UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Caractérisation physico-chimique des miels produits et commercialisés au Burundi

Balolage Mubulanyi, Paulin; Sous la direction de : Dr. Ngenzahayo, Jérémie

2025-03
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1921

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

Département de Chimie

Caractérisation physico-chimique des miels produits et commercialisés au Burundi

Par

BALOLAGE MUBULANYI Paulin

MEMOIRE

Présenté et défendu en vue de l'obtention

du diplôme de Master en Sciences Chimiques

Spécialité : Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de **: Dr. NGEZAHAYO Jérémie**

Dr. BANZUBAZE Emmanuel

Bujumbura, Mars 2025

MEMBRES DU JURY

Présidente : Prof. NTAKARUTIMANA Vestine

Secrétaire : Msc NZOYISUBIZIKI Japhet

Directeur : Dr. NGEZAHAYO Jérémie

Co-directeur : Dr. BANZUBAZE Emmanuel

DEDICACES

Ce travail est dédié à toute personne qui a contribué de loin ou de près, sous différentes formes, pour l'aboutissement de ce cycle de Master.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été conditionnée par la force, la bonne santé et la solidarité que le Seigneur nous a offerte. C'est pourquoi, nous commençons d'abord à le remercier pour tous ses bienfaits et pour sa présence dans nos épreuves de la vie quotidienne.

Nous remercions énormément les Docteurs Jérémie NGEZAHAYO et Emmanuel BANZUBAZE, respectivement Directeur et Co-directeur de ce travail pour tous les conseils et tout l'accompagnement dans la réalisation de cette œuvre. Votre encadrement et votre contribution scientifique nous ont été capitaux.

Un regard d'honneur est tourné vers nos très chers parents Léonard et Françoise MUBULANYI, pour leur sacrifice et soutiens inestimables depuis notre enfance jusqu'à nos jours, dans toutes les circonstances de la vie et en particulier dans le processus académique. Nous sommes fiers de vous avoir eu comme parents et notre gratitude envers vous restera à jamais.

Toute notre gratitude et notre admiration à l'égard de tous les enseignants du Département de chimie et de la Faculté de Sciences de l'Université du Burundi en générale, et en particulier ceux qui ont participé directement dans notre formation dont les Professeurs Vestine Ntakarutimana, Liberata Nizigiyimana, Godefroid Gahungu, Chrysostome Ndamanisha, David Nahimana, Samuel Bunani, Christophe Niyungeko, Jérémie Ngezahayo, Emmanuel Banzubaze, Prudence Bararunyeretse, Manassé Nihorimbere, Pierre Ntakiyiruta, sans oublier ceux des autres Facultés qui nous ont encadré et en particulier le Dr Jean Nsabimana pour la cartographie. Nous disons grand merci pour la formation capitale, meilleure et de qualité que nous avions bénéficiée de vous durant nos 2 années de formation.

Nous sommes très reconnaissant à l'égard de Chrislain et Crispin Baganda pour leur contribution, de tous les membres de ma famille et amis qui nous ont soutenu sous diverses formes, mais particulièrement aux familles MUBULANYI, KARUMBA et MUSA, pour leur solidarité. Que Dieu vous bénisse.

A toi aussi Sandrine Ansima, ma chère copine, pour ton accompagnement, tes prières et ton affection avouée. Trouve par ici l'expression de ma grande considération et de ma profonde gratitude.

A vous mes très chers camarades d'auditoire : votre solidarité, gentillesse, collaboration et amour, nous ont permis d'atteindre notre objectif. Ce climat de joie, d'unité et de paix qui régnait à l'auditoire nous obligera de penser à vous. Nous nous souhaitons une vie meilleure.

Au comité de gestion de l'ISP/KAZIBA, représenté par le Professeur Innocent BALAGIZI, nous disons grand merci pour votre accompagnement et solidarité durant cette période de notre formation. Que tous les collègues se sentent aussi remerciés par ici. C'est à ce titre que nous remercions l'honorable Norbert KATINTIMA et le Chef des travaux Innocent BASHIGE pour leurs efforts. A tous nos colocataires du CELAB et en particulier Docteur David Byamungu, soyez remercié pour votre soutien.

A tous ceux qui ne sont pas cités ici faute d'espace, nous vous aimons et notre amitié vivra pour toujours. Sentez-vous gratifiés. A tous et à toutes, merci beaucoup.

RESUME

Ce travail portait sur la caractérisation physico-chimique des miels produits et commercialisés au Burundi et visait à contribuer à une meilleure connaissance de la qualité de ces miels en tenant compte des moyennes de 3 groupes dont : des miels vendus dans les marchés de Bujumbura, marchés de l'intérieur du pays et des miels traités.

Le choix de ce sujet était motivé par le fait que le miel est beaucoup produit au Burundi, contribue à l'économie du pays et des familles. Il est beaucoup consommé par la population burundaise et celle des pays voisins, alors qu'il n'y a pas assez des preuves scientifiques sur sa qualité. De plus, il est utilisé par les personnes de faible revenu financier comme médicaments pour contre certaines pathologies.

Au cours de ce travail, plusieurs paramètres ont été analysés selon différentes méthodes. Ces paramètres sont l'HR, IR, DB, CE, CT, MI, pH, AT, HMF et SR. L'analyse de la qualité des résultats obtenus pour tous ces paramètres a été évaluée selon les normes Burundaises et celles du Codex Alimentarius. Les valeurs ont varié de 18,3±1,714 à 20,22±1,324% (HR) ; 4,475±4,801 à 18,742±11,427mg/Kg (HMF) ; 75,99±12,19 à 84,02±13,858% (SR) ; 4,082±0,224 à 4,125±0,230 (pH) ; 22,251±2,188 à 32,402±12,274mEq/Kg (AT) ; 77,82±2,488 à 80,55±2,002% (DB) ; 0,098±0,041 à 0,287±0,221% (CT) ; 0,032±0,015 à 0,044±0,022 gr (MI) et 0,082±0,025 à 0,244±0,246 mS/cm (CE).

Tous ces miels sont de bonne qualité en se référant aux normes Burundaises et celles du Codex Alimentarius sauf les BNRT qui ont dépassé légèrement 20% pour le HR. Ces mêmes miels ont présenté des concentrations élevées et une différence significative par rapport aux autres pour le HMF, vu leur p-value de 0,0329. C'est qui est normal à cause de la température de Bujumbura qui est très élevée. En plus, certains vendeurs ajoutent du sucre de table et de l'eau dans le miel.

Quel que soit les différences observées entre les trois groupes, elles ne sont pas statistiquement significatives vu la p-value de 0,996 fourni par le test ANOVA Oneway qui est supérieure à 0,05. Les résultats de ce travail serviront de moyen de prévention pour les décideurs afin d'améliorer la qualité et la surveillance du marché.

Tous ces trois groupes ont affiché des valeurs moyennes acceptables pour tous les paramètres.

Mots clés : Caractérisation-physicochimique-miels-commercialisés-Burundi.

ABSTRACT

This study, which focused on the physicochemical characterization of honey produced and marketed in Burundi and aimed to contribute to a better understanding of the quality of these honeys, based on the averages of three groups: honey sold in Bujumbura markets, in the markets from the interior of the country, and treated honey.

The choice of this topic was motivated by the fact that honey is widely produced in Burundi and contributes to both the national and household economies. It is widely consumed by the Burundian people and neighboring countries, even though there is insufficient scientific evidence regarding its quality. Moreover, it is used by people with low financial ressources, as a medicament for certain pathologies.

During this study, several parameters were analyzed using different methods. These parameters include: moisture content (HR), electrical conductivity (CE), ash content (CT), reducing sugars (SR), pH, free acidity (AT), hydroxymethylfurfural (HMF), insoluble matter (MI), Brix degree (DB), and refraction index (IR). The quality of results obtained for all these parameters was assessed according to both Burundian standards and those of the Codex Alimentarius. The values ranged as follows: 18.3±1.714 to 20.22±1.324% (HR); 4.475±4.801 to 18.742±11.427 mg/kg (HMF); 75.99±12.19 to 84.02±13.858% (SR); 4.082±0.224 to 4.125±0.230 (pH); 22.251±2.188 to 32.402±12.274 mEq/kg (AT); 77.82±2.488 to 80.55±2.002% (DB); 0.098±0.041 to 0.287±0.221% (CT); 0.032±0.015 to 0.044±0.022 g (MI); 0.082±0.025 to 0.244±0.246 mS/cm (CE).

All honeys were of good quality based on Burundian and Codex Alimentarius standards, except for the untreated honeys from Bujumbura (BNRT), which slightly exceeded 20% moisture content. These same honeys also showed higher concentrations and a significant difference compared to the others in terms of HMF, with a p-value of 0.0329. This is understandable given Bujumbura's high temperature. Additionally, some sellers add table sugar and water to the honey.

Despite the observed differences among the three groups, they were not statistically significant, as indicated by the one-way ANOVA test with a p-value of 0.996, which is greater than 0.05. The results of this study will serve as a preventive tool for decision-makers to improve quality control and market surveillance.

All the three groups showed acceptable average values for all parameters.

Keywords: Physicochemical-characterization-honey-marketed-Burundi.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY i
DEDICACES ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME v
ABSTRACT vi
TABLE DES MATIERES vii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ix
TABLE DES ILLUSTRATIONS x
LISTE DES TABLEAUX xi
AVANT-PROPOS xii
CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE 1
I.1. Problématique 3
I.2. Objectifs 3
I.2.1. Objectif global 3
I.2.2. Objectifs spécifiques 3
I.3. Hypothèses 4
I.4. Justification de l'étude 4
I.5. Portée de l'étude et choix du sujet 5
CHAPITRE II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 6
II.1. Historique, définition et formation du miel 6
II.2. Composition du miel 6
II.3. Effets thérapeutiques et nutritionnels du miel 7
II.4. Quelques propriétés biologiques du miel 9
II.4.1. Propriétés antioxydantes 9
II.4.2. Effets sur l'hypotension et la régulation sanguine 10
II.4.3. Effet antibiotique 10
II.4.4. Action semblable à l'insuline 10
II.4.5. Activité anti-inflammatoire et propriété cicatrisante 11
II.4.6. Effets sur le système reproducteur et la fertilité 11
II.5. Quelques paramètres physico-chimiques de la qualité du miel 11
II.5.1. L'Hydroxyméthyl furfural 11
II.5.2. Humidité relative (HR) 13

II.5.3. La couleur 13
II.5.4. Le pH 13
II.5.5. La conductivité électrique (CE) et les cendres totales (CT) 14
II.5.6. L'acidité totale (AT) 14
II.5.7. Les sucres réducteurs et totaux 15
II.6. Valeurs normatives des paramètres de qualité du miel 15
CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES 17
III.1. Le matériel d'étude 17
III.2. Méthode d'échantillonnage et conservation des échantillons 17
III.3. Protocoles d'analyse des paramètres de qualité 20
III.3.1. Détermination de l'humidité relative et du degré Brix par la méthode réfractométrique 21
III.3.2. Détermination de la conductivité électrique 22
III.3.3. Test de Fiehe 22
III.3.4. Détermination de la matière insoluble 23
III.3.5. Analyse des cendres totales 24
III.3.6. Détermination du pH et de l'acidité totale 24
III.3.7. Détermination de l'hydroxyméthyl furfural 25
III.3.8. Sucres réducteurs 27
III.4. Analyses statistiques 28
III.5. Cadre de référence 29
CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 30
IV.1. Résultats moyens par groupe et discussion 31
IV.2. Analyses statistiques 41
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 48
ANNEXES 54

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP **:** Analyse en composantes principales

AT : Acidité totale

BBN : Bureau Burundais de Normalisation et Contrôle de la Qualité

CAC : Contrôle et analyses chimiques

CE : Conductivité électrique

CT : Cendres totales

DB : Degré Brix

EAC : East African Community

EAS : East African Standard

HMF : Hydroxyméthyl furfural

HR : Humidité relative

IR : Indice de réfraction

max : maximum

méq/Kg : milliéquivalent par kilogramme

mg/Kg : milligramme par kilogramme

MI : Matières insolubles

min : minimum

NB : Normes burundaises

OMS : Organisation mondiale de la santé

pH : Potentiel en Hydrogène

SR : Sucres réducteurs

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Quelques propriétés biologiques du miel 8

Figure 2: Formation de l'HMF par déshydratation du fructose 12

Figure 3. Echantillons de miels : traités (A), bruts exposés au marché (B) et exposés au laboratoire pour analyse (C) 17

Figure 4. Localisation des Sites d'échantillonnage sur la carte du Burundi 18

Figure 5. Test de présence du sucre ajouté dans les échantillons de miel étudiés 23

Figure 6. Spectrophotomètre UV-Visible utilisé pour déterminer le taux d'HMF 26

Figure 7. Dosage des SR dans les miels 28

Figure 8. Variation des paramètres physicochimiques par groupe 33

Figure 9. Variation des paramètres physicochimiques par échantillon pour IR, HR et DB 34

Figure 10. Variations des paramètres physicochimiques par échantillons pour pH, A.T et HMF 35

Figure 11. Variations des paramètres physicochimiques pour les SR 38

Figure 12. Variation des paramètres physicochimiques pour C.E, M.I et C.T 39

Figure 13. Distribution des informations dans les axes avec l'ACP 41

Figure 14. Projection des groupes et des variables dans les axes avec l'ACP 42

Figure 15. Cercle des corrélations des variables (à gauche) et contribution des marchés sur les variables (à droite) 43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Composition chimique du miel. 7

Tableau 2 : Renseignements spécifiques sur le miel 16

Tableau 3 : Codes des échantillons analysés 19

Tableau 4 : Matériel, réactifs et méthodes utilisés pour l'analyse qualité 20

Tableau 5 : Valeurs obtenues au laboratoire après analyse des échantillons 30

Tableau 6 : Résultats moyens et écart-types de trois groupes des miels analysés 32

Tableau 7 : Valeurs obtenues de HMF en fonction des absorbances 37

Tableau 8: Valeurs obtenues de la conductivité électrique pour tous les échantillons. 40

Tableau 9 : Présence ou absence du sucre de table dans les échantillons de miel analysés..... 41

Tableau 10 : Comparaison des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le HR. 45

Tableau 11 : Comparaison statistique des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le SR 45

Tableau 12 : Comparaison des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le HMF. 46

AVANT-PROPOS

Le présent travail porte sur l'analyse de la qualité des miels qui sont produits et vendus au Burundi. Il ne tient pas compte des miels qui proviennent de l'extérieur du pays.

Nous avons été motivé par le fait que le miel est beaucoup produit au Burundi et consommé par la population burundaise, mais la plupart des miels commercialisés au Burundi n'ont aucun étiquetage, ne portent pas d'indications sur la durée et le mode de conservation, sont exposés au soleil et vendus dans des emballages de réutilisation.

Il est également utilisé comme médicament dans la lutte contre plusieurs maladies, alors que peu d'études scientifiques sont faites sur ces derniers pour garantir la santé des consommateurs. C'est pourquoi, une meilleure connaissance de la qualité de ces derniers est d'une importance capitale pour sa valorisation.

Pour généraliser notre étude sur tout le Burundi, des miels commercialisés dans des marchés de Bujumbura dont Musaga, Sion, Kamenge, Ruvumera et Kinama ; et ceux de l'intérieur du pays dont Gitaga, Ngozi, Cankuzo, Cibitoke et Rumonge, ont été étudiés. Les deux groupes de miel non traités ont été comparés aux miels traités provenant des unités de transformation dont Kabingo, Buhumuza, Akaza à Gatabo et Nyagisenyi afin d'apprécier si les miels traités avant la vente sont différents de ceux non traités.

Le but était de vérifier si ces miels respectent les normes de qualité proposées par certaines organisations de normalisation. Les paramètres physico-chimiques analysés sont l'IR, HR, DB, CE, CT, MI, pH, AT, HMF, SR et le test de Fiehe. Les résultats obtenus ont été confrontés aux normes burundaises (NB EAS) et celles du Codex Alimentarius.

Les résultats obtenus serviront d'une base des données pour les recherches à venir et pour les décideurs dans la surveillance du marché, mais également d'un soubassement pour ceux qui veulent investir à grande échelle dans l'apiculture au Burundi.

CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE

Le miel est une substance naturelle sucrée, produite par les abeilles (*Apis mellifera*), (Palma-Morales *et al.,* 2023) à partir des plantes et des fleurs (Ramadhan *et al.,* 2019). L'abeille récolte le nectar et le miellat pour fabriquer le miel, satisfaire ses besoins nutritionnels et nourrir les larves (Cianciosi *et al.,* 2018).

Il est considéré comme nutriment, médicament et aliment naturel dont la composition est très variable par suite de ses origines géographiques et botaniques (Ciulu *et al.,* 2016). Le miel est constitué d'un mélange de sucre (80-85%), surtout le glucose et le fructose (Yang *et al.,* 2019) ; de l'eau (15-17%) et des protéines (0.1-0.4%), mais il contient également des enzymes, des vitamines, des acides organiques, des minéraux et des composés phénoliques (Islam *et al.,* 2014).

La couleur peut varier de blanche au rouge qui indique la présence des composés phénoliques et des minéraux (Molan, 1996). Il peut être contaminé par certains métaux lourds tels que le mercure, l'arsenic et le cadmium (Islam *et al.,* 2014).

Lors de son analyse, le HMF est un paramètre majeur dans l'analyse qualité. Il indique si le miel a été chauffé à une température élevée ou pas, (Shapla *et al.,* 2018), ou si le miel a vieilli, (Yang *et al.,* 2019), selon que sa valeur est supérieure ou inférieure à 40mg/Kg (Shapla *et al.,* 2018).

