.

Bogdanov S., Lüllmann C., Martin P., Von Der Ohe W., Russmann H., Vorwohl G., Vit P. (1999). Honey quality and international regulatory standards: review by the International Honey Commission. *Bee world*, 80: 61-69.

Bogdanov S., Blumer P. (2001). Propriétés antibiotiques naturelles du miel. *Revue Suisse d'Agriculture*, 5: 219-222.

Bogdanov S., Jurendic T., Sieber R., Gallmann P. (2008). Honey for nutrition and health: a review. *Journal of the American college of Nutrition*, 27: 677-689.

Bogdanov S., Martin P., Lüllmann C. (2002). Harmonised methods of the international honey commission. *Swiss Bee Research Centre, FAM, Liebefeld*, 5: 1-62.

Bogdanov S., Rouff K., Oddo L.P. (2004). Physico-chemical methods for the characterization of unifloral honey: a review. *Apidologie*, 35: 275-282.

Buba F., Gidado A., Shugaba A. (2013). Analysis of biochemical composition of honey samples from North-East Nigeria. *Biochem. and Anal. Biochem.*, 2: 139.

Cantarelli M.A., Pellerano R.G., Marchevsky E.J., Camiña J. M. (2008). Quality of honey from Argentina: Study of chemical composition and trace elements. *The Journal of Argentine Chemical Society*, 96: 33-41.

Chikhaoui M., Lotfi R., Ouaamr A., El kardoudi A., Aziz Galman A., Kachmar MR., Badri W., Mouslim J., El Hajjouji H. (2023). Therapeutic uses of honey by the population of Beni Mellal-Khenifra region in Morocco. *Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 54: 1285-1295.

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

Doukani K., Tabak S., Derriche A., Hacini Z. (2014). Étude physico-chimique et phyto-chimique de quelques types de miels Algériens. *Revue Ecologie-Environnement*, 10: 37-49.

El Sohaimy S.A., Masry S.H.D., Shehata M.G. (2015). Physico-chemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60: 279-287.

EL-Metwally A.A.E. (2015). Factors affecting the physical and chemical characteristics of egyptian beehoney. Ph.D. Thesis, Fac. Agric. Cairo Univ., 320p.

Gomes S., Dias LG, Moreira LL, Rodrigues P., Estevinho L. (2010). Propriétés physicochimiques, microbiologiques et antimicrobiennes des miels commerciaux du Portugal. *Toxicologie alimentaire et chimique*, 48: 544-548.

Haderbache, L., Mohammedi A. (2015). Study on honey consumption behavior in Algeria: Expectations and preferences. *Algeria Revue Agriculture*, 9: 19-24.

Hadjam F., Necili M. (2022). Miel: composition, propriétés, qualité sanitaire, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri.

HCP (2017). Projections de la population des régions et des provinces 2014-2030.

Hussein M.H. (2000). A review of beekeeping in Arab countries. *Bee World*, 81: 56-71.

International Honey Commission (2009). Harmonised methods of the international honey commission. <http://www.bee-hexagon.net/en/network.htm>.

Krauze A., Zalewski R.I. (1991). Classification of honeys by principal component analysis on the basis of chemical and physical parameters. *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung (Germany, FR)*, 192: 19-23.

Küçük M., Kolaylı S., Karaoğlu Ş., Ulusoy E., Baltacı C., Candan, F. (2007). Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. *Food chemistry*, 100: 526-534.

Leite J.D.C., Trugo L.C., Costa L.S.M., Quinteiro L.M.C., Barth O.M., Dutra V.M.L., De Maria C.A.B. (2000). Determination of oligosaccharides in Brazilian honeys of different botanical origin. *Food chemistry*, 70: 93-98.

Moujanni A., Essamadi A.K., Terrab Benjelloun A. (2017). L'apiculture au Maroc: focus sur la production de miel. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20: 52-78.

Ouchemoukh S., Louaileche H., Schweitzer P. (2007). Physico-chemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. *Food control*, 18: 52-58.

Raessi M.A., Aslani J., Raessi N., Gharai H., Zarchi A.A.K., Raessi F. (2013). Honey plus coffee versus systemic steroid in the treatment of persistent post-infectious cough: a randomised controlled trial. *Primary Care Respiratory Journal*, 22: 325-330.

Rostislav H., Petr T., Čavar Z.S. (2016). Characterisation of phenolics and other quality parameters of different types of honey. *Czech Journal of Food Sciences*, 34: 244-253.

- Sahinler N., Sahinler S., Gul A. (2004). Biochemical composition of honeys produced in Turkey. *J. Apicul. Res.*, 43: 53–55.
- Saxena S., Gautam S., Sharma A. (2010). Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food chemistry*, 118: 391-397.
- Soylu M., Atayoğlu T., İnanç N., Silici S. (2015). Glycemic index values of multifloral Turkish honeys and effect of their consumption on glucose metabolism. *Journal of Apicultural Research*, 54: 155-162.
- Terrab A., Díez M.J., Heredia F.J. (2003). Palynological, physico-chemical and colour characterization of Moroccan honeys. II. Orange (*Citrus* sp.) honey. *International Journal of Food Science & Technology*, 38: 387-394.
- Zamora M.C., Chirife J., Roldán D. (2006). On the nature of the relationship between water activity and % moisture in honey. *Food control*, 17: 642-647.