

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Analyse Rhéologique de l'Effet du Saccharose sur
l'Efficacité du Miel Naturel**

Préparé par :

Mlle. Larbi Yamina

Mme. Eldjilani Rahma

Membres de jury d'évaluation :

M. Ouahab Nouredin	Président	MAA	Univ. Adrar
M. Chadli Samir	Encadreur	MCA	Univ. Adrar
M. Sahli Youcef	Examineur	MRA	URER-MS. Adrar

Année Universitaire : 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library



وزارة التعليم
العالي و البحث
العلمي
جامعة أحمد

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة) : شادي سمير
المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ :
Analyse rhéologique de l'effet du saccharose sur
l'efficacité du miel naturel
من إنجاز الطالب(ة) : الجيلاني رحمة Rahma Eldjilani
والطالب(ة) : العربي يمينة Yamina Larbi
كلية : العلوم والتكنولوجيا
القسم : المحروقات والطاقات المتجددة
التخصص: هندسة كيميائية
تاريخ تقييم / مناقشة: 08 جوان 2022
أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات
المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة
بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والالكترونية
(PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في :

مساعد رئيس القسم:



ملاحظة: لا تقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Remerciement

D'abord et avant tout, nous remercions ALLAH Tout-Puissant d'abord et avant tout, car Il est Glorifié dans toutes nos affaires.

Quant à ceux qui ne remercient pas les gens et ne remercient pas ALLAH Tout-Puissant, nous voudrions exprimer notre gratitude à M. » Chadli Samir », qui a bien voulu diriger ce travail de recherche, et qui a été de son choix et pour sa grande aide et ses efforts pour que cela œuvre bénie au maximum, et c'est ce que nous espérons de ALLAH le Très-Haut.

Nous remercions M. Ouahab Noureddin d'avoir accepté de présider ce jury. Nous remercions également chaleureusement M. Sahli youcef pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à M. « Boukhtache Ishaac » pour sa disponibilité et ses conseils pertinents qui ont aidé de façon très significative à l'amélioration de ce mémoire et son soutien chaque fois que nous avons besoin de lui.

Nous leur souhaitons du succès dans tous les aspects de leur vie.



Dédicace

Tout d'abord, il est de mon devoir de remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la force d'accomplir ce travail béni : je dédie tous mes remerciements, ma gratitude et mes mots les plus profonds à ma mère "Fatima al-Zahra" et à mon père Abdullah, qui sont si cher à mon cœur. Je les remercie de leur diligence et de leur patience pour m'élever et atteindre ce stade que je n'aurais pas atteint sans leurs prières et leur soutien inestimable à tout prix. Si l'âge m'avait guidé, je leur aurais offert les plus beaux jours de ma vie, et tout cela n'est rien devant leur générosité, "Je vous aime tous les deux, le plus beau cadeau du Très Gracieux." Je tiens à remercier tous les membres de ma chère famille, et je n'oublie pas mon mari bien-aimé pour son soutien constant et sa patience à mon égard, je le remercie infiniment, ainsi que sa famille et tous ceux qui ont contribué à mon bonheur.

Merci à tous.

'Rahma'



Dédicace

Oh mon Dieu, merci, merci beaucoup, béni pour tout ce que tu nous as accordé, et pour ta grande générosité

Ensuite, j'exprime ma gratitude aux deux personnes les plus chères de ma vie, mes chers parents, pour leur travail acharné, et je demande à Dieu Tout-Puissant de les bénir et de leur donner une longue vie.

Je n'oublie pas d'adresser mes remerciements à mes sœurs et frères, en leur souhaitant plein succès dans tous les aspects de leur vie et à toute mon honorable famille

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui m'ont aidé "Merci beaucoup"

'Yamina'

Sommaire

Remerciement.....	I
Dédicaces.....	II
Sommaire.....	IV
Liste des symboles.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux	X
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur le miel

I. Introduction.....	4
I.1) Définition du miel	4
I.2) Composition chimique du miel.....	4
2.1 Glucides	5
2.2 Protéines	8
2.3 Enzymes.....	9
2.4 Acide aminé	11
2.5 Acides organiques	12
2.6 Minéraux.....	13
2.7 Vitamines.....	14
2.8 Composés aromatiques.....	15
2.9 Composés phénoliques	15
I.3) Caractéristiques physico-chimiques du miel	15
3.1 Le pH.....	15
3.2 Conductivité électrique.....	16
3.3 Indice de réfraction.....	16