Le 5-hydroxyméthylfurfural (HMF), ingéré en grandes quantités peut être toxique, (Shapla *et al.,* 2018). C'est un produit de déshydratation du fructose et du glucose en milieu acide (Ajlouni & Sujirapinyokul, 2010). Il possède des effets cancérogènes, mutagènes, cytotoxiques, toxiques pour la reproduction et pour la peau (Islam *et al.,* 2014).

Dans les miels frais, l'HMF n'est présent qu'à l'état de traces et sa teneur augmente avec l'élévation de la température et la durée de conservation très prolongée (Ajlouni & Sujirapinyokul, 2010). La détermination de sa teneur est donc nécessaire pour garantir la bonne qualité des miels (Mohamed *et al.,* 2019). Selon les normes du Codex alimentarius, la teneur en HMF ne doit pas dépasser 40 mg/kg dans les régions à climat tempéré, tandis que les miels tropicaux ne doivent pas dépasser 80 mg/kg (OMS, 2001 ; Zsanett *et al.,* 2022). Dans plusieurs pays tels que l'Allemagne, l'Italie, la Finlande, la Suisse, les organisations d'apiculteurs ont mis une valeur maximale de 15 mg/kg pour un étiquetage spécial du miel « de qualité » (Bogdanov *et al.,* 2004), ce qui n'est pas le cas au Burundi.

Le miel est également reconnu depuis l'antiquité pour ses propriétés médicinales préventives et curatives, c'est pourquoi il est utilisé dans un cadre thérapeutique. Il est parmi les principaux aliments purs et naturels qui entrent dans la nutrition humaine comme une source de glucides à haute énergie, ayant aussi divers vertus (Bogdanov, 2011).

Un miel naturel peut être contaminé par la l'air, la flore intestinale de l'abeille ainsi que les opérations technologiques effectuées au cours de sa transformation. Les propriétés physico-chimiques intervenants dans la détermination de sa qualité sont influencées par des facteurs environnementaux (Hocine *et al.,* 2018).

Certains producteurs ou commerçants abusent donc de l'image portée par l'emballage pour faire écouler leurs produits. De plus, les conditions de stockage influencent les paramètres physico-chimiques et réduisent considérablement le délai de consommation des miels. Ces faits soulèvent alors le problème de la qualité de ces différents miels commercialisés (Djossou *et al.,* 2013).

En Afrique, où la température et l'humidité sont élevées, l'apiculture rencontre des difficultés qui affectent négativement les produits de la ruche, raison pour laquelle la connaissance des propriétés physicochimiques du miel afin d'apprécier sa qualité est très nécessaire (Hocine *et al.,* 2018).

Il importe de savoir que beaucoup des patients diabétiques et des personnes non diabétiques préfèrent prendre le miel dans leur repas à la place du sucre de table. Certaines études ont démontré que le miel élimine les espèces réactives de l'oxygène (ROS), réduit le stress oxydatif et l'hyperglycémie (Erejuwa, 2014). En plus de ces effets, la supplémentation au miel améliore plusieurs troubles métaboliques observés couramment chez les diabétiques. Il s'agit notamment de niveaux réduits de transaminases hépatiques, de triglycérides et d'hémoglobine glycosylée (HbA1c) ainsi que d'un cholestérol HDL accru (Erejuwa, *et al.,* 2011).

Une autre étude, portant sur l'association du miel aux médicaments antidiabétiques dans la prise en charge du diabète sucré a montré que l'administration de miel augmentait les taux sériques d'insuline et réduisait les concentrations sériques de glucose et de fructosamine chez des rats diabétiques (Erejuwa, *et al.,* 2011).

Cependant, le miel est un aliment riche en carbohydrates et son indice glycémique varie entre 32 et 80 selon son origine botanique. Il possède des effets positifs du point de vue thérapeutique et nutritionnel et qui sont variables, s'il est consommé à la dose comprise entre 50 et 80 g par prise. Une branche appelée api thérapie a été développée en médicine, offrant ainsi des solutions contre plusieurs maladies telles que les plaies, les infections, les brûlures et les piqûres (Bogdanov *et al.*, 2008).

I.1. Problématique

La plupart des miels produits et commercialisés au Burundi n'ont aucun étiquetage à part les miels transformés dans des unités de production, qui malheureusement ne portent pas des indications sur la durée et le mode de conservation. De même, le constat effectué montre que les miels non traités, vendus dans les différents marchés au Burundi sont exposés au soleil et leurs emballages sont plusieurs fois réutilisés sans tenir compte de leur dégradation, ce qui peut nuire à la qualité du miel et provoquer sa dégradation précoce.

Un problème majeur de santé publique pourrait se créer si des études permanentes ne sont pas effectuées et si certaines précautions ne sont pas prises dans le mode de conservation des miels au niveau des marchés.

C'est pourquoi la caractérisation physico-chimique des miels commercialisés sur le marché burundais reste d'une importance capitale pour une meilleure connaissance de la qualité de ces derniers.

I.2. Objectifs

I.2.1. Objectif global

L'objectif général de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance de la qualité des miels produits et vendus au Burundi.

I.2.2. Objectifs spécifiques

Ce travail vise à :

- Déterminer si les différents miels produits et commercialisés au Burundi respectent les normes de qualité d'un bon miel.

- Comparer la qualité des miels traités dans des unités de transformation aux miels non traités (miel brut) d'une part, et ceux vendus dans les marchés de l'intérieur à ceux vendus à dans les marchés de Bujumbura d'autre part.
- Vérifier s'il y a ajout ou pas du sucre de table dans les miels vendus sur le marché du Burundi.

I.3. Hypothèses

- Les miels produits et commercialisés au Burundi seraient de bonne qualité physicochimique.
- Les miels traités dans les unités de transformation respecteraient les normes de qualité par rapport aux miels vendus sans aucun traitement.
- Certains vendeurs ajoutent du sucre de table et de l'eau dans le miel commercialisé au Burundi.
- La qualité des miels provenant de l'intérieur serait différente de ceux vendus à Bujumbura.

I.4. Justification de l'étude

Le miel est utilisé dans le traitement des différentes maladies à travers le monde. Dans plusieurs endroits et surtout au Burundi où il se pose un problème de sucre de table, plusieurs personnes font recours au miel pour certains besoins alimentaires auxquels le sucre de table pourrait répondre. La carence des hôpitaux, le coût élevé des soins appropriés et la limite de la médicine moderne dans le traitement de certaines maladies, motivent beaucoup des gens à recourir à la médecine traditionnelle dont le miel joue un grand rôle pour plusieurs thérapies comme les brûlures, dans le cadre individuel ou en association avec d'autres recettes.

Le miel étant un aliment contenant un sucre naturel, les malades souffrant du diabète et plusieurs personnes en situation de risque préfèrent remplacer le sucre de table par le miel pour lutter contre les perturbations liées à la glycémie. Cependant, peu d'études sont faites scientifiquement sur le miel du Burundi en faisant confiance à sa nature sans tenir compte qu'il peut se dégrader et provoquer d'autres problèmes sur la santé des consommateurs.

Vu l'importance du miel dans la nutrition humaine, dans la thérapie traditionnelle et dans l'alimentation quotidienne, il s'avère plus qu'urgent de mener des études expérimentales périodiquement pour garantir la santé de la population. Nous pensons que les résultats de ce travail contribueraient au renforcement des preuves scientifiques et à la meilleure connaissance

de la qualité des miels commercialisés au Burundi et conduiraient à prendre des précautions, que ce soit dans le cadre alimentaire ou thérapeutique.

Ils constitueront également une base de données de référence pour des recherches à venir et la valorisation industrielle des miels produits au Burundi dans le domaine de l'agroalimentaire.

I.5. Portée de l'étude et choix du sujet

Le choix de cette étude est motivé par le fait que le miel est beaucoup produit au Burundi, contribue sensiblement à l'économie du pays en générale et des familles en particulier. Il est beaucoup consommé par la population burundaise et celle des pays voisins, alors que les études périodiques ne sont pas nombreuses pour croire à sa bonne qualité physico-chimique.

De plus, l'accès aux soins de santé n'est pas facile pour les personnes de faible revenu financier, au point que beaucoup des personnes l'utilisent comme médicament pour certaines pathologies. Choisir ce sujet, c'est contribuer à la résolution de ce problème d'une manière ou d'une autre étant donné que les résultats de ce travail serviront de moyen pour prévenir les consommateurs et permettre aux décideurs d'améliorer la surveillance du marché.

CHAPITRE II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Historique, définition et formation du miel

Le miel est un produit naturel qui peut être décrit comme la solution semi-solide et sursaturée synthétisée par les abeilles, et qui est obtenue à partir du nectar de la fleur. C'est un produit au potentiel médicinal et nutritionnel remarquable, naturellement (Kshitij *et al.,* 2022).

Il est utilisé par les humains depuis l'antiquité, non seulement comme agent édulcorant, mais aussi comme médicament pour de nombreuses maladies cliniques depuis des années (Ayyavu *et al.,* 2024; Bhalchandra & Yahya, 2016; Kshitij *et al.,* 2022). Il a été aussi utilisé dans l'histoire comme symbole de sainteté dans les cérémonies religieuses ainsi que dans les événements magiques et thérapeutiques (Krell, 1996).

Les abeilles récoltent le nectar de la tête des fleurs. Certaines sécrétions naturelles ont été recueillies à partir des plantes ainsi que de l'excrétion des insectes suceurs de plantes pour être transformées en miel par les abeilles mellifères en y ajoutant leurs propres sécrétions spécifiques, puis déshydratées et conservées dans le nid d'abeille pour la maturation (Khan *et al.,* 2018).

II.2. Composition du miel

La composition du miel dépend des types de fleurs que les abeilles ont utilisé dans sa production, mais aussi des conditions climatiques (Chakir *et al.,* 2016).

Il contient environ 180 types de composés différents, dont l'eau, les sucres, les acides aminés libres, les composés phénoliques, les protéines, les enzymes, les minéraux essentiels, les vitamines et divers produits phytochimiques (Cianciosi *et al.,* 2018).

Les principaux sucres sont les monosaccharides tels le glucose et le fructose. En plus des deux monosaccharides, environ 25 oligosaccharides différents ont été détectés, dont le palatinose, qui est important pour la nutrition humaine.

Les principaux oligosaccharides du miel de fleurs sont le saccharose, le maltose, le tréhalose et le furanose. Le miel de miellat, comparé au miel de fleur, contient des quantités plus élevées d'oligosaccharides et aussi de trisaccharides comme le mélèzitose et le raffinose (Bogdanov *et al.,* 2008).

Au cours de la digestion, le fructose et le glucose sont rapidement utilisés par l'organisme ses besoins énergétiques. Une dose quotidienne de 20 g de miel couvrira environ 3 % de l'énergie journalière requise (Bogdanov *et al.,* 2008).

Plus de 300 composés actifs ont été identifiés dans la propolis des abeilles, dont la composition varie selon la saison, la source végétale, l'espèce d'abeille et l'altitude. Les composants les plus importants ayant une activité pharmacologique dans la propolis sont les flavonoïdes et diverses substances phénoliques et aromatiques. Certains composants du miel sont observés dans le tableau 1avec leurs proportions.

Tableau 1. Composition chimique du miel (Cianciosi et al., 2018).

Composé	**Dans 100 g de miel, en gramme**
Eau	16.9-18
Carbohydrates (total)	64.9-73.1
Fructose	35.6-41.8
Glucose	25.4-28.1
Maltose	1.8-2.7
Sucrose	0.23-1.21
Protéines, Vitamines, acides aminés et minéraux	0.50-1

La composition, le goût et la couleur des différents miels dépendent du type de source florale, de l'aire géographique, du climat et des différentes espèces d'abeilles impliquées dans la production de miel, qui sont également conditionnés par les techniques de traitement et de stockage (Cianciosi *et al.,* 2018).

II.3. Effets thérapeutiques et nutritionnels du miel

Le miel est une source utile d'aliments riches en glucides et contient habituellement une riche variété de micro-composants tels que des protéines, des minéraux, des vitamines, etc., ajoutant ainsi la diversité nutritionnelle aux aliments humains. Aujourd'hui, le miel est considéré comme un autre aliment naturel non transformé (Wissam & Dhia, 2022).

Depuis l'antiquité, le miel a été utilisé comme médicament pour stimuler la guérison des plaies, la régénération tissulaire et soulager les troubles gastro-intestinaux, la gingivite et diverses autres pathologies, comme le montre la figure 1.

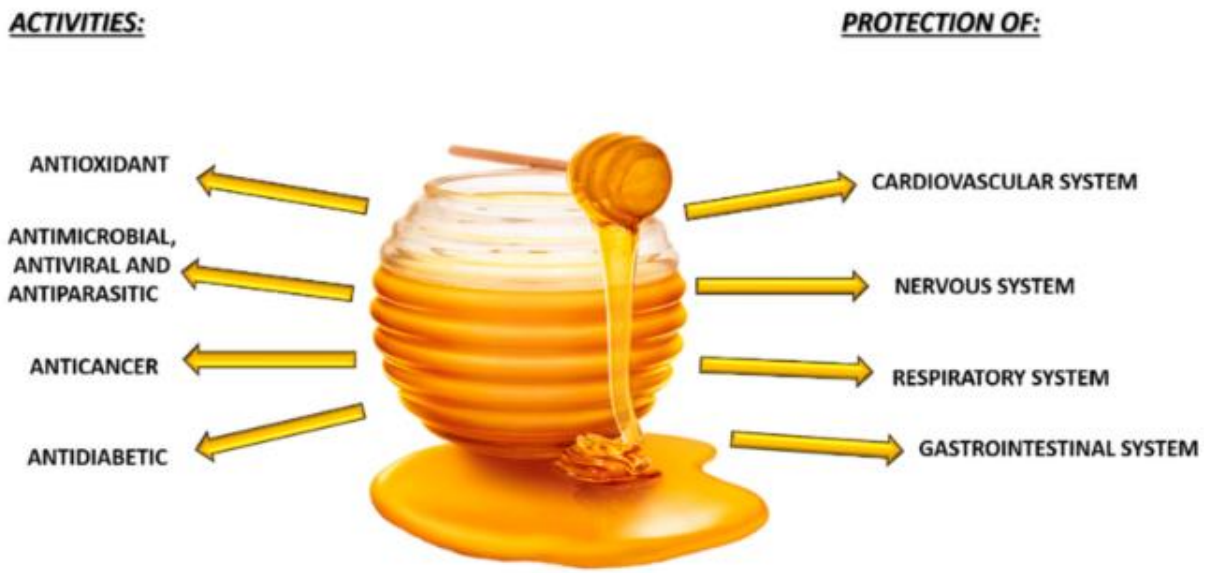


Figure 1: Quelques propriétés biologiques du miel (Cianciosi *et al.*, 2018).

L'effet thérapeutique du miel résulte de la présence de diverses molécules antioxydantes, dont des composés phénoliques, tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques. Plusieurs études *in vitro* et *in vivo* ont démontré l'action antimicrobienne, antivirale, antifongique, une activité anticancéreuse et antidiabétique du miel. En outre, l'effet protecteur sur les systèmes cardiovasculaire, nerveux, respiratoire et gastro-intestinal a également été prouvé**.** Il a été observé chez les athlètes un effet protecteur sur leur état physiologique pour lutter contre des niveaux élevés des radicaux libres (Cianciosi *et al.*, 2018).

Sur le plan nutritionnel, les nourrissons ayant un régime contenant du miel ont une meilleure formation de sang et une plus grande augmentation de poids par rapport à un régime sans miel. Par rapport au saccharose, l'ingestion de miel par les nourrissons a entraîné une augmentation du taux d'hémoglobine, une meilleure couleur de la peau et une faible sensibilité aux maladies par rapport aux nourrissons nourris normalement ou ayant reçu des agents anticoagulants.

Les nourrissons nourris avec un mélange de miel et de lait ont présenté une prise de poids régulière et constante et une bonne concentration en vitamine B. Dans une autre expérience avec du miel et du lait, il a été démontré que les nourrissons souffraient moins fréquemment de diarrhée et que leur sang contenait plus d'hémoglobine qu'un régime à base de lait sucré au

saccharose. Le fait de donner du miel aux nourrissons améliore l'absorption du calcium dans le sang (Bogdanov *et al.,* 2008).

Mais dans l'estomac des nourrissons de moins d'un an, les spores bactériennes du miel peuvent survivre, se développer et théoriquement fabriquer la toxine. D'autre part, les humains de plus de 12 mois peuvent ingérer le miel sans risque (Bogdanov *et al.,* 2008).

II.4. Quelques propriétés biologiques du miel

La propolis des abeilles a été utilisée en médecine traditionnelle et moderne comme traitement alternatif pour son action antibactérienne, antifongique, anti-inflammatoire, antivirale, antioxydante, gastro-protectrice, neuroprotectrice, antihypertenseur, hépato-protectrice, reproductrice, sur le système immunitaire et hypoglycémiante. Il a également été utilisé pour traiter et prévenir les allergies, la diarrhée, le vieillissement, le paludisme et les maladies cardiaques (Bhalchandra & Yahya, (2016) ; Ramadhan *et al.,* 2019).

II.4.1. Propriétés antioxydantes

Les antioxydants ont plusieurs effets préventifs contre différentes maladies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires, les troubles inflammatoires, la dégénérescence neurologique, la cicatrisation des plaies, les maladies infectieuses et le vieillissement (Ayyavu *et al.,* 2024).

Parmi les composés présents dans le miel, la vitamine C, les composés phénoliques, la catalase, les peroxydes et les enzymes de l'oxydase du glucose ont des propriétés antioxydantes. Certains polyphénols du miel, comme l'acide caféique, ont évolué en tant qu'agents pharmacologiques prometteurs dans le traitement du cancer (Bogdanov *et al.,* 2008).