Chapitre II : Caractérisation rhéologique

II.1) Introduction.....	18
1.1 Définition	18
1.2 Composantes de rhéologie	18
1.3. L'influence de la rhéologie	19
II.2) Les types de fluides.....	19
2.1. Les fluides newtoniens	19
2.2. Les fluides non newtoniens.....	21
II.3 La viscosité	24

Sommaire

3.1) Définition de la viscosité	24
3.2) Les types de la viscosité	24
3.3) Les facteurs affectent sur la viscosité d'un liquide	25
II.4) Nature de régime de l'écoulement	25
4.1) Régime laminaire	26
4.2) Régime turbulent	26
II.5) Les caractéristiques rhéologiques du miel	26
5.1 La viscosité du miel.....	27
5.2) Modèle Power Law (Turian, Bird. 1963).....	28
II.6) Instrumentation.....	29
6.1) Rhéomètre	29
6.2) viscosimètre	31

Chapitre III : Matériels et Méthode

III.1 Introduction.....	36
III.2 Matériels	36
III.3 Appareils utilisés	36
3.1. Viscosimètre.....	36
3.2. Réfractomètre.....	43
3.3. pH-mètre	43
3.4. Conductimètre.....	44
III.4. Méthode	44
4.1 Préparation des échantillons	44
4.2 Caractéristiques physico-chimiques.....	45
4.3 Les caractéristiques rhéologiques.....	48

Chapitre IV: Résultats et Discussion

IV.1) Résultats des analyses physico-chimiques du miel.....	53
1.1 Indice de réfraction	53
1.2 Le pH.....	54
1.3 La conductivité électrique	54
IV.2) Détermination de la viscosité des échantillons	55
A) A la température ambiante.....	55
a) Détermination de la viscosité des échantillons (m1 et m2).....	55
b) Détermination de la viscosité des échantillons (M1, M2, M3 et M4)	57
B) A la température (49 °C).....	58

Sommaire

a) Détermination de la viscosité de deux échantillons (m1 et m2)	58
b) Détermination de la viscosité des échantillons (M1, M2, M3 et M4)	59
IV.3) Détermination de la contrainte des échantillons.....	62
Conclusion générale	67
Références bibliographique.....	70

IV .Liste des symboles

Symbole	Le nom	Unité
τ	Contrainte de cisaillement	Pa
η	Viscosité de l'échantillon	Pa .s
γ	Gradient de cisaillement	s ⁻¹
μa	Facteur de proportionnalité	Kg.m ⁻¹ .s ⁻¹
γ	Viscosité apparente	Pa .s
E	Module d'élasticité	Pa
$\dot{\gamma}$	Taux de déformation	s ⁻¹
Re	Nombre de Reynolds.	-----
ρ	Masse volumique.	Kg/m ³
V_m	Vitesse circulatoire moyenne.	m/s
D	Diamètre du tuyau	m
M	Poids moléculaire	-----
K', a	Constantes	-----
F	Force de cisaillement	N
S	Surface	m ²
ν	Viscosité cinématique	m ² /s
HMF:	Hydroxy méthyl furfural	-----
pH	Potentiel hydrogène.	-----