Les propriétés antioxydantes du miel agissent comme antidépresseur pendant un stress émotionnel, physique et intellectuel élevé (Jaganathan & Mandal, 2009). Des études ont montré que le miel a été associé à une meilleure capacité antioxydante par rapport à la modulation du système immunitaire, à l'influence sur les valeurs lipidiques et à la régulation de la glycémie (Ayyavu *et al.,* 2024).

Le rôle protecteur du miel contre le stress oxydatif dans le foie et les reins chez des rats, a réduit les effets toxiques sur les paramètres histologiques et biochimiques du foie et des reins. On a donc suggéré que le miel d'abeille et la propolis pourraient diminuer la peroxydation lipidique (Zakaria *et al.,* 2009).

II.4.2. Effets sur l'hypotension et la régulation sanguine

Le stress oxydatif est l'une des causes qui provoque l'hypertension. Le miel réduit le stress oxydatif en causant soit la suppression, soit la réduction de l'hypertension artérielle. Dans le diabète, l'effet antioxydant du miel peut également être bénéfique dans le métabolisme des lipides, en inhibant ou en empêchant l'oxydation de lipoprotéines de faible densité (Bhalchandra & Yahya, 2016).

Le même auteur souligne que le traitement au miel a également montré des effets protecteurs sur les organes par l'amélioration des paramètres hématologiques et biochimiques.

Plusieurs auteurs s'intéressent à la façon dont la teneur en glucides d'un aliment donné affecte les niveaux de glucose dans le sang. Les glucides ayant un indice glycémique (IG) faible induisent une légère augmentation du glucose dans le sang, tandis que ceux ayant un IG élevé induisent un taux de glucose sanguin élevé (Bogdanov *et al.*, 2008).

II.4.3. Effet antibiotique

Il a été démontré que le miel conservait des propriétés antibactériennes accrues même lorsqu'il était utilisé sous une forme diluée. On a constaté plus tard qu'en dehors des autres composants, le peroxyde d'hydrogène faisait du miel un agent antibactérien puissant (Alagwu *et al.*, 2011).

Le miel a montré une activité contre les souches microbiennes sensibles et résistantes aux antibiotiques. Il a également prouvé des potentiels antibactériens même contre les bactéries résistantes aux médicaments (Bhalchandra & Yahya, 2016).

II.4.4. Action semblable à l'insuline

Il a été démontré que la consommation de miel avait un effet favorable sur les patients diabétiques, entraînant une diminution significative du glucose plasmatique (Al-Waili, 2003).

Le miel a été bien toléré par les patients diabétiques de type non spécifié et chez les diabétiques de type 2. Après une analyse comparée de la glycémie postprandiale, il a été démontré que les niveaux d'insuline étaient inférieurs à ceux des autres aliments, mais que le taux de sucre dans le sang était égal ou supérieur à celui des autres produits (Bogdanov *et al.*, 2008).

Une étude sur des rats a montré que le miel améliorait le contrôle glycémique chez les rats diabétiques induits par la Streptozotocine, lorsqu'on a combiné de médicaments antidiabétiques

avec du miel. Cela a entraîné une réduction supplémentaire des concentrations sériques de glucose et de fructosamine chez ces souris diabétiques (Nasrolahi *et al.,* 2012).

II.4.5. Activité anti-inflammatoire et propriété cicatrisante

Le miel réduit la réaction inflammatoire même sans présence d'infection. Il y a confirmation histologique de la récupération des tissus avec une infection minimale une semaine après le traitement dans les plaies superficielles de la peau. Les observations cliniques montrent clairement que lorsque le miel est appliqué sur une plaie, il y a moins de rougeur, moins d'œdème et des douleurs mais également il y a accélération de la guérison (Bhalchandra & Yahya, 2016).

Le miel aide contre les infections, favorise la régénération des tissus et réduit les cicatrices même sous sa forme pure non traitée. Dans de nombreux hôpitaux de campagne tropicaux, où les antibiotiques et autres médicaments sont rares, le miel a été utilisé avec succès pendant longtemps (Krell, 1996). Ses propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes sont utiles pour la prévention des processus inflammatoires chroniques comme l'athérosclérose, le diabète sucré et les maladies cardiovasculaires (Bhalchandra & Yahya, 2016).

II.4.6. Effets sur le système reproducteur et la fertilité

Des études ont montré que le miel peut protéger ou améliorer les dommages causés aux testicules chez les rats grâce à son effet antioxydant et que la supplémentation en miel chez des rats normaux améliorait la spermatogenèse (Bhalchandra & Yahya, 2016).

II.5. Quelques paramètres physico-chimiques de la qualité du miel

L'étude des caractéristiques physiques et chimiques du miel est très importante car elles peuvent modifier son goût en influençant les enzymes qu'il contient. Les attributs physiques du miel, notamment le pH, la couleur, l'arôme, la teneur en cendres, l'activité enzymatique et la conductivité électrique, peuvent varier selon le type d'abeille, l'emplacement et l'existence de contaminants (Sharma *et al.,* 2024).

II.5.1. L'Hydroxyméthyl furfural

Le composé organique 5-hydroxyméthylfurfural (HMF) est un aldéhyde cyclique qui peut se former dans différentes denrées alimentaires à partir de la réduction des sucres sous forme acide par réaction de Maillard (Mehrotra *et al.,* 2022).

C'est un composé organique hétérocyclique, dérivé du furane et possède des groupes fonctionnels aldéhyde et alcool. On trouve naturellement de très faibles quantités de ce composé dans les aliments frais contenant du sucre, notamment le lait, le miel, les jus de fruits, les spiritueux et le pain (Basumallick & Rohrer, 2016). Les étapes de sa formation proposées par (Shapla *et al.*, 2018) à partir de la déshydratation du fructose ou du glucose sont rencontrées à la figure 3.

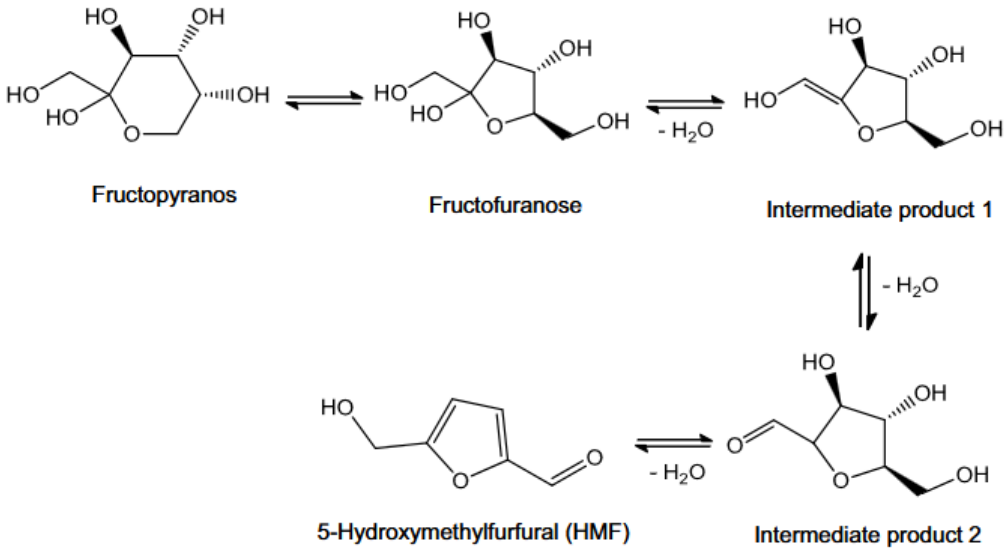


Figure 2: Formation de l'HMF par déshydratation du fructose (Shapla *et al.*, 2018)

Les processus naturels responsables de sa présence se produisent dans la plupart des produits alimentaires contenant du sucre, comme les céréales et les boissons, ainsi que dans tous les types de miels (Sajtos *et al.*, 2024). Sa concentration est toutefois élevée lors du traitement thermique qui est le plus couramment appliqué dans l'industrie alimentaire et les conditions de stockage inappropriées. Selon la Commission du Codex Alimentarius, le niveau limite de l'HMF dans le miel est de 40 mg/kg sauf pour les miels provenant de la région tropicale pour laquelle 80 mg/kg sont fixés (Zsanett *et al.*, 2022). L'HMF est également nocif pour la santé des abeilles. Le contact peut se faire par l'intermédiaire du maïs riche en fructose ou du sirop de sucre inverti donné par l'apiculteur comme aliment d'hiver.

Une concentration élevée du composé peut causer la dysenterie et l'ulcération intestinale, ainsi que la mort des individus (Shapla *et al.*, 2018).

Dans le miel frais, la température élevée, le stockage prolongé, les valeurs élevées d'humidité, la présence de certains acides, minéraux, l'origine botanique et même le matériau du contenant

de stockage peuvent raisonnablement influer sur l'ampleur de la formation de HMF dans les produits du miel (Ciulu *et al.,* 2016).

II.5.2. Humidité relative (HR)

La teneur en humidité est un paramètre lié au degré de maturité du miel et à la température. Elle est déterminée à partir de l'indice de réfraction du miel, mesuré à 20°C, en utilisant un réfractomètre (Chakir *et al.,* 2016). C'est l'une des caractéristiques les plus importantes du miel parce qu'elle est étroitement liée à sa qualité, sa viscosité, sa cristallisation, sa fermentation et sa saveur (Djossou *et al.,* 2013).

Une teneur trop élevée d'eau dans le miel favorise la prolifération des microorganismes, d'où le phénomène de la fermentation. L'influence des conditions environnementales et des techniques de stockage sur le taux d'humidité a été prouvée par plusieurs chercheurs (Ntunzwenimana *et al.,* 2021).

II.5.3. La couleur

La couleur du miel influence principalement son apparence sur le marché mondial, faisant d'elle la caractéristique la plus importante. Des recherches suggèrent que la couleur du miel est directement influencée par sa teneur en cendres, plus précisément la teneur en cuivre et en fer. La couleur du miel varie du jaune clair au rouge foncé ou même noir selon la source végétale (Sharma *et al.,* 2024). Les changements de température, l'augmentation du taux d'humidité, les conditions de stockage, la source florale, la teneur en HMF, les polyphénols, etc., influencent également la coloration du miel. Il est à retenir que plus le miel est clair plus il est pur (Gomes *et al.,* 2010).

II.5.4. Le pH

Le pH assure la texture et la stabilité du miel. Au fil du temps, le processus de fermentation entraîne également une augmentation du pH du miel. Des recherches antérieures ont conclu que la source végétale et l'origine géographique du miel sont des éléments importants qui contribuent aux variations des valeurs de pH (Terrab *et al.,* 2002).

Comme d'autres paramètres physiques, le pH du miel indique la pureté ou la grossièreté de celui-ci. De bons miels doivent avoir des valeurs de pH acides pour favoriser l'inhibition de la croissance microbienne mais aussi avoir un meilleur pouvoir antibactérien (Kouamé *et al.,* 2021).

Le miel se comporte comme un tampon car son pH ne change pas par l'ajout de petites quantités d'acides ou de bases. Il contient l'acide gluconique qui peut se présenter sous la forme non cyclique, qui est la forme acide, ou cyclique qui est une lactone (Bogdanov, 2009).

II.5.5. La conductivité électrique (CE) et les cendres totales (CT)

Selon les normes du Codex Alimentarius (OMS, 2001), et comme soutenu par plusieurs auteurs dont (Sharma *et al.*, 2024), le miel de fleur possède des valeurs de conductivité électrique inférieures à 0,80 ms/cm), tandis que le miel de miellat dépasse le même seuil.

La conductivité électrique est beaucoup utilisée dans le contrôle de routine de la qualité du miel. C'est un bon critère pour l'évaluation de l'origine botanique et de la pureté du miel et se réfère à la matière sèche qu'il contient. La mesure de la conductivité électrique indique indirectement la teneur en cendres du miel (*International Honey Commission* 2009).

Les cendres de miel donnent une indication de pollution environnementale et sont liées à la concentration en sels minéraux, en acide organique et en protéines. Elles se sont révélées utiles pour différencier les miels selon leurs origines florales (Acquarone *et al.*, 2007), mais la quantité d'acides organiques, des minéraux et de protéines et le temps de stockage, sont aussi des facteurs qui peuvent influencer la valeur de la conductivité électrique d'un miel (Karabagias *et al.*, 2014).

II.5.6. L'acidité totale (AT)

L'acidité du miel est causée par les acides organiques, le nectar ou les sécrétions d'abeilles. L'acidité naturelle du miel peut être augmentée par le stockage et la maturation du miel, ainsi que pendant la fermentation du miel. Le miel qui est adultéré avec du sirop de sucre a une acidité très faible (<1), tandis que celui qui est adultérée avec du sucre inverti a une acidité élevée prononcée (Desissa, 2014).

II.5.7. Les sucres réducteurs et totaux

La teneur élevée en saccharose du miel le rend résistant à la détérioration, ce qui en fait un conservateur précieux pour d'autres substances alimentaires. Les miels contiennent pour la plupart le fructose et le glucose, comme sucres réducteurs (Sharma *et al.*, 2024).

Le pourcentage de glucose et de fructose dans le miel varie entre 85 et 95 %, leur quantité étant influencée par la source florale et le nectar (Cavia *et al.*, 2002) ; à cela s'ajoutent quelques disaccharides et trisaccharides.

II.6. Valeurs normatives des paramètres de qualité du miel

Les résultats obtenus dans les échantillons de miel analysés ont été confrontés aux normes du codex alimentarius, reprises par l'EAC et le BBN. Le tableau 2 renseigne sur les valeurs limites que doivent contenir les miels de bonne qualité pour leur consommation sans risque.

Tableau 2 : Renseignements spécifiques sur le miel

Dans l'analyse de la qualité physicochimique des miels, ces renseignements sont les plus importants sinon pour d'autres analyses, d'autres renseignements peuvent être fournis.

S/N	Caractéristiques	Renseignement	Méthode d'analyse
1	Humidité en % m/m, max.	20	AOAC 969.183
2	Cendres totales, % m/m, max.	0.6	AOAC 920.181
3	Acidité totale, meq/Kg, max.	40	AOAC 962.19
4	Hydroxyméthyl furfural, mg/Kg, max.	40	AOAC 980.23
5	Sucres réducteurs, % m/m, min.	- 45 (miellat) - 60 (miel/fleurs)	AOAC 920.183
6	Test de Fiehe,	Négatif	
7	DB ou Sucres totaux, %, min.	65	
8	Matières insolubles	0,1	
9	pH, %, max.	3,2-5.0 et 5,6 (miellat)	
10	Conductivité électrique, mS/cm, max.	0,8	

Cependant, d'autres paramètres de qualité sont vérifiables tels que le rapport fructose-glucose, l'activité diastasique, la couleur, etc., mais nous avons mis dans le tableau les valeurs normatives des différents paramètres que nous avions analysés au cours de notre étude.

CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES

III.1. Le matériel d'étude

Le matériel d'étude est constitué des échantillons de miel qui sont produits et commercialisés au Burundi dans différents marchés.

Les images a, b et c (figure 3), montrent les différents échantillons de miel au marché et au laboratoire.



Figure 3. Echantillons de miels : traités (A), bruts exposés au marché (B) et exposés au laboratoire pour analyse (C)

III.2. Méthode d'échantillonnage et conservation des échantillons

❖ Sites d'échantillonnage

La figure 5 illustre mieux toutes les zones géographiques considérées pour généraliser notre étude sur tout le Burundi.

Cette généralisation se base sur le fait qu'on a considéré une province du Nord (Ngozi), du Sud (Rumonge), de l'Est (Cankuzo), de l'Ouest (Cibitoke) et du centre (Gitega) du pays tel qu'on peut l'observer en points rouges sur la carte à la figure 4.

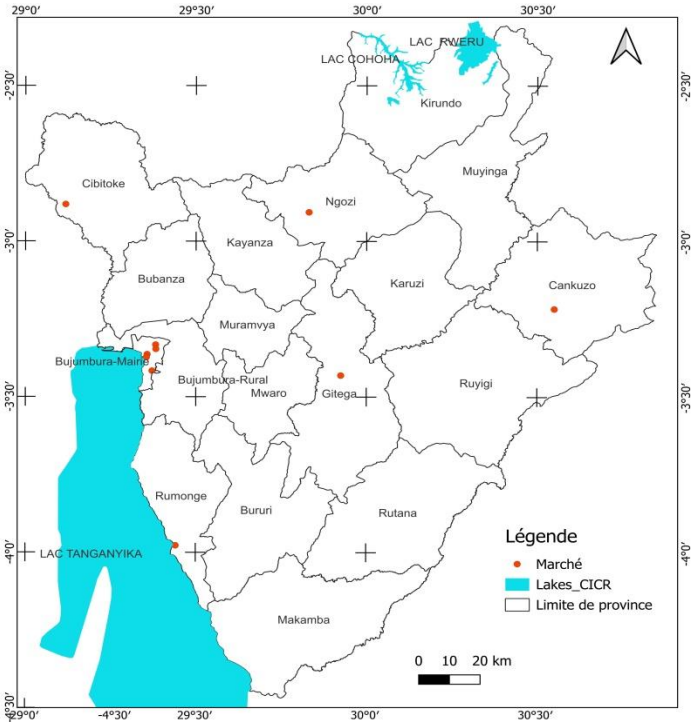


Figure 4. Localisation des Sites d'échantillonnage sur la carte du Burundi

Pour tous les échantillons étudiés, la méthode aléatoire a été utilisée pour la récolte des échantillons, mais pour les échantillons de miel transformé, la récolte a tenu compte de la disponibilité sur le marché. Notre étude a porté sur 14 échantillons de miel provenant des différentes régions du Burundi.