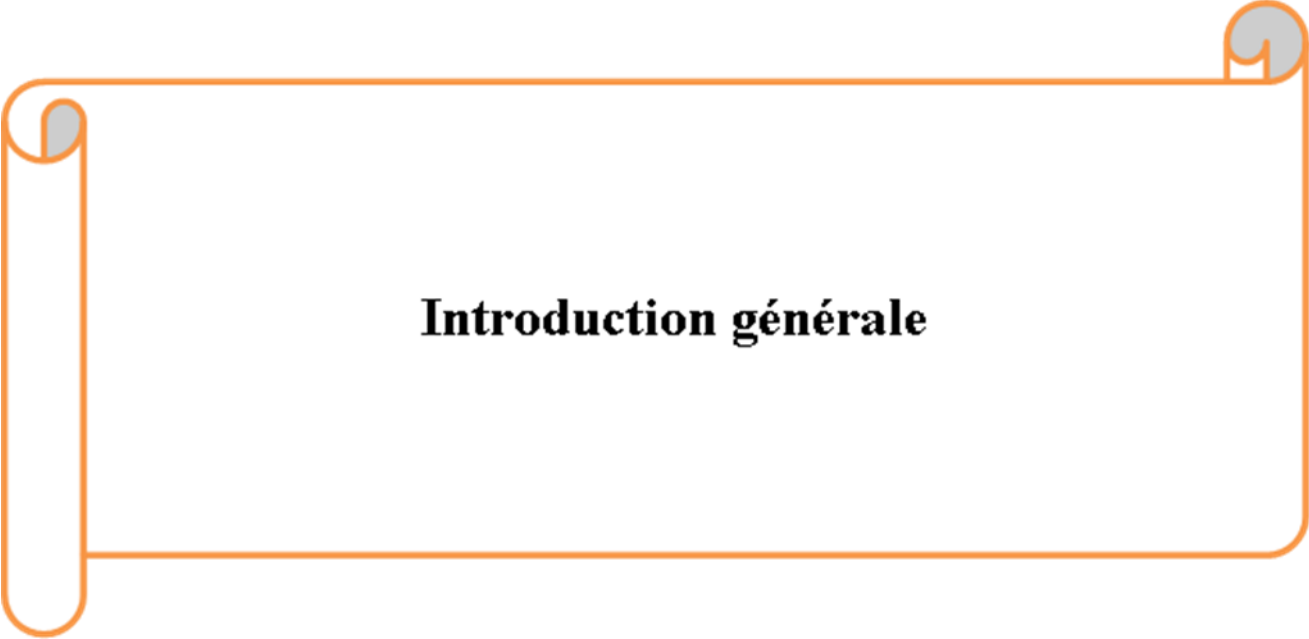
Liste des figures

Figure II.1 : Courbe d'écoulement ou rhéogramme.	20
Figure II.2 : Classification des fluides complexes	21
Figure II.3 : Rhéogramme d'un fluide de Bingham	22
Figure II.4: visualiser différence dans le cas de deux solutions pseudo plastiques	23
Figure II.5: Représente l'écoulement laminaire et turbulent.	26
Figure II.6: Le rhéomètre cylindrique coaxial RST-CC.....	30
Figure II.7 : Géométries de rhéomètres : a) Couette, b) plan-plan, c) cône-plan.....	30
Figure II.8: viscosimètre rotatif FIRST PLUS.....	31
Figure II.9 : Viscosimètre capillaire	32
Figure II.10 : Viscosimètre à chute de bille	33
Figure II.11 : Viscosimètre vibrant Viscosité.....	33
Figure II.12 : Viscosimètre coupe de viscosité.	34
Figure III.1 : appareil de viscosimètre.....	37
Figure III.2 : les éléments des connections.....	39
Figure III.3: Support crémaillère.....	40
Figure III.4 : les types codes d'état.....	40
Figure III.5 : Représente le menu principal.....	41
Figure III.6: Représente la liste des mesures.....	41
Figure III.7 : Représenté lors de la mesure	42
Figure III.8: L'image représente les information disponibles à l'écran	42
Figure III.9: Le réfractomètre du laboratoire(PI).....	43
Figure III.10: Mesure du PH à l'aide de pH mètre.....	43
Figure III.11:Appareille de conductimètre.....	44
Figure III.12: Représente les quatre échantillons étudiés.....	45
Figure III.13: Mesure d'un réfractomètre du miel (a) et du saccharose (b).....	46
Figure III.14: Mesurer le pH du miel (a) et du saccharose (b).....	47
Figure III.15: Mesure de la conductivité électrique du miel (a) et du saccharose (b).....	47
Figure III.16: Représenter le menu principal.....	48
Figure III.17: L'onglet Mesure	49
Figure III.18: Réglage du zéro.....	49
Figure III.19: S'affiche pendant la mesure.....	50
Figure III.20: Les résultats des valeurs obtenues	51
Figure IV.1: Evolution de la viscosité de deux échantillons (m1 et m2)	56