Les échantillons de miel sont de deux catégories renfermant 3 groupes :

- ✓ Les échantillons traités par des unités de transformation (Groupe 1 avec 4 échantillons différents).
- ✓ Les échantillons bruts non traités, vendus directement après récolte (10 échantillons différents).

Les échantillons bruts sont de deux origines, notamment :

- ✓ Les échantillons récoltés dans 5 différents marchés de Bujumbura, dont chez Sioni, Kamenge, Musaga, Ruvumera et Kinama (groupe 2 avec 5 échantillons) ;
- ✓ Les échantillons qui ont été récoltés dans des marchés issus de 5 différentes provinces du Burundi dont : Gitega, Ngozi, Cankuzo, Cibitoke et Rumonge (groupe 3 avec 5 échantillons différents provenant de l'intérieur du pays).

Les échantillons de miel traité proviennent de 4 unités de transformation qui sont : Nyagisenyi, Kabingo, Akeza à Gatabo et Buhumuza.

Pour différencier et analyser les différents échantillons de miel qui ont fait l'objet de notre étude, des codes leur ont été attribués, comportant 3 à 4 lettres en majuscule suivi d'un chiffre. Ces lettres indiquent la catégorie tandis que ces chiffres désignent la provenance.

Les lettres « TRM » signifient miel traité, « BNTR » désignent le miel non traité vendu à Bujumbura et « INTR » renseignent sur le miel non traité provenant de l'intérieur ; tandis que les chiffres indiquent le marché où l'échantillon a été acheté pour le cas des miels non traités, et l'unité de transformation pour le cas des miels traités (tableau 3).
Tous ces échantillons ont été conservés au laboratoire de chimie de l'Université du Burundi, à l'obscurité et à température ambiante, jusqu'à la fin des toutes les analyses.

Tableau 3 : Codes des échantillons analysés

Ces codes nous ont permis de différencier nos échantillons selon les groupes et selon les marchés pour supprimer toute confusion pendant les analyses.

Echantillons	Marché ou unité de transformation	Date de récolte	Date d'arrivée au laboratoire
TRM1	Nyagisenyi (Gitega)	04/11/2024	05/11/2024
TRM2	Kabingo	04/11/2024	05/11/2024
TRM3	Akeza à Gatabo	05/11/2024	05/11/2024
TRM4	Buhumuza (Cankuzo)	05/11/2024	05/11/2024
BNTR1	Sioni	04/11/2024	05/11/2024
BNTR2	Musaga	04/11/2024	05/11/2024
BNTR3	Kinama	06/11/2024	07/11/2024
BNTR4	Kamenge	04/11/2024	05/11/2024
BNTR5	Ruvumera	04/11/2024	05/11/2024
INTR1	Gitega (central)	03/11/2024	05/11/2024
INTR2	Ngozi (central)	04/11/2024	06/11/2024
INTR3	Cibitoke (central)	06/11/2024	07/11/2024
INTR4	Cankuzo (central)	07/11/2024	08/11/2024
INTR5	Rumonge (central)	05/12/2024	05/12/2024

III.3. Protocoles d'analyse des paramètres de qualité

Pour tous les paramètres étudiés ; différents matériels, réactifs et méthodes d'analyse ont été utilisés. Pour tout pesage, la balance analytique de marque OHAUS PIONEER (annexe 5 b) a été utilisée. La verrerie a été utilisée pour chaque analyse selon l'utilité. Ils ont été signalés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Matériel, réactifs et méthodes utilisés pour l'analyse qualité

Tous les matériel et réactifs ont été condensés dans ce tableau pour éviter de les répéter dans les différents protocoles.

Paramètres	Matériels	Réactifs	Méthodes
Indice de réfraction, Humidité et Degré Brix	Refractomètre, thermomètre, congélateur et bain marie	Eau distillée	Réfractométrie
Conductivité électrique	Conductimètre, thermomètre, congélateur, balance analytique et agitateur magnétique	Eau distillée	Conductimétrie
Test de Fiehe	balance analytique, agitateur magnétique et plaque chauffante	Solution de résorcinol et HCl concentrée, Ether de pétrole	Test de présence
Matières insolubles	Etuve, balance, creuset, agitateur magnétique et une plaque chauffante	Eau distillée	Séchage
Cendres totales	Four, Creuset et balance analytique	Aucun	Calcination
pH	pH-mètre et agitateur magnétique	Eau et tampons de pH 4 et 9	pH-métrie
Acidité totale	pH-mètre et agitateur magnétique	NaOH 0.1 N et l'eau distillée	Titrimétrie
Hydroxyméthylfurfural	Spectrophotomètre UV SHIMADZU (284-336 nm) et une cuvette de 1 cm	Solution de carrez I et II et $NaHSO_3$	Colorimétrie

Sucres réducteurs	Agitateur magnétique, plaque chauffante et bain marie	Solution de Glucose 5 %, Fehling A et B et eau distillée.	Titrimétrie

III.3.1. Détermination de l'humidité relative et du degré Brix par la méthode réfractométrique

Dans l'agroalimentaire et pour le miel en particulier, l'indice de réfraction renseigne sur la teneur en humidité ou la présence de l'eau libre dans le miel **(Bogdanov, 2009)** à partir de la valeur obtenue par le réfractomètre tandis que le degré Brix donne le pourcentage en sucre total **(Kouamé *et al.*, 2021; Koudegnan *et al.*, 2021)**, soit X°B = X % de sucres totaux dans l'aliment **(OMS, 2001) et *https://www.agir-crt.com/blog/refractometre-mesure-degre-brix-choix-appareil/*.**

Le réfractomètre donne directement l'indice de réfraction et l'indice de Brix. La valeur maximale en pourcentage de l'humidité d'un miel est de 20 % (Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; Bogdanov *et al.*, 2004). Le refractomètre de type Abbe Novex 98.490 (annexe 1 d) a été utilisé.

❖ **Protocole de préparation de l'échantillon**

La méthode réfractométrique utilisée par Alvarez-Suarez *et al.*, (2018); Bogdanov et al., (2004) a été appliquée.

- ✓ Après homogénéisation de l'échantillon, une petite quantité a été prélevée dans un bécher et fermer ;
- ✓ Le bécher était placé dans un bain marie réglé à 50°C jusqu'à ce que les cristaux de sucre se dissolvent, puis refroidit à température ambiante et placé au congélateur pour atteindre 20°C ;
- ✓ Une petite quantité de l'échantillon a été directement versé dans l'œil du réfractomètre après calibrage avec de l'eau distillée;
- ✓ Le réfractomètre était fermé et la phase opaque a été ajustée grâce aux boutons de réajustement avant de faire la lecture ;
- ✓ Une fois bien réajusté, la lecture de l'indice de réfraction et le degré Brix a été faite sur l'écran de l'appareil et les valeurs ont été notées ;
- ✓ La valeur de l'IR obtenue a été confrontée au tableau de correspondance de l'humidité, exprimé en g/100 g (annexe 2) pour obtenir la valeur de l'humidité de l'échantillon.

Pour chaque échantillon, deux essais ont été faits et la moyenne a été considérée.

III.3.2. Détermination de la conductivité électrique

La conductivité électrique a été déterminée suivant le protocole de EAS 36:2020**,** mais aussi selon (*International Honey Commission*, 2009) modifiée.

Le conductimètre de marque Consort C6010 (annexe 1 f) a été utilisé pour la détermination des valeurs de la conductivité électrique des échantillons de miel.

❖ **Préparation de l'échantillon**

Les échantillons ont été homogénéisés, puis une masse M a été pesée selon la formule suivante : $\mathbf{M = \frac{100x20}{100-HR}}$, avec M= masse de l'échantillon de miel à peser pour déterminer la conductivité électrique du miel et HR= % de l'humidité relative en g/100 g obtenue au point précédent. Après calcul, les valeurs de masses M, de conductivité électrique pratique C.E.Pr et conductivité électrique C.E obtenues pour les différents échantillons ont été enregistrées dans le tableau 8.

Pour tous les échantillons, la masse pesée (masse pratique) est la masse lue sur la balance. Cette masse a été dissoute dans 100 ml d'eau distillée par agitation magnétique.

Une fois bien homogénéisée, la conductivité électrique à 20°C a été déterminée moyennant le conductimètre, sachant qu'elle est exprimée en mS/cm. La valeur obtenue était en µS/cm, qu'on a multiplié par le millième pour obtenir une valeur en mS/cm.

La conductivité électrique adaptée aux masses théoriques pour chaque échantillon a été obtenue par la formule :

$$\mathbf{C.E = MxC.E.Pr/Mp}$$

Avec : C.E = Conductivité électrique après la règle de 3 simples; C.E.Pr = conductivité électrique de la masse pratique et Mp = masse pratique pesée. **Note** : Une bonne conductivité électrique du miel ne doit pas dépasser 0.8mS/cm.

III.3.3. Test de Fiehe

L'objectif de ce test est de vérifier si on a ajouté du sucre dans le miel ou pas. Cette analyse a été effectuée suivant la méthode proposée par NB EAS 36 : 2020, utilisée au Bureau Burundais de Normalisation.

a) Préparation de la solution de résorcinol

On a pesé 1 g de résorcinol que l'on a dissout dans 100 ml de HCl concentré.

b) Mode opératoire du test de Fiehe

- ✓ 2 g de miel ont été pesé
- ✓ 10 ml de H_2O et 30 ml d'éther de pétrole ont été ajoutés pour extraction
- ✓ Le mélange a été mis dans l'ampoule à décanter puis retourné avant de le laisser reposer en vue de séparation
- ✓ Nous avons ajouté encore 5 ml d'éther de pétrole pour se rassurer que la phase inférieure était déjà écoulée ; sinon nous décantions encore
- ✓ Nous avons récupéré la phase inférieure dans le bécher et l'amené sur une plaque chauffante pour chauffer jusqu'à moitié
- ✓ Retiré de la plaque, 2 ml de la solution préparée de résorcinol ont été ajoutés puis nous avions apprécié la couleur : si la couleur est rouge, cela signifie qu'on a ajouté du sucre (le test est positif) et au cas contraire, cela signifie qu'il n'y a pas eu d'ajout de sucre (le test est négatif).
- ✓ La figure 5 montre les différences de couleur après ajout de la solution de résorcinol.



Figure 5. Test de présence du sucre ajouté dans les échantillons de miel étudiés

III.3.4. Détermination de la matière insoluble

La matière insoluble a été déterminée en appliquant la méthode NB EAS 20 :36. L'étuve (annexe 1b) utilisée pour le séchage était de marque CARBOLITE, type AX30.

❖ **Mode opératoire**

- ✓ Nous avons pesé la masse du creuset vide et l'avons nommée m0

- ✓ Puis 5 g d'échantillon de miel (m1) ont été pesés et dissous dans 250 ml d'eau chaude et suivi d'homogénéisation par agitation magnétique
- ✓ Le mélange a été filtré à l'aide d'une unité de filtration sous vide
- ✓ Nous avons ramené à l'étuve le creuset frité avec échantillon
- ✓ Après étuvage, le creuset avec échantillon a été pesé pour obtenir la masse m2.
- ✓ Nous avons calculé le pourcentage de la matière en suspension (M.I) selon la formule suivante : **$M.I = (m_2-m_0) \times 100/m_1$**

III.3.5. Analyse des cendres totales

La méthode utilisée par (Kouamé *et al.,* 2021) nous a permis de déterminer les cendres totales dans les différents échantillons de miel analysés.

Le four de marque Nabertharm 30-3000°C (annexe 1 a) a été utilisé pour la calcination des échantillons.

❖ **Procédure**

- ✓ Nous avons pesé la masse du creuset vide et l'avons nommée mo,
- ✓ Puis 5 g de l'échantillon dans le creuset, nommée m1
- ✓ Nous avons mis le creuset contenant l'échantillon dans le four à 550°C pendant 3 à 4 h puis il a été retiré et refroidit au dessiccateur
- ✓ La masse du creuset + échantillon a été pesée et nommée m2.

  Les cendres totales sont exprimées en pourcentage et déterminées à partir de la formule ci-après : $\mathbf{C.T} = \frac{(m2-m0)}{\mathbf{m1}} \boldsymbol{x100}$

III.3.6. Détermination du pH et de l'acidité totale

Pour le miel, le pH représente un indice de la «réactivité acide» (Koudegnan *et al.,* 2021). La méthode proposée par Chakir *et al.,* (2016), *International Honey Commission,* (2009) et NB EAS 36 : 2020 a été utilisée pour déterminer le pH et l'acidité totale dans les différents échantillons de miel analysés.

❖ **Mode opératoire**

- ✓ Nous avons calibré d'abord le pH-mètre avec les solutions tampons.

- ✓ Puis, 13.3333 g de l'échantillon ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée tout en agitant avec l'agitateur magnétique.
- ✓ Les électrodes du pH-mètre (annexe 1 e) ont été immergées dans la solution pour obtenir la valeur de pH.
- ✓ Quelques gouttes de phénolphtaléine ont été ajoutées
- ✓ En fin, la solution de l'échantillon a été titrée par une solution de NaOH 0,1 M tout en surveillant la variation du pH jusqu'à ce que ce dernier soit égal ou légèrement supérieure à 8,30. A ce moment-là, il y a changement de coloration, on arrêtait la titration et on notait le volume de la solution de NaOH utilisé.

L'acidité totale dans le miel est calculée en milliéquivalent par kilogramme (mEq/Kg) selon la relation suivante : $\mathbf{A.T} = \frac{VNaOH\ x\ 100}{\text{masse échantillon}}$ ou en gramme par litre (g/l) selon la relation :

$$\mathbf{A.T} = \frac{VNaOH\ x\ 0.25}{\text{masse échantillon}}$$

III.3.7. Détermination de l'hydroxyméthyl furfural

La méthode utilisée par Sajtos *et al.,* (2024) ; White, (1979); Ma. Desiree *et al.,* (2022) et NB EAS 36:2020, a été utilisée pour déterminer le taux de HMF dans les échantillons de miel analysés.

a) Préparation des réactifs

- ✓ Solution de carrez I : on a dissous 3,75 g d'Hexacyanoferrate de potassium dans 25 ml d'eau distillée.
- ✓ Solution de carrez II : 7,5 g d'acétate de zinc ont été dissout dans 25 ml d'eau distillée
- ✓ Solution de bisulfite de sodium: 0,1 g d'hydrogénosulfite de sodium a été dissout dans 50 ml d'eau distillée. Cette solution a été utilisée directement après préparation.

b) Préparation de l'échantillon

- ✓ Après avoir bien homogénéisé l'échantillon, approximativement 5 g ont été pesé dans un bécher de 50 ml puis dissout avec 25 ml d'eau distillée et la solution a été transférée quantitativement dans une fiole de 50 ml.
- ✓ 0,5ml de la solution carrez I a été ajoutée puis mélangée.
- ✓ Nous avons ajouté 0,5 ml de la solution carrez II et avons mélangé encore.
- ✓ L'eau distillée a été ajoutée jusqu'au trait de jauge.
- ✓ Quelques gouttes d'éthanol ont été ajoutées pour faire disparaitre la mousse.
- ✓ La solution a été filtrée et 10 premiers ml du filtrat ont été jetés.

- ✓ Deux tubes à essais ont reçu chacun 5 ml du reste de filtrat.
- ✓ 5 ml d'eau distillée ont été ajoutés dans l'un des tubes et dans l'autre 5 ml de la solution d'hydrogénosulfite de sodium. Le premier tube a servi de l'échantillon tandis que le second était le blanc.

c) Détermination de la concentration en HMF

Pour cette analyse, le spectrophotomètre UVmini-1240 SHIMADZU (figure 6), a été utilisé pour lire l'absorbance des échantillons de miel. Comme il n'y avait pas de standard de calibration, la lecture a été faite à deux longueurs d'ondes dont 336 nm puis 284 nm. Si l'absorbance lue à 284 nm est supérieure à 0,6, on doit diluer l'échantillon avec de l'eau et le blanc avec la solution d'hydrogénosulfite de sodium.



Figure 6. Spectrophotomètre UV-Visible utilisé pour déterminer le taux d'HMF

d) Expressions des résultats

$$\textbf{HMF}\ \left(\frac{\textbf{mg}}{\textbf{Kg}}\right) = \frac{(A284 - A336)\,x\ 149.7\,x\ 5\ xD}{\textbf{W}}$$ où,

- ✓ A284 est l'absorbance lue à la longueur d'onde 284 nm
- ✓ A336 est l'absorbance lue à la longueur d'onde 336 nm
- ✓ W est la masse en g de l'échantillon pesé
- ✓ D est le facteur de dilution et 149,7 est une constante

Les valeurs des HMF et des absorbances des échantillons de miel sont retrouvées dans le chapitre 4 des résultats.

III.3.8. Sucres réducteurs

Les sucres réducteurs ont été déterminés dans ces échantillons selon la méthode de (Navarre, J., 1974)**,** appliquée par Souad (2019).

a) Principe

Le principe est basé sur la réduction de l'oxyde cuivrique CuO en oxyde cuivreux. Il s'observe alors une coloration rouge brique, indiquant la fin de la réaction.

b) Mode opératoire

On commence par étalonner la liqueur de Fehling par une solution de glucose à 5%, puis on détermine la quantité des sucres contenus dans l'échantillon. Les solutions de Fehling A et B ont été préparées suivant les réactions ci-après :

Fehling A : 40 g de $CuSO_4.5H_2O$ + 2 ml de H_2SO_4 + eau distillée

Fehling B : 200 g de tartrate neutre de sodium et de Potassium + 150 g de NaOH + eau distillée (les deux solutions ont été ramenées à 1000 ml par ajout de l'eau distillée).

c) Etalonnage de la liqueur de Fehling

Pour l'étalonnage, nous avons introduit dans un erlenmeyer 10 ml de la solution de Fehling A et 10 ml de B et ajouté 30 ml d'eau distillée. L'erlenmeyer a été placé sur une plaque chauffante avec agitateur et chauffé légèrement. Nous avons versé goutte à goutte la solution de glucose à 5 % contenue dans la burette graduée, jusqu'à la décoloration complète de la liqueur de Fehling et formation d'un précipité de monoxyde de cuivre de couleur rouge brique. La figure 7 montre la différence entre les deux solutions de liqueur de Fehling avant titrage (1) et après titrage par l'échantillon (2).



Figure 7. Dosage des SR dans les miels

d) Dosage

- ✓ La solution de glucose a été remplacée par l'échantillon préparée (10 ml de miel dissout dans 100 ml d'eau distillée, soit 10 fois diluée).
- ✓ 10ml de solution de Fehling A plus 10 ml de Fehling B et 30 ml d'eau distillée ont été introduits dans un erlenmeyer puis nous avons opéré comme nous avons procédé pour le glucose.

III.4. Analyses statistiques

Après avoir établi le tableau des résultats moyennant le logiciel Excel et les différents graphiques à partir du logiciel Origine 8.5.0 SR1, les analyses statistiques ont été réalisées avec l'ACP (analyses en composantes principales) et le test de Student.

L'ACP a été réalisé doublement :

- ✓ Pour vérifier les ressemblances et les différences entre les groupes par rapport aux variables (paramètres analysés), en utilisant le logiciel PAST.
- ✓ Pour observer la contribution des différents échantillons dans chaque variable par la projection des marchés et unités de transformation dans le cercle de corrélation, en utilisant le logiciel R (avec son interface RStudio) version 2024.12.0 + 467.

Le test de Student a été utilisé pour voir si ces résultats sont statistiquement identiques ou différents, en considérant le seuil de 0,05 d'intervalle de confiance, moyennant le logiciel Stata 15.

III.5. Cadre de référence

La récolte des échantillons, le transport et la conservation au laboratoire à la température ambiante ont été faits en avance pour poursuivre la suite du processus.

Plusieurs paramètres ont été analysés afin de vérifier la qualité des miels commercialisés sur différents marchés à travers le pays. Ces paramètres sont le degré Brix, l'humidité relative, le pH, l'acidité total, les cendres totales, la conductivité électrique, les matières insolubles, la détermination de l'hydroxyméthyl furfural, le test de Fiehe et les sucres réducteurs.

Afin d'élargir notre étude sur tout le pays, quelques marchés ont été considérés en tenant compte de 3 critères :

- ✓ La géographie du pays qui a permis de considérer des marchés du nord, du sud, du centre, de l'ouest et de l'est du pays, dont Ngozi, Rumonge, Gitega, Cibitoke et Cankuzo.
- ✓ Les marchés de la ville de Bujumbura dont les miels proviendraient des différentes provinces, dont Sioni, Musaga, Kinama, Kamenge et Ruvumera.
- ✓ Les miels traités dans des usines de transformation qui auraient des origines géographiques différentes.

Pour arriver à mener à bien notre recherche, une lecture suffisante a été faite dans des articles scientifiques, des sites internet reconnus, des livres, la recherche des informations auprès des spécialistes, etc.

En outre, les analyses ont été faites au laboratoire de chimie de l'Université du Burundi. Les résultats d'analyses ont été confrontés entre différents groupes d'échantillons et des marchés, tenant compte de ceux de la ville de Bujumbura à ceux des provinces mais également, entre les miels traités et les miels non traités. Cette confrontation a été faite après des tests statistiques bien faits en utilisant les logiciels PAST, R Studio, Stata 15, OriginPro 8.5.0 et MS Excel.

CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

Après analyse de tous les échantillons de miels étudiés, tous les résultats obtenus ont été enregistrés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Valeurs obtenues au laboratoire après analyse des échantillons

Echan.	IR	DB (%)	HR (%)	C.E (mS/cm	F T	M.I (g)	C.T (%)	pH	A.T (mEq/Kg)	HMF (mg/Kg)	S.Red (%)
TRM1	1,498	83,0	15,5	0.202	-	0,019	0,597	4,41	24,756	27,095	61,76
TRM2	1,490	82,0	18,5	0,156	+	0,079	0,059	4,29	23,000	2,245	68,85
TRM3	1.486	79,0	19,1	0,082	-	0,039	0,099	3,94	22,500	8,084	95,45
TRM4	1.486	78,2	20,1	0,069	-	0,040	0,396	3,86	18,750	15,868	79,24
BNTR 1	1.483	76,3	21,4	0,144	-	0,020	0,138	4,27	15,000	29,341	97,67
BNTR 2	1.482	76,8	21,8	0,734	+	0,020	0,119	4,17	27,000	35,179	75,0
BNTR 3	1.489	78,0	19,0	0,105	+	0,040	0,136	3,82	51,751	8,083	61,78
BNTR 4	1.490	80,9	18,4	0,099	+	0,020	0,039	3,81	40,501	13,922	77,77
BNTR 5	1.485	77,9	20,5	0,137	-	0,059	0,059	4,34	14,250	7,185	67,74
INTR1	1.496	82,9	16,0	0.089	-	0,019	0,019	3,67	45,751	0,149	97,67
INTR2	1.486	78,0	20,0	0.071	-	0,012	0,099	3,94	18,750	0,598	97,67
INTR3	1.486	76,8	19,9	0.124	-	0,011	0,199	4,01	16,500	12,799	80,76
INTR4	1.4820	74,3	21,8	0,124	-	0,040	0,059	4,12	42,001	6,886	84,0
INTR5	1,4850	78,0	20,6	0,004	+	0,079	0,269	4,67	39,009	1,946	60

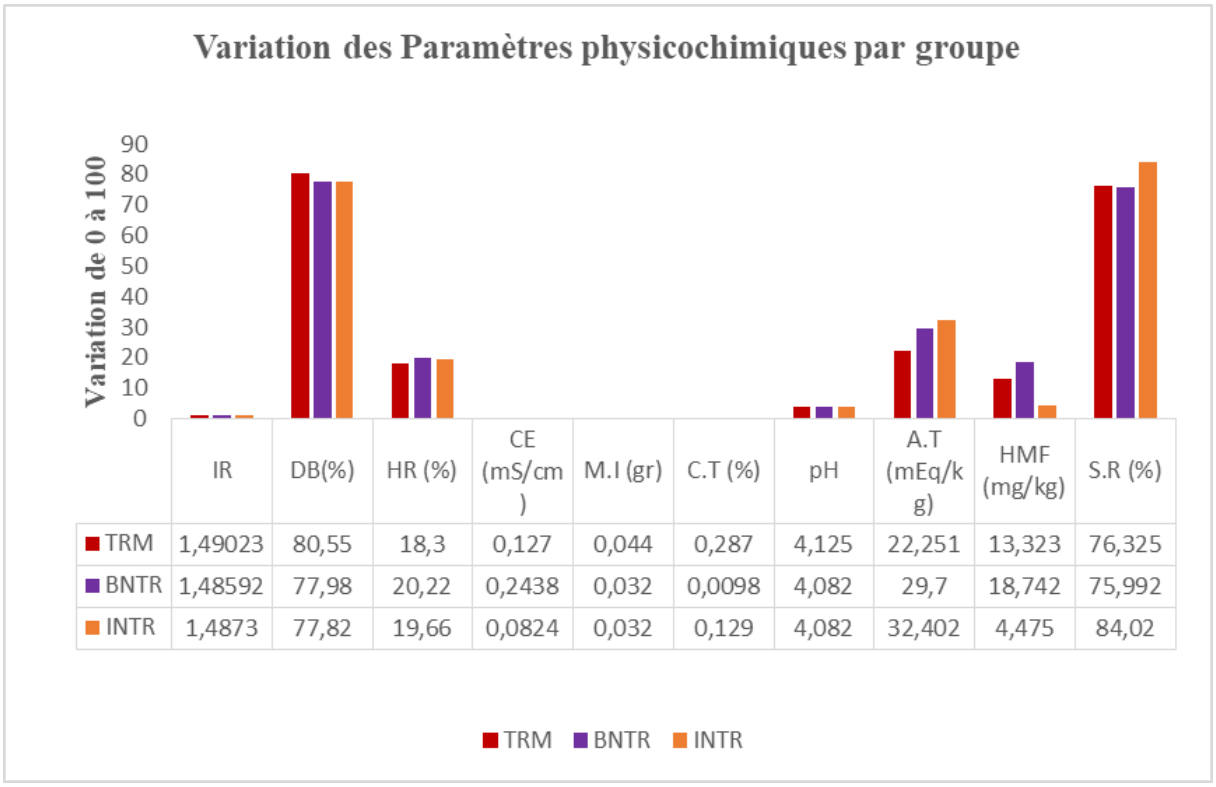
IV.1. Résultats moyens par groupe et discussion

Dans la poursuite de notre objectif, tous les résultats des différents marchés ont été répartis en trois groupes selon la provenance des échantillons, tels que repris dans le tableau 6. C'est dans cette optique que tous les marchés de Bujumbura ont formé un seul groupe BNTR ; ceux des provinces, un autre groupe INTR et ceux transformés, un groupe à part TRM. Les variations des paramètres physicochimiques de la figure 8, montrent normalement les différences entre les différents groupes pour tous les paramètres analysés.

Tableau 6 : Résultats moyens et écart-types de trois groupes des miels analysés

Ce tableau renferme uniquement les résultats moyens de tous les paramètres pour chaque groupe des miels. Néanmoins les résultats moyens par marché de tous les échantillons analysés, sont repris dans le tableau 5.

Groupes	IR	DB (%)	HR (%)	C.E (mS/cm)	M.I (gr)	C.T (%)	pH	A.T (mEq/Kg)	HMF (mg/Kg)	S.R (%)
TRM	1,490±0,005	80,55±2,002	18,3±1,714	0,127±0,054	0,044±0,022	0,287±0,221	4,125±0,230	22,251±2,188	13,323±9,305	76,325±12,671
BNTR	1,485±0,003	77,98±1,596	20,22±1,324	0,244±0,246	0,032±0,015	0,098±0,041	4,082±0,224	29,700±14,594	18,742±11,427	75,992±12,199
INTR	1,487±0,005	77,82±2,488	19,66±0,044	0,082±0,025	0,032±0,092	0,129±0,329	4,082±12,274	32,402±12,274	4,475±4,801	84,02±13,858
Moyenneg	1,487±0,004	78,65±2,388	19,47±1,852	0,153±0,167	0,035±0,022	0,163±0,154	4,094±0,269	28,537±12,179	12,098±10,796	78,954±13,486



	IR	DB(%)	HR (%)	CE (mS/cm)	M.I (gr)	C.T (%)	pH	A.T (mEq/kg)	HMF (mg/kg)	S.R (%)
TRM	1,49023	80,55	18,3	0,127	0,044	0,287	4,125	22,251	13,323	76,325
BNTR	1,48592	77,98	20,22	0,2438	0,032	0,0098	4,082	29,7	18,742	75,992
INTR	1,4873	77,82	19,66	0,0824	0,032	0,129	4,082	32,402	4,475	84,02

Figure 8. Variation des paramètres physicochimiques par groupe

Le graphique ci-dessus donne les variations des valeurs moyennes pour tous les paramètres étudiés dans les trois catégories de miel.

Il ressort que les trois catégories de miel étudiées ont des valeurs très proches pour des paramètres tels qu'IR, DB, HR, CE, MI, CT et pH. Ce n'est pas le cas pour les AT, HMF et SR. Pour ces derniers, on observe que les miels non traités ont une valeur élevée d'AT par rapport aux miels traités.

Il existe une grande variabilité d'HMF pour les trois catégories des miels, alors que les sucres réducteurs sont élevés dans les miels provenant de l'intérieur par rapport à ceux des autres catégories dont les valeurs ne diffèrent pas presque.

Les INTR indiquent des valeurs de SR et de AT élevées par rapport aux autres, tandis que les BNTR donnent des valeurs de HMF élevées par rapport aux TRM et INTR.

Cependant, la grande valeur de l'IR était rencontrée dans les TRM et la petite dans les BNTR ; c'est aussi le cas pour le degré Brix. Pour l'humidité relative, la grande valeur a été rencontrée dans les BNTR et la petite dans les TRM.

Ces résultats montrent que les valeurs moyennes par groupe de CE, MI, CT et pH indiquent qu'il n'y a pas une grande variabilité dans la qualité car on observe une certaine homogénéité. La variabilité peut être observée clairement en raison des concentrations des certains échantillons constituant les groupes.

a) L'indice de réfraction, le degré Brix et l'humidité relative

La figure 9 illustre les différentes variabilités de l'indice de réfraction, le degré Brix et l'humidité relative dans les échantillons.

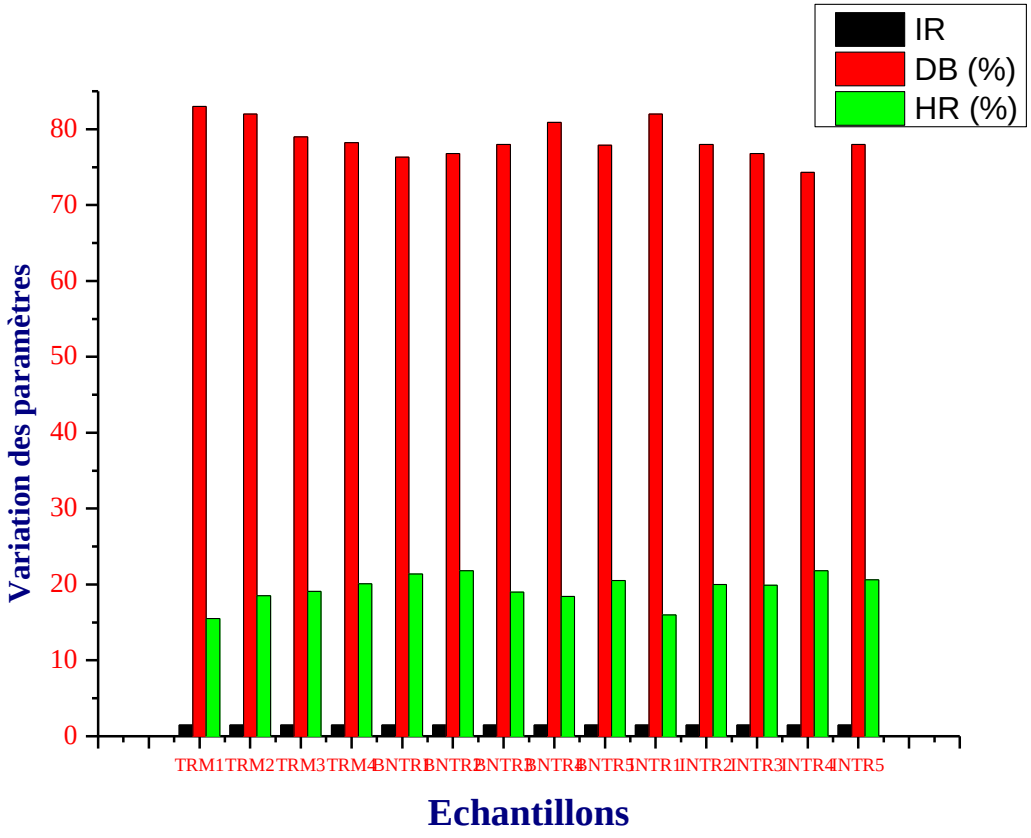


Figure 9. Variation des paramètres physicochimiques par échantillon pour IR, HR et DB

❖ **L'humidité relative**

En parcourant tous les échantillons, on constate que le HR a varié de 15,5 à 21,8 %.

Les moyennes de groupes ont varié de 18,3±1,714% à 20,22±1,324 %, et indiquent que les TRM et INTR sont de bonne qualité bien que les échantillons INTR4 et INTR5 ont une HR > 20 %. Les miels vendus dans les marchés de Bujumbura, notamment chez SION, MUSAGA et RUVUMERA ne respectent pas les normes car ils présentent des valeurs de HR > 20 %.

On conclut que ces valeurs hors normes seraient dues à l'ajout de l'eau par les vendeurs.

Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par Ntunzwenimana *et al.*, (2021) au Burundi, inférieures à celles obtenues par Yang *et al.*, (2019) et comprises entre celles obtenues par Terrab *et al.*, (2002) au Maroc qui étaient dans les limites de 14 % à 24,1 %**.**

❖ **Le degré Brix**

Il indique encore le taux des sucres totaux dans les miels et a varié de 74,3 à 83 %, dans les INTR4 et TRM1 respectivement. Leurs moyennes respectives par groupe étaient comprises entre 78,65 ± 2,388 % et 80,55 ± 2,002 %.

Tous ces échantillons respectent les normes de qualité selon le Codex Alimentarius **(OMS, 2001) et NB EAS (2020).** Ces valeurs corroborent avec celles obtenues par M Asaduzzaman *et al.*, (2015) ; Ntunzwenimana *et al.*, (2021), au Japon et au Burundi, respectivement.

b) Le pH, l'acidité totale et l'hydroxyméthyl furfural

Les différences de pH, d'acidité totale et d'hydroxyméthyl furfural, existantes entre ces échantillons analysés au laboratoire sont observées à la figure 10.