Figure IV.2: L'effet de l'adultération sur la rhéologie de miel à la température ambiante.....	57
Figure IV.3: L'effet de la température sur la rhéologie du miel à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	59
Figure IV.4: L'effet de la température sur la rhéologie du miel frelaté à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$) ...	60
Figure IV.5: Ajustement de la courbe de la loi de puissance de miel A1 à 35°C	62
Figure IV.6: Evolution de la contrainte pour deux échantillons (m1 et m2) au cours des vitesses de rotation à la température ambiante et à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$)	63
Figure IV.7: Evolution de la contrainte pour quatre échantillons au cours des vitesses de rotation à la température ambiante et à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	65

Liste des tableaux

Tableau I.1: Principaux composants du miel en pourcentage.....	5
Tableau I.2: Principaux sucres décrits dans les miels.....	6
Tableau I.3: Principales enzymes du miel et leurs activités.....	10
Tableau I.4: Principaux éléments minéraux décrits dans le miel.....	13
Tableau IV.1: Relation entre la teneur en eau et l'indice de réfraction du miel.	53
Tableau IV.2: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PLUS) pour deux échantillons (m1 et m2) à la température ambiante.....	55
Tableau IV.3: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PLUS) pour les échantillons (M1, M2, M3 et M4) à la température ambiante.....	57
Tableau IV.4: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour deux échantillons (m1 et m2) à la température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	58
Tableau IV.5: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour quatre échantillons à la température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	59
Tableau IV.6: Les valeurs de la contrainte pour deux échantillons (m1 et m2) obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	61
Tableau IV.7: Principales enzymes du miel et leurs activités.....	62
Tableau IV.8: Les valeurs de la contrainte obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour les quatre échantillons à la température ambiante et à la température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	64



Introduction générale

Introduction

Le miel est un produit largement consommé dans tous les pays du monde et constitue la seule source disponible de substances sucrées. Le miel se caractérise par un certain groupe de substances toujours présentes en quantité variable selon la source, eau, glucides, protéines, substances azotées, acides organiques, lactones, minéraux, vitamines, etc... (Bogdanov. 1996) et sa composition varie selon la nature du milieu et la provenance du miel, les abeilles l'utilisent. Le miel est utilisé de plusieurs façons, que ce soit comme aliment pour le corps ou comme onguent pour traiter les brûlures, les infections et d'autres maladies.

Plusieurs études ont confirmé que depuis le début du XXe siècle, le procédé de tricherie dans le miel a été découvert, certains écrits faisant référence à l'ajout de saccharose.

Le miel est fabriqué à partir d'une solution sucrée que l'on fait bouillir pour augmenter sa viscosité et changer sa couleur, puis ajoutez un peu de miel naturel ou de miel de fruits et présentez-le sur le marché à des prix compétitifs, mais il n'y a aucun avantage thérapeutique ou médicinal. Il existe également d'autres types de fraudes telles que les dénominations trompeuses d'origine botanique ou géographique et pour détecter cela, il existe une ancienne méthode, qui est des analyses physiques et chimiques, mais elle est très coûteuse et onéreuse. Par conséquent, une nouvelle méthode a été développée utilisant la rhéologie pour détecter le miel s'il est frelaté ou naturel, Les propriétés de cette méthode nous aident à comprendre les fluides sur lesquels nous travaillons de sorte que nous puissions avoir comment ils se comportent, ou comment les forcer à se comporter de la façon désirée (Badaoui. 2012).

Cette étude rhéologique se caractérise par une mesure de viscosité permettant de connaître le taux, la contrainte de cisaillement et la rhéologie présents dans le miel, grâce à sa sensibilité et sa capacité à mesurer les composants infimes des particules.