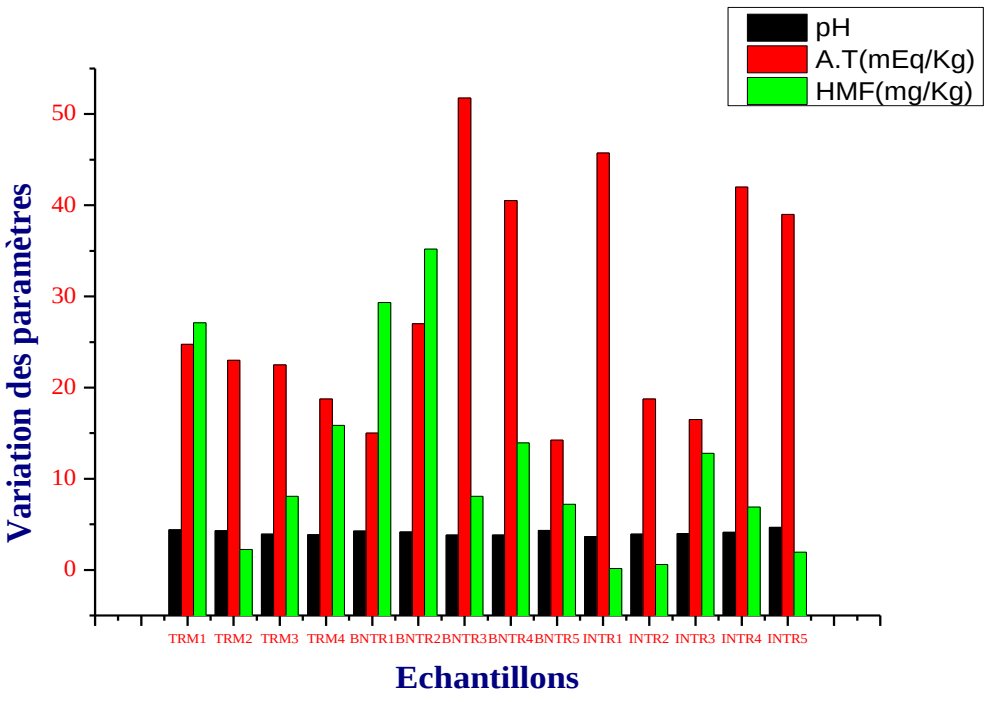


Figure 10. Variation des paramètres physicochimiques par échantillons pour pH, A.T et HMF

❖ **Le pH**

Le pH a varié de 3,67 à 4,67, alors que les valeurs moyennes par groupe ont varié de 4,082 ± 0,224 à 4,125 ± 0,230. Ces valeurs, étant dans les normes, indiquent que tous ces miels sont de bonne qualité.

Elles ont de ressemblance avec celles obtenues par Yang *et al.,* (2019) et Meda *et al.,* (2005), et se trouvent dans les limites de celles obtenues par Karabagias *et al.,* (2014), qui ont nagé entre 3,40 et 5,31**.**

❖ **L'acidité totale**

Pour l'AT, la variation a été de 14,25 à 51,751 mEq/kg. Les moyennes par groupe se sont écartées de 22,251 ± 2,188 à 32,402 ± 12,274 mEq/kg.

Des valeurs similaires ont été obtenues par Karabagias *et al.,* (2014). Cette limite renseigne qu'en générale les miels commercialisés dans les marchés du Burundi respectent les normes de qualité en terme d'acidité totale, mais quelques efforts restent à fournir dans le sens d'améliorer la qualité pour les marchés de Kinama, Gitega et cankuzo qui ont présenté des valeurs > 40mEq/kg.

❖ **L'Hydroxyméthyl furfural**

Les résultats montrent une variation de 0,149 à 35,179 mg/kg et leurs moyennes par groupe sont entre 4,475 ± 4,801 et 18,742 ± 11,427 mg/Kg.

Ces résultats rassurent une bonne qualité pour ces miels et indiquent que tous ces miels n'ont subi ni chauffage ni un probable vieillissement. Ils répondent aux normes du Codex Alimentarius et corroborent avec ceux obtenus par (Agnieszka *et al.,* 2018)**,** s'écartent plus de ceux obtenus par Sajtos *et al.,* (2024) **;** Maryam *et al.* (2015) dans le miel longtemps conservés qui ont atteint le 200 mg/Kg.

Pour tous les échantillons analysés, les valeurs des absorbances pour les deux longueurs d'ondes sont condensées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Valeurs des absorbances en guise de l'obtention de HMF

Le tableau ci-après donne les valeurs des absorbances obtenues pour tous les échantillons. Ce sont ces valeurs qui nous ont permis de trouver les valeurs de HMF observées au tableau 5 ci-haut mentionné.

Echantillons	Abs à 336 nm	Abs à 284 nm
TRM1	0,060	0,241
TRM2	0,011	0,026
TRM3	0,070	0,124
TRM4	0,030	0,136
BNTR1	0,034	0,230
BNTR2	0,086	0,321
BNTR3	0,051	0,105
BNTR4	0,022	0,115
BNTR5	0,061	0,109
INTR1	0,012	0,013
INTR2	0,007	0,011
INTR3	0,145	0,20
INTR4	0,007	0,057
INTR5	0,007	0,053

c) Les sucres réducteurs

Concernant les sucres réducteurs, la figure 11 indique les variations de ce paramètre dans tous les échantillons étudiés.

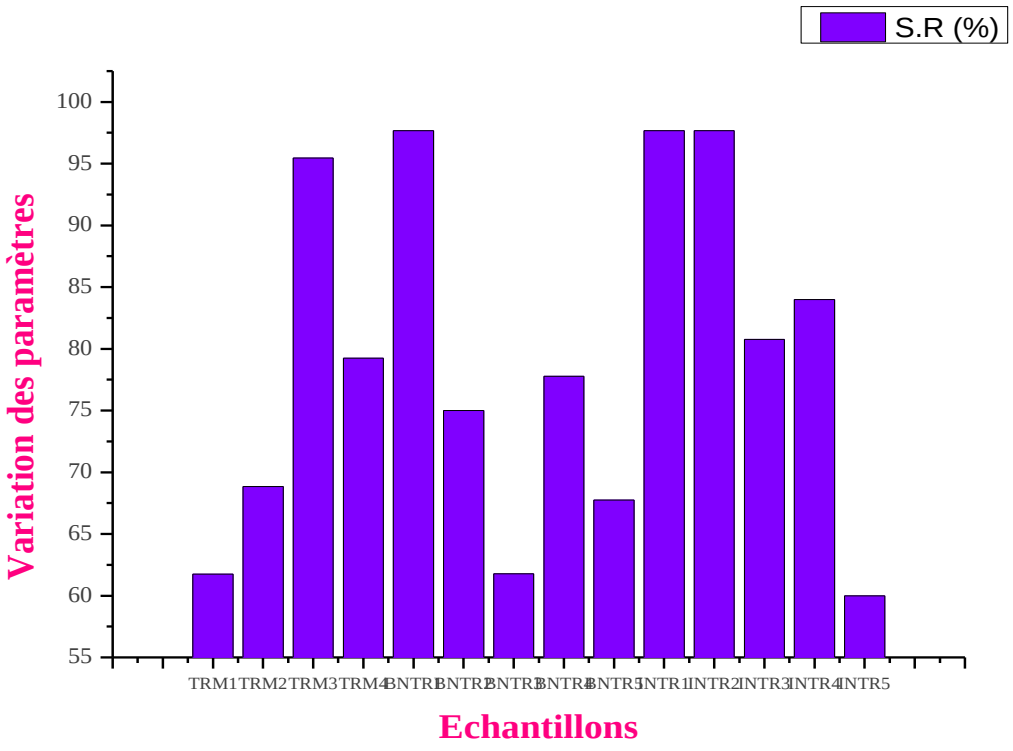


Figure 11. Variation des paramètres physicochimiques pour les SR

Les SR ont varié de 60 à 97,67% individuellement, alors que leurs moyennes par groupe ont varié de 76,325±12,671 % à 84,02±13,858 %. Selon les normes du codex alimentarius (OMS, 2001), ces miels sont de bonne qualité et coïncident avec les miels commercialisés au Burkina-Faso (Lamien-Meda *et al.*, 2005)**,** car les sucres réducteurs ne doivent pas être < à 60 % pour les miels à fleurs et 45 % pour les miellats.

Les échantillons TRM3, BNTR2, INTR1 et INTR2, provenant respectivement de l'usine AKEZA A GATABO, des marchés de MUSAGA, GITEGA et NGOZI ont obtenus plus de 80 % et jugés supérieures à celles obtenues par Ntunzwenimana *et al.* (2021).

d) La conductivité électrique, les matières insolubles et les cendres totales

La conductivité électrique, les matières insolubles et les cendres totales ont variés différemment dans ces échantillons, tel qu'on peut le constater sur la figure 12.

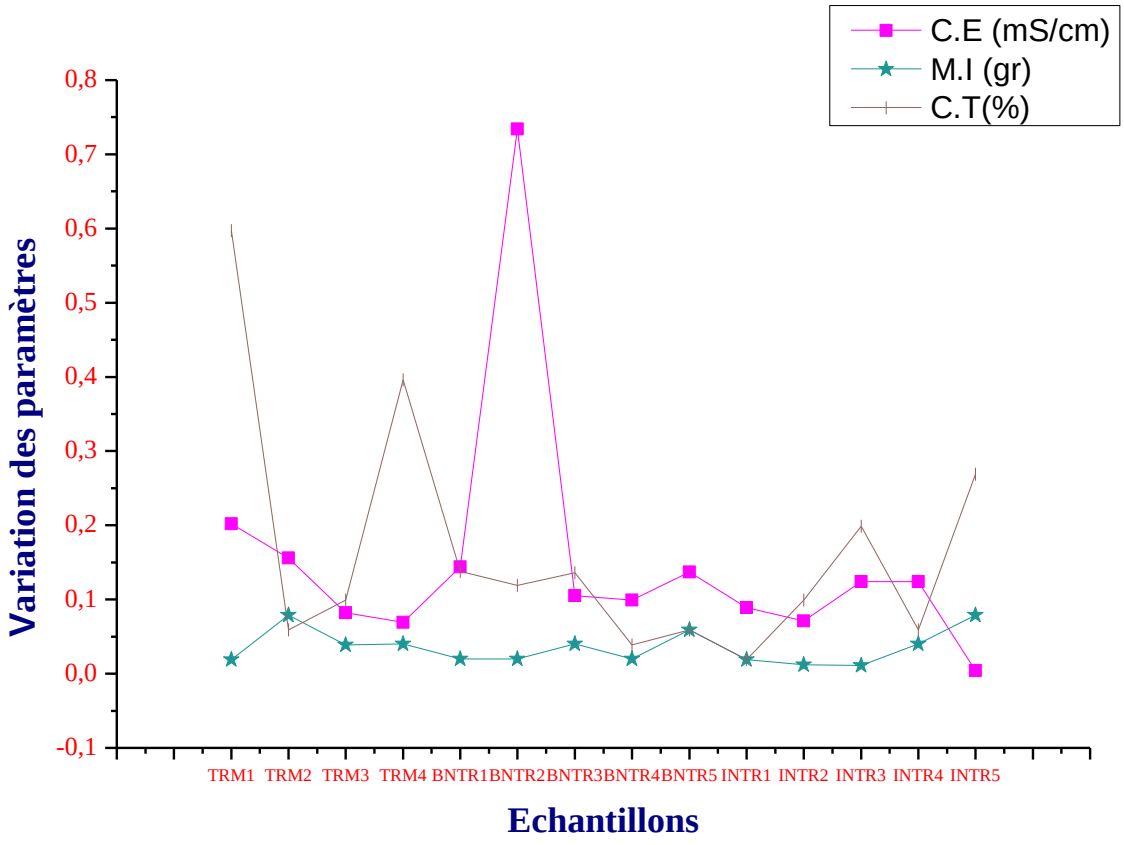


Figure 12. Variation des paramètres physicochimiques pour C.E, M.I et C.T

❖ **La conductivité électrique**

Au cours de ces analyses, la C.E a varié de 0,004 à 0,734 mS/cm dans tous les échantillons. Les petite et grande valeurs de la moyenne par groupe étaient de 0,082 ± 0,025 et 0,244±0,246 mS/cm, respectivement pour BNTR et INTR.

Tous ces échantillons respectent les normes de qualité proposées par NB EAS 36 :2020 de l'EAC, utilisé par le BBN au Burundi et (OMS, 2001), du Codex Alimentarius car ils sont < 0,8 mS/cm.

Le tableau 8 ci-après donne les valeurs obtenues pour différentes étapes qui nous ont permis de trouver les valeurs de CE du tableau 5 pour chaque échantillons, après application de la formule.

Tableau 8: Valeurs obtenues de la conductivité électrique pour tous les échantillons.

Echantillons	M (g)	Mp (g)	C.E.Pr (mS/cm)
TRM1	23,6686	23,659	0,202
TRM2	24,5398	24,597	0,157
TRM3	24,7218	24,748	0,082
TRM4	25,0312	25,046	0,070
BNTR1	25,4452	25,486	0,084
BNTR2	25,5754	25,577	0,145
BNTR3	24.6913	24,696	0,735
BNTR4	24,5098	24,532	0,105
BNTR5	25,1572	25,157	0099
INTR1	24,6609	24,697	0,138
INTR2	25,0000	25,025	0,089
INTR3	24,9687	25,007	0,072
INTR4	24,6305	24,646	0,124
INTR5	25,188	25,187	0,004

❖ **Les matières insolubles**

Les résultats des matières insolubles (M.I) n'ont pas beaucoup fluctué et sont presque proches dans tous les trois groupes d'échantillons analysés. Cependant, ces valeurs, individuellement comme par groupe, renseignent que tous ces miels sont de bonne qualité, sont similaires à celles obtenues par Vranić *et al.,* (2017) et différentes de celles obtenues par Al Zahraa *et al.,* (2025) qui sont des valeurs supérieures à 0.1%.

❖ **Les cendres totales**

En regardant les taux de cendres totales, la petite et la grande valeur sont respectivement de 0,019 et 0,597 % pour les échantillons INTR1 et TRM1.

Les moyennes par groupe sont respectivement de 0,098 ± 0,041 et 0,287 ± 0,221 %, pour les groupes d'échantillons BNTR et TRM. Ces échantillons sont tous de bonne qualité car ces valeurs sont toutes < 0.6% et sont comprises entre celles obtenues par Djossou *et al.,* (2013).

e) Le Test de Fiehe

Le test de Fiehe nous a permis d'identifier la présence ou la non-présence du sucre de table dans les différents échantillons, tel que montre le tableau 9.

Tableau 9 : Présence ou absence du sucre de table dans les échantillons de miel analysés.

Indication	TRM1	TRM2	TRM3	TRM4	BNTR1	BNTR2	BNTR3	BNTR4	BNTR5
Présence	-	+	-	-	-	+	+	+	-

Indication	INTR1	INTR2	INTR3	INTR4	INTR5
Présence	-	-	-	-	+

+ = Ajout du sucre

- = Absence du sucre

Il ressort que les échantillons récoltés dans les marchés de Musaga, Kinama, Kamenge, Rumonge et l'échantillon du miel traité de Kabingo, respectivement BNTR2, BNTR3, BNTR4, INTR5 et TRM2 ont été testés positif et tous les autres n'ont pas subi d'ajout du sucre.

IV.2. Analyses statistiques

Ces analyses nous permettent d'établir les différences et les ressemblances existantes entre nos groupes de miels d'une part et des échantillons par marché d'autre part.

L'ACP nous a permis d'y arriver, tout en étudiant la répartition des informations dans différentes dimensions ou axes (figure 13).

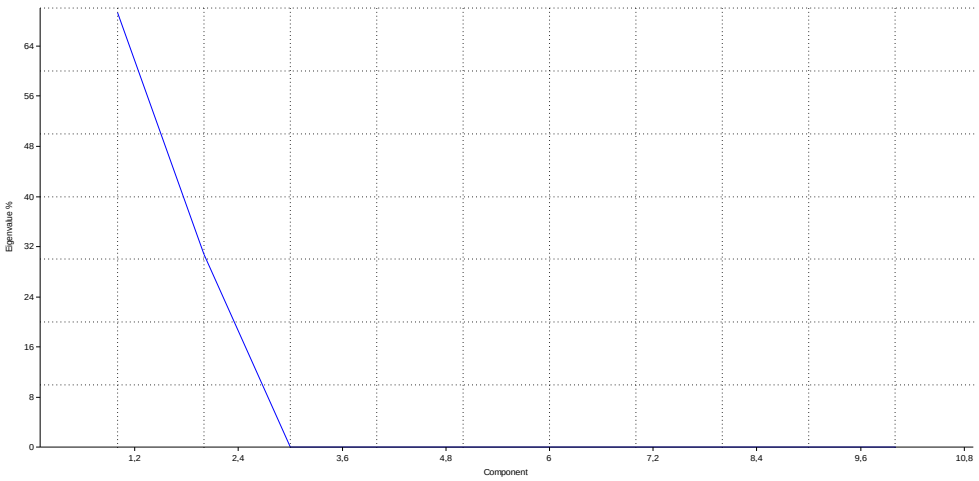


Figure 13. Distribution des informations dans les axes avec l'ACP

On constate que la grande quantité de l'information est condensée dans l'axe 1 et l'axe 2, avec plus de 65 % dans le 1er axe et plus de 30 % dans le second axe. Ce qui nous pousse à considérer les deux axes pour interpréter les résultats sur la projection des groupes et des variables ; observée à la figure14.

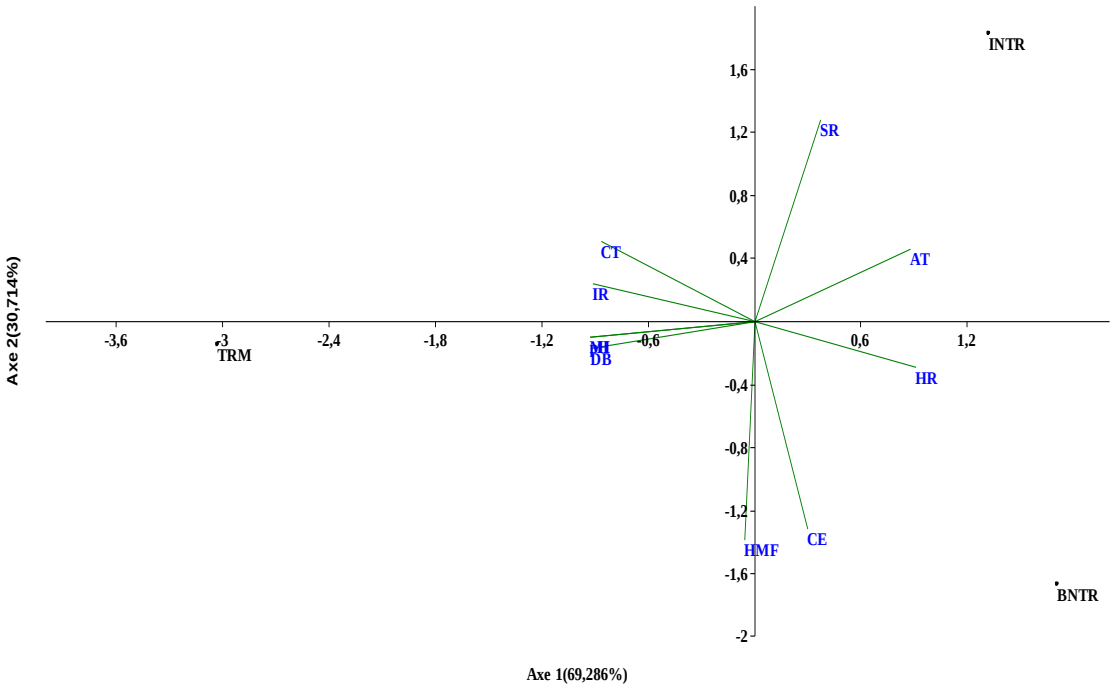


Figure 14. Projection des groupes et des variables dans les axes avec l'ACP

On constate que dans le premier axe, les miels des marchés de Bujumbura s'opposent à ceux de l'intérieur. En générale, HMF, CE et HR de ces miels sont fortement corrélés positivement, même chose pour le DB, MI, CT et IR, mais également SR et AT.

Les CE, HMF et SR sont corrélés négativement. On constate que les HMF, HR et CE sont bien représentés dans les miels provenant des marchés de Bujumbura et sont opposés surtout aux miels provenant de l'intérieur où les SR et AT ont une grande contribution. Dans le deuxième axe, les miels traités sont opposés aux miels non traités. L'IR et HR sont corrélés négativement. Malgré ces petites différences, on observe que plusieurs variables ou paramètres analysés sont rapprochés dans les 3 groupes et affichent des ressemblances.

Ceci nous conduit à conclure que ces miels sont homogènes sauf pour le HMF et le SR qui s'écartent fortement entre les BNTR et les INTR.

Cette conclusion est soutenue par la valeur de p-value de 0,996 obtenue avec le test Oneway ANOVA, prouvant que la différence entre les trois catégories de miel étudiées n'est pas statistiquement significative car p-value est > 0,05. La figure 15 explique la contribution des marchés ou individus (figure à droite) sur chaque variable étudiée.

a) Projection des individus et des variables quantitatives

L'ACP avec R nous a donné la contribution des individus sur les variables, pour expliquer comment les différents marchés ont influencé les valeurs des paramètres étudiés.

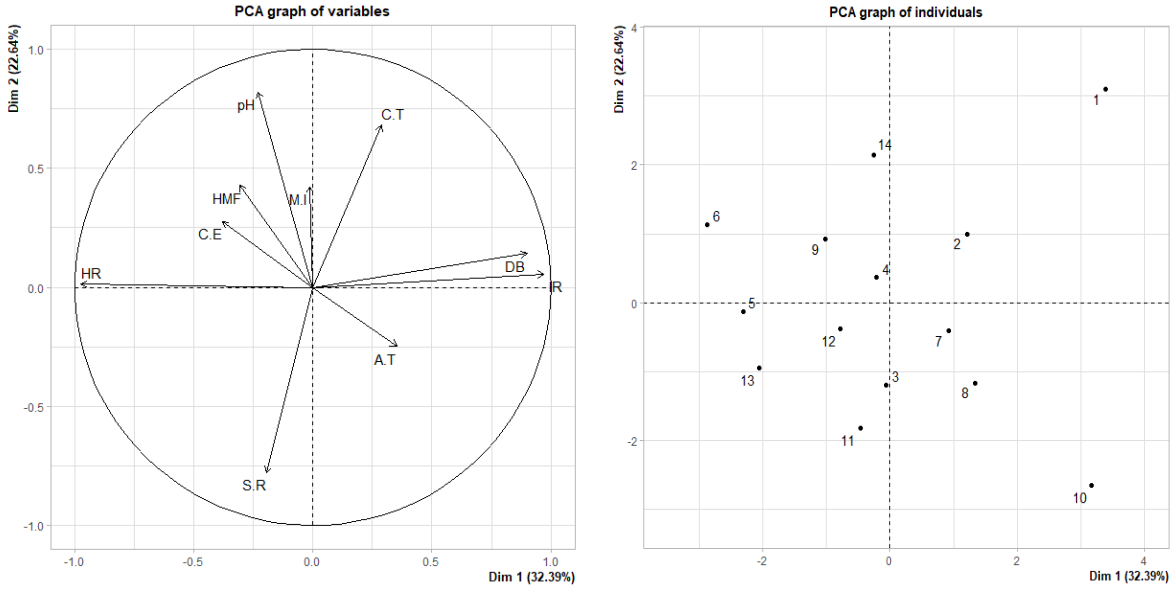


Figure 15. Cercle des corrélations des variables (à gauche) et contribution des marchés sur les variables (à droite)

Légende

1= Nyagisenyi, 2= Kabingo, 3= Akeza a Gatabo, 4= Buhumuza, 5= Sioni, 6= Musaga, 7= Kinama, 8= Kamenge, 9= Ruvumera, 10= Gitega, 11= Ngozi, 12= Cibitoke, 13= Cankozo, 14= Rumonge

✓ Interprétation

La projection des individus et des variables montre que les dimensions 1 et 2 expliquent 55 % de la variabilité de l'information, ce qui est déjà satisfaisante car supérieur à 50 %. Les deux graphiques expliquent mieux la contribution des individus dans les différents groupes.

Dans la première dimension (ligne horizontale), les individus 11, 12 et 13 contribuent trop sur les sucres réducteurs alors que les individus 10, 8 et 7 influencent fortement l'acidité totale et sont opposés aux individus 6 et 9 pour l'HMF ou 1 pour les CT. Dans la deuxième dimension (ligne verticale), les individus sont presque proches dans les deux axes.

Dans ce graphique, les individus proches les uns les autres, par exemple 6,9 et 5 indiquent des propriétés similaires comme une même origine florale, méthode de production ou des conditions de stockage semblables.

Les miels 1 et 10 sont parmi les plus éloignés dans le graphique, ce qui indique qu'ils ont des propriétés très différentes pour certaines variables spécifiques.

Par contre, les miels situés près de l'origine (par exemple, les miels **3**, **7**, et **8**) sont moins influencés par les variables qui définissent les Dim 1 et Dim 2. Ils ont donc des caractéristiques qui sont moyennes ou équilibrées.

Malgré les différences observées pour le HMF, les SR et le HR ; les miels de Bujumbura par rapport à ceux de l'intérieur ne présentent pas des différences significatives pour le HR et les SR, mais il y en a pour le HMF, comme le montrent les tableaux 10 ; 11 et 12, **avec X= BNRT et Y= INTR**

- ✓ Pour les HR

Le test de Student (tableau 10) appliqué aux échantillons bruts provenant des marchés de Bujumbura et de l'intérieur a donné une valeur t = 0.9452, avec 8 degrés de liberté et une p-value de 0.3722, supérieur à l'intervalle de confiance fixé à 0.05.

Tableau 10 : Comparaison des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le HR.

On constate qu'il n'y a pas de différence significative étant donné que la p-value est > 5 %.

Two-sample t test with equal variances

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf.	Interval]
x	5	20.22	.5921108	1.324	18.57604	21.86396
y	5	19.66	.0196774	.044	19.60537	19.71463
combined	10	19.94	.2944609	.931167	19.27388	20.60612
diff		.56	.5924377		-.8061637	1.926164

diff = mean(x) - mean(y) t = 0.9452
Ho: diff = 0 degrees of freedom = 8

Ha: diff < 0 Ha: diff != 0 Ha: diff > 0
Pr(T < t) = 0.8139 Pr(|T| > |t|) = 0.3722 Pr(T > t) = 0.1861

✓ Pour les SR

Le test de Student appliqué aux miels de Bujumbura et de l'intérieur pour les sucres réducteurs a donné une valeur t = -0.9723, avec 8 degrés de liberté et une p-value de 0.3594, supérieur à l'intervalle de confiance fixé à 0.05, comme le montre le tableau 11.

Tableau 11 : Comparaison statistique des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le SR

Two-sample t test with equal variances

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf.	Interval]
x	5	75.992	5.455559	12.199	60.84494	91.13906
y	5	84.02	6.197486	13.858	66.81302	101.227
combined	10	80.006	4.115771	13.01521	70.69548	89.31652
diff		-8.028	8.256631		-27.06782	11.01182

diff = mean(x) - mean(y) t = -0.9723
Ho: diff = 0 degrees of freedom = 8

Ha: diff < 0 Ha: diff != 0 Ha: diff > 0
Pr(T < t) = 0.1797 Pr(|T| > |t|) = 0.3594 Pr(T > t) = 0.8203

✓ Pour le HMF

Le test de Student appliqué aux échantillons bruts provenant des marchés de Bujumbura et de l'intérieur pour les HMF, a donné une valeur t = 2.573, avec 8 degrés de liberté et une p-value de 0.0329, supérieur à l'intervalle de confiance fixé à 0.05, comme le montre le tableau 12.

Tableau 12 : Comparaison des miels de Bujumbura à ceux de l'intérieur avec le test de student pour le HMF.

Two-sample t test with equal variances

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf.	Interval]
x	5	18.742	5.11031	11.427	4.553505	32.93049
y	5	4.475	2.147072	4.801	-1.486229	10.43623
combined	10	11.6085	3.532975	11.17225	3.616356	19.60064
diff		14.267	5.54303		1.484749	27.04925

diff = mean(x) - mean(y) t = 2.5739

Ho: diff = 0 degrees of freedom = 8

Ha: diff < 0 Ha: diff != 0 Ha: diff > 0

Pr(T < t) = 0.9835 Pr(|T| > |t|) = 0.0329 Pr(T > t) = 0.0165

Le test de Student appliqué à ces échantillons indique que ces miels ne sont pas statistiquement différents car partout leurs p-valeur est > 5 % d'intervalle de confiance, sauf pour le HMF qui est plus élevé dans les BNTR par rapport aux autres. C'est qui est normal car dans les BNTR, les valeurs de HMF sont élevées que dans les INTR et cela seraient dû à la température élevée à Bujumbura par rapport à l'intérieur du pays.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

1. Conclusion générale

Ce travail voulait vérifier si les miels commercialisés au Burundi respectent les normes de qualité proposées par différents organismes de normalisation, mais aussi comparer les miels des marchés de Bujumbura à ceux des marchés de l'intérieur tout en les confrontant aux échantillons de miels provenant des unités de transformation.

Nous avons été motivé de mener cette étude par le fait que la plupart des miels commercialisés au Burundi n'ont aucun étiquetage, ne portent pas d'indications sur la durée et le mode de conservation, sont exposés au soleil et vendus dans des emballages de réutilisation. Le miel est beaucoup produit et consommé au Burundi et contribue significativement aux économies du pays et des familles, mais également utilisé comme médicament dans la lutte contre plusieurs maladies, alors que peu d'études scientifiques sont faites sur ces derniers pour garantir la santé des consommateurs. C'est pourquoi, une meilleure connaissance de la qualité de ces derniers est d'une importance capitale. A l'issue de cette étude, il s'est avéré que certains vendeurs ajoutent du sucre de table et de l'eau dans les miels commercialisés, mais plusieurs autres paramètres ont respecté les normes de qualité dans la plupart de nos échantillons.

Les moyennes obtenues dans les différents groupes étudiés étaient bonnes pour tous les paramètres étudiés. Cependant, les miels de Bujumbura ont présenté des valeurs élevées d'HMF alors que celles de l'intérieur étaient élevées pour les sucres réducteurs, tout en respectant les normes de qualité. De même, les miels provenant des unités de transformation sont restés en moyenne dans les marges des normes malgré une faible irrégularité.

2. Recommandations

Au vu de ces résultats obtenus, nous recommandons aux autorités compétentes de bien financer les apiculteurs et sensibiliser les vendeurs sur le mode de conservation du miel, et les consommateurs sur les maladies que les miels peuvent provoquer en cas de certaines pratiques ou de stockage très prolongé. Il faudrait bien faire le suivi sur la qualité des miels provenant des unités de traitement et vulgariser la réglementation pour tous les vendeurs en ce qui concerne les mauvaises pratiques de conservation ou de recherche du gain inadéquat, afin de prendre des sanctions pour les récalcitrants. Le dosage des métaux lourds et la détermination des propriétés nutritionnelles et biochimiques des miels du Burundi restent notre préoccupation pour l'avenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Acquarone, C., Buera, P., & Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. Food Chemistry, 101(2), 695-703. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.058

Agnieszka O., Elżbieta, B., Mieczysław, W., & Monika, T. (2018). Determination of Hydroxymethylfurfural contnt in natural honeys in Poland. Journal Poland Applied Sciences, 60-64.

Ajlouni, S., & Sujirapinyokul, P. (2010). Hydroxymethylfurfuraldehyde and amylase contents in Australian honey. Food Chemistry, 119(3), 1000-1005. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.057

Al Zahraa, H., Fatema, M., Sheikha, M., Sakina, H., Shah, K., & Jawaid, A. (2025). Physicochemical evaluation to assess the quality of honey samples marketed in Oman. ResearchGate. https://doi.org/10.21448/ijsm.1246530

Alagwu, E. A., Okwara, J. E., Nneli, R. O., & Osim, E. E. (2011). Effect of honey intake on serum cholesterol, triglycerides and lipoprotein levels in albino rats and potential benefits on risks of coronary heart disease. Nigerian Journal of Physiological Sciences: Official Publication of the Physiological Society of Nigeria, 26(2), 161-165.

Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Brenciani, A., Mazzoni, L., Gasparrini, M., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., Morroni, G., Simoni, S., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Giovanetti, E., & Battino, M. (2018). Apis mellifera vs Melipona beecheii Cuban polifloral honeys : A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. Food Science and Technology, LWT, 87, 272-279. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.079

Al-Waili, N. S. (2003). Intravenous and Intrapulmonary Administration of Honey Solution to Healthy Sheep : Effects on Blood Sugar, Renal and Liver Function Tests, Bone Marrow Function, Lipid Profile, and Carbon Tetrachloride-Induced Liver Injury. Journal of Medicinal Food, 6(3), 231-247. https://doi.org/10.1089/10966200360716652

Ayyavu, M., Jabbith, S., Dowlathabad, R., & Devarajan, T. (2024). (PDF) Protective effect of Indian honey on acetaminophen induced oxidative stress and liver toxicity in rat. ResearchGate. https://doi.org/10.2478/s11756-009-0205-5

Basumallick, L., & Rohrer, J. (2016). Determination of Hydroxymethylfurfural in Honey and Biomass. 10, Thermo Fisher Scientific, Sunnyvale, CA, USA. Consulté le 22/11/2024

Bhalchandra, W., & Yahya, A. A. (2016). (PDF) Biological Properties and Uses of Honey : A Concise Scientific review. Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research Vol 4 no 03. https://doi.org/10.30750/ijpbr.4.3.8

Bogdanov, S. (2009). Honey composition. In: Book of Honey, Chapter 5. Bee Product Science. Consulté le 27/10/2024.

Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., & Gallmann, P. (2008). Honey for Nutrition and Health : A Review. Journal of the American College of Nutrition, 27(6), 677.

Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys : A review. Apidologie, 35(Suppl. 1), S4-S17. https://doi.org/10.1051/apido:2004047

Cavia, M. M., Fernández-Muiño, M. A., Gömez-Alonso, E., Montes-Pérez, M. J., Huidobro, J. F., & Sancho, M. T. (2002). Evolution of fructose and glucose in honey over one year : Influence of induced granulation. Food Chemistry, 78(2), 157-161. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00393-4

Chakir, A., Romane, A., Marcazzan, G. L., & Ferrazzi, P. (2016). Physicochemical properties of some honeys produced from different plants in Morocco. Arabian Journal of Chemistry, 9, S946-S954. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.10.013

Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Reboredo-Rodriguez, P., Manna, P. P., Zhang, J., Bravo Lamas, L., Martínez Flórez, S., Agudo Toyos, P., Quiles, J. L., Giampieri, F., & Battino, M. (2018). Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits : A Review. Molecules, 23(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/molecules23092322

Ciulu, M., Spano, N., Pilo, M., & Sanna, G. (2016). Recent Advances in the Analysis of Phenolic Compounds in Unifloral Honeys. Molecules (Basel, Switzerland), 21(4). https://doi.org/10.3390/molecules21040451

Desissa, Y. (2014). Detection of the Electrical Conductivity and Acidity of Honey from Different Areas of Tepi. Food Science and Technology, 2((5)), 59-63. https://doi.org/10.13189/ fst.2014.020501

Djossou, J. A., Tchobo, F. P., Yédomonhan, H., Alitonou, A. G., & Soumanou, M. M. (2013). Evaluation des caractéristiques physico-chimiques des miels commercialisés à Cotonou. Tropicultura, 31, 3, 163-169.

Erejuwa, O. O. (2014). Effect of honey in diabetes mellitus : Matters arising. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders, 13(1), 23. https://doi.org/10.1186/2251-6581-13-23

Erejuwa, O. O., Sulaiman, S. A., Mohd S, A. W., Sirajudeen, K. N. S., Salleh, M. S. M., & Gurtu, S. (2011). Glibenclamide or metformin combined with honey improves glycemic control in streptozotocin -induced diabetic rats. International Journal of Biological Sciences, 7(2), 244-252.

Erejuwa, O. O., Sulaiman, S. A., Wahab, M. S. A., Nainamo, S. K., Salleh, M. S. M., & Gurtu, S. (2011). Hepatoprotective effects of tualang honey supplementation in streptozotocin-induced diabetic rats. International Journal of Applied Research in Natural Products, 4(4), 37-41.

Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., & Estevinho, L. (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. Food and Chemical Toxicology, 48(2), 544-548. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.029

Hocine, L., Tefiel, B., Moustapha, A., Allaoui, A., & Benamara, K. (2018). Microbiological and Physicochemical Quality of Honeys from South and South-West of Niger. Journal of Food and Nutrition Research, 6(6), Article 6. https://doi.org/10.12691/jfnr-6-6-9

International Honey Commission – World Network of Honey and Bee Product Science. (2009). https://www.ihc-platform.net/ Consulté le 24/12/2024.

Islam, Md. N., Khalil, Md. I., Islam, Md. A., & Gan, S. H. (2014). Toxic compounds in honey. Journal of Applied Toxicology, 34(7), 733-742. https://doi.org/10.1002/jat.2952

Jaganathan, S. K., & Mandal, M. (2009). Antiproliferative effects of honey and of its polyphenols : A review. Journal of Biomedicine & Biotechnology, 2009, 830616. https://doi.org/10.1155/2009/830616

Karabagias, I. K., Badeka, A. V., Kontakos, S., Karabournioti, S., & Kontominas, M. G. (2014). Botanical discrimination of Greek unifloral honeys with physico-chemical and chemometric analyses. Food Chemistry, 165, 181-190. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.033

Khan, S. U., Anjum, S. I., Rahman, K., Ansari, M. J., Khan, W. U., Kamal, S., Khattak, B., Muhammad, A., & Khan, H. U. (2018). Honey : Single food stuff comprises many drugs. Saudi Journal of Biological Sciences, 25(2), 320-325. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.004

Kouamé, K. F., Gbouhour, E.-K. B., Fofié N'Guessa, B. Y., & Kassi N'Dj, J. (2021). Caractéristiques Physicochimiques Récoltés des Miels de la Sous-Préfecture de Cechi (Dans le Département D'Agboville, Côte D'Ivoire). European Scientific Journal, ESJ, 17((34),), 286. https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n34p286

Koudegnan, C., Etse, K., Coulibaly, S., Quashie, M.-L., Radji, P., & Kokou, K. (2021). Caractérisations physico-chimiques des miels de la zone Guinéenne du Togo. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 9(2). https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/919 Consulté le 24/12/2024.

Krell, R. (1996). Value-Added Products from Beekeeping. FAO of United Nations. http://www.fao.org/docrep/w0076E/w0076E00.htm. https://www.fao.org/4/w0076e/w0076e19.htm#8.7. Consulté le 21/12/2024.

Kshitij, S., Pawar, P. A., & Wankhade, P. R. (2022). « Honey and its properties : A comprehensive review » www.foodsciencejournal.com. https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgzQXJtDNHBVXcKTxcqKLWsKBbKld. Consulté le 07/11/2024.

Lamien-Meda, A., Lamien, C., Millogo, J., Romito, M., & NACOULMA, O. (2005). Physiochemical Analyses of Burkina Fasan Honey. Acta Veterinaria Brno, 74. https://doi.org/10.2754/avb200574010147

M Asaduzzaman, Sohanur, R., Sirajam, M., Muedur, R., Minarul, I., Mahadi, H., Abdul, H., , Shahangir, B., Masudul, K., Matiar, R., & Mohammad, I. (2015). Analysis of Biochemical Composition of Honey and its Anti-Oxidant, Phytochemical and Anti-Bacterial Properties. Journal of Biomedical and Pharmaceutical Research, Volume 4, 68-81

Ma. Desiree, B., Von, D.G., Elmer, A., Polintan, M., Cleofas, R., Jose Rene, L., & Paul Lloydson, J. (2022). Physico-chemical Properties and Botanical Origin of Honey Produced by Tetragonula biroi Friese Collected from Select Sites in Batangas, Laguna, Quezon, and Albay, Philippines. Philippine Journal of Science, 152 (1): 245-252.

Maryam, J. & Farzaneh, A. (2015). Identification and Quantification of 5-Hydroxymethylfurfural in Food Products. Nutrition and Food Sciences, Vol 2, No 1, pages: 47-53

Mehrotra, S., Rai, P., & Sharma, S. K. (2022). A quick and simple paper-based method for detection of furfural and 5-hydroxymethylfurfural in beverages and fruit juices. Food Chemistry, 377, 131532. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131532

Mohamed, Y., Amel, C., Mohammed, A., & Samia, B. (2019). Teneur en 5-hydroxyméthylfurfural (HMF) dans les miels du Nord-Ouest de l'Algérie. www.sciencedirect.com. https://www.researchgate.net/publication/332044842 doi: 10.1016/j.toxac.2019.03.001. Consulté le 22/11/2024.

Molan, P. C. (1996). Authenticity of honey. In P. R. Ashurst & M. J. Dennis (Éds.), Food Authentication (p. 259-303). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1119-5_8

Nasrolahi, O., Heidari, R., Rahmani, F., & Farokhi, F. (2012). Effect of natural honey from Ilam and metformin for improving glycemic control in streptozotocin-induced diabetic rats. Avicenna Journal of Phytomedicine, 2(4), 212-221.

Navarre, J. (1974). Manuel d`œnologie (2 ème édition) (Bailliere).

Ntunzwenimana, M., Nduwimana, A., Habonayo, R., Niyukuri, J., Nijimbere, S., Ndorere, V., & Ndayitwayeko, O. (2021). Apiculture et biodiversité : Caractérisation du miel produit à Zege (Burundi). Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité, 5(a): 49-5649-56(5(a)), 49-56.

OMS, F. (2001). Codex Alimentarius, normes générales pour les additifs alimentaires (Stan Codex, Vol. 192).

Palma-Morales, M., Huertas, J. R., & Rodríguez-Pérez, C. (2023). A Comprehensive Review of the Effect of Honey on Human Health. Nutrients, 15(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/nu15133056

Ramadhan, N., Ayse S., K., Meltem, C., & Hasan, H. (2019). Determination and Quantification of Gallic Acid in Raw Propolis by High-performance Liquid Chromatography–Diode Array Detector in Burundi. E Afr Sci. 2019;1(1):43-48. https://www.researchgate.net/publication/338563542

Sajtos, Z., Ragyák, Á. Z., Hódi, F., Szigeti, V., Bellér, G., & Baranyai, E. (2024). Hydroxymethylfurfural content of old honey samples – Does the sticky treat really last forever? LWT, 193, 115781. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115781

Shapla, U. M., Solayman, Md., Alam, N., Khalil, Md. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products : Effects on bees and human health. Chemistry Central Journal, 12(1), 35. https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3

Sharma, K., Khushi S., & Rajesh, K. (2024). A review of physico-chemical and biological properties of honey. Journal of entomology and zoology studies, 12((2)), 153-161. https://doi.org/10.22271/j.ento.2024.v12.i2b.9308

Souad, B. (2019). Valorization of Date Waste : Comparative Study between the Dry Variety of Dates Mech-Degla and the Must of Fermentation. Journal of Advanced Research in Science and Technology, 6(2), 1078-1089.

Terrab, A., Díez, M. J., & Heredia, F. J. (2002). Characterisation of Moroccan unifloral honeys by their physicochemical characteristics. Food Chemistry, 79(3), 373-379. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00189-9

Vranić, D., Petronijević, R., Stojanović, J. Đ., Korićanac, V., Milijašević, J. B., & Milijašević, M. (2017). Physicochemical properties of honey from Serbia in the period. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 85(012058). https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012058

White, J. W., Jr. (1979). Spectrophotometric Method for Hydroxymethylfurfural in Honey. Journal of Association of Official Analytical Chemists, 62(3), 509-514. https://doi.org/10.1093/jaoac/62.3.509

Wissam K. Al-Rubaie & Dhia F. Al-Fekaiki. (2022). Chemical Properties and Applications of Honey : A Review. International Academic Journal of Nutrition and Food Sciences 3(6), 12-20. https://doi.org/10.47310/iajnfs.2022.v03i02.006

Yang, W., Zhang, C., Li, C., Huang, Z. Y., & Miao, X. (2019). Pathway of 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde formation in honey. Journal of Food Science and Technology, 56(5), 2417-2425. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03708-7

Zakaria, E., Ahmed, R., Mahmoud S., Wafaa, R., & Tahany, R. (2009). Potential Effects of Bee Honey and Propolis Against the Toxicity of Ochratoxin A in Rats. Macedonian Journal of Medical Sciences 15; 2(4), 311-318. https://doi.org/10.3889/MJMS.1857-5773.2009.0073

Zsanett, B., Csilla, B., Balkis, A., Viktoria, Z., & Zoltan, K. (2022). Revealing the Effect of Heat Treatment on the Spectral Pattern of Unifloral Honeys Using Aquaphotomics. PubMed 27(3):780. https://doi.org/10.3390/molecules27030780. https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/780

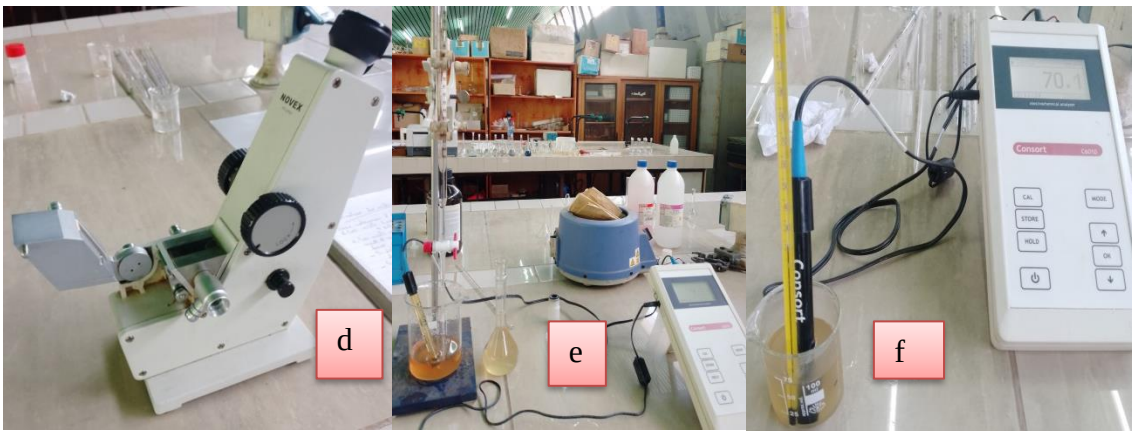
https://www.agir-crt.com/blog/refractometre-mesure-degre-brix-choix-appareil/, Consulté le 22/08/2024

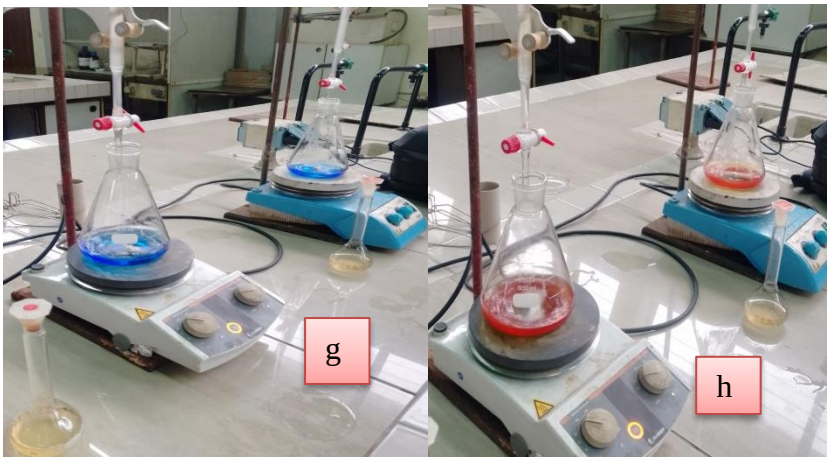
NB EAS 36:2020, Honey-Specification, consulté le 20/09/2024

ANNEXES

Annexe 1. Différents appareils utilisés au laboratoire pour l'analyse







a= Four électrique ; b= Etuve ; c= Balance analytique ; d= Refractomètre ; e= pH-mètre ; f= Conductimètre ; g= Liqueur de Fehling avant dosage ; h= Liqueur de Fehling après dosage des sucres réducteurs.

Annexe 2. Tableau de correspondance Indice de réfraction et humidité relative en pourcentage pour le miel.

EAS 36:2010

Table B.1 — Refractive indices, corresponding percent soluble solids, and percent moisture in extracted honey

Refractive Index @ 20 ℃ (Range)	Percent Soluble Solids	Percent Moisture	Refractive Index @ 20 ℃ (Range)	Percent Soluble Solids	Percent Moisture
1.4817 - 1.4818	78.1	21.9	1.4930 - 1.4932	82.6	17.4
1.4819 - 1.4820	78.2	21.8	1.4933 - 1.4934	82.7	17.3
1.4821 - 1.4823	78.3	21.7	1.4935 - 1.4936	82.8	17.2
1.4824 - 1.4825	78.4	21.6	1.4937 - 1.4939	82.9	17.1
1.4826 - 1.4828	78.5	21.5	1.4940 - 1.4941	83.0	17.0
1.4829 - 1.4830	78.6	21.4	1.4942 - 1.4944	83.1	16.9
1.4831 - 1.4833	78.7	21.3	1.4945 - 1.4946	83.2	16.8
1.4834 - 1.4835	78.8	21.2	1.4947 - 1.4949	83.3	16.7
1.4836 - 1.4838	78.9	21.1	1.4950 - 1.4951	83.4	16.6
1.4839 - 14840	79.0	21.0	1.4952 - 1.4954	83.5	16.5
1.4841 - 1.4843	79.1	20.9	1.4955 - 1.4957	83.6	16.4
1.4844 - 1.4845	79.2	20.8	1.4958 - 1.4959	83.7	16.3
1.4846 - 1.4848	79.3	20.7	1.4960 - 1.4962	83.8	16.2
1.4849 - 1.4850	79.4	20.6	1.4963 - 1.4964	83.9	16.1
1.4851 - 1.4853	79.5	20.5	1.4965 - 1.4967	84.0	16.0
1.4854 - 1.4855	79.6	20.4	1.4968 - 1.4969	84.1	15.9
1.4856 - 1.4858	79.7	20.3	1.4970 - 1.4972	84.2	15.8
1.4859 - 1.4860	79.8	20.2	1.4973 - 1.4975	84.3	15.7
1.4861 - 1.4863	79.9	20.1	1.4976 - 1.4977	84.4	15.6
1.4864 - 1.4865	80.0	20.0	1.4978 - 1.4980	84.5	15.5
1.4866 - 1.4868	80.1	19.9	1.4981 - 1.4982	84.6	15.4
1.4869 - 1.4870	80.2	19.8	1.4983 - 1.4984	84.7	15.3
1.4871 - 1.4873	80.3	19.7	1.4985 - 1.4987	84.8	15.2
1.4874 - 1.4875	80.4	19.6	1.4988 - 1.4990	84.9	15.1
1.4876 - 1.4878	80.5	19.5	1.4991 - 1.4993	85.0	15.0
1.4879 - 1.4880	80.6	19.4	1.4994 - 1.4995	85.1	14.9
1.4881 - 1.4883	80.7	19.3	1.4996 - 1.4998	85.2	14.8
1.4884 - 1.4885	80.8	19.2	1.4999 - 1.5000	85.3	14.7
1.4886 - 1.4888	80.9	19.1	1.5001 - 1.5003	85.4	14.6
1.4889 - 1.4890	81.0	19.0	1.5004 - 1.5005	85.5	14.5
1.4891 - 1.4893	81.1	18.9	1.5006 - 1.5008	85.6	14.4
1.4894 - 1.4896	81.2	18.8	1.5009 - 1.5011	85.7	14.3
1.4897 - 1.4898	81.3	18.7	1.5012 - 1.5013	85.8	14.2
1.4899 - 1.4901	81.4	18.6	1.5014 - 1.5016	85.9	14.1
1.4902 - 1.4903	81.5	18.5	1.5017 - 1.5018	86.0	14.0
1.4904 - 1.4906	81.6	18.4	1.5019 - 1.5021	86.1	13.9
1.4907 - 1.4908	81.7	18.3	1.5022 - 1.5024	86.2	13.8
1.4909 - 1.4911	81.8	18.2	1.5025 - 1.5026	86.3	13.7
1.4912 - 1.4913	81.9	18.1	1.5027 - 1.5029	86.4	13.6
1.4914 - 1.4916	82.0	18.0	1.5030 - 1.5031	86.5	13.5
1.4917 - 1.4918	82.1	17.9	1.5032 - 1.5034	86.6	13.4
1.4919 - 1.4921	82.2	17.8	1.5035 - 1.5037	86.7	
1.4922 - 1.4923	82.3	17.7			
1.4924 - 1.4926					

East African Standard
Comments only — Not to be sold