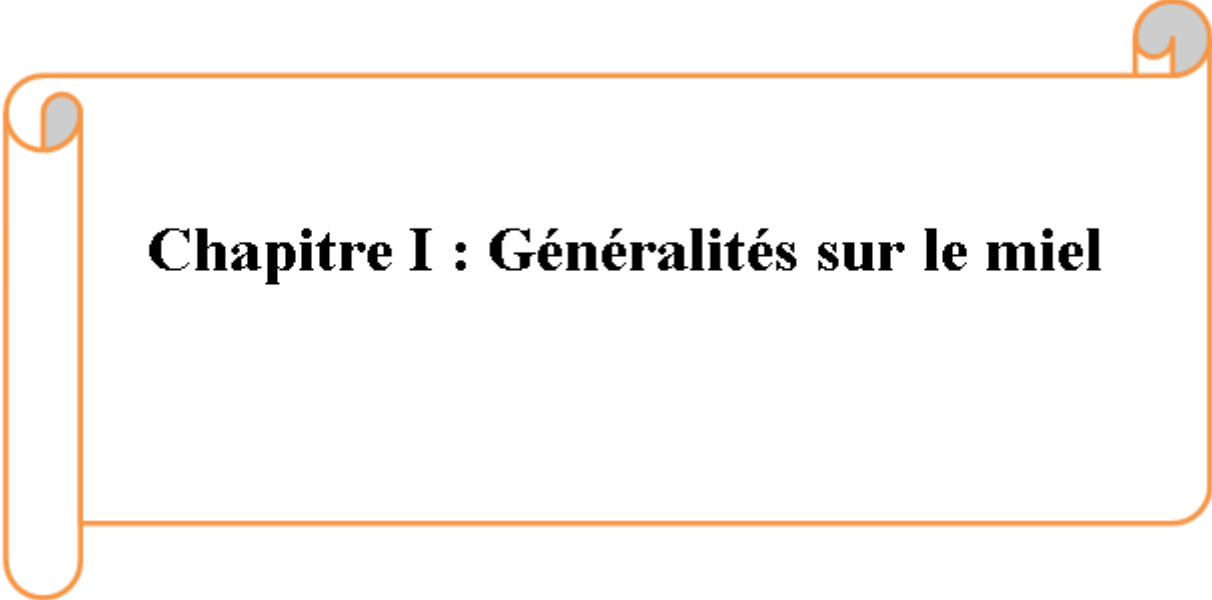
Cette technique permet la possibilité d'identifier plusieurs signes possibles de consommation de sucre dans le miel pour connaître sa pureté, ce qui est un moyen efficace et peu coûteux de réduire la propagation de la fraude et de protéger le consommateur de ce danger

Certains des auteurs ont précédemment tenté de caractériser rhéologiquement le miel en utilisant les propriétés rhéologiques (Bera et al. 2008) avec l'étude de certaines propriétés physico-chimiques du miel (James et al. 2009) des travaux sont en cours sur la caractérisation physique de certains échantillons de miel (et leur effet sur le saccharose) et ont également mené la analyse rhéologique des mélanges de miel.

Introduction

Cela notre travail a été réparti comme suit : une première partie, bibliographique, qui s'articule autour de deux chapitres, le première nous rapportons des généralités sur le miel en concerne ses composants chimiques et certaines de ses propriétés physico-chimiques, le deuxième traitait généralités de la rhéologie, des informations sur la dynamiques des fluides, la propriété rhéologique étudiée (la viscosité a en particulier) et décrire quelques appareils qui mesurant la viscosité.

Nous avons devisé la deuxième partie (pratique), en deux chapitres: Dans le premier, nous décrivons les matériaux utilisés et la méthode d'utilisation au regard de l'analyse physico-chimique et rhéologique, qui était le but de notre étude. Nous terminerons par l'interprétation et discussion des différents résultats obtenus et enfin une conclusion et de quelques perspectives.



Chapitre I : Généralités sur le miel

I) Introduction

Le miel est un aliment naturel, visqueux et aromatique apprécié pour son goût en plus de la saveur et de la valeur nutritive que de nombreuses personnes dans le monde consomment tous, et pour cette raison, ils exigent certaines normes qui garantissent leur qualité de ce produit et il substance sucrée produite par les abeilles nectar et autres substances sucrées (puçerons) récoltés sur des plantes vivantes.

Le miel est connu et sa qualité pour ses composants tels que principalement les sucres (fructose et un peu de saccharose) et l'eau avec des composants secondaires tels que les minéraux, les vitamines, les acides aminés, les acides organiques et autres composés et substances aromatiques, et son titrage dépend de la physique. Composition et propriétés chimiques (pH, indice de réfraction, conductivité électrique) et c'est de cela dont nous parlons dans cette section.

I.1) Définition du miel

Le miel est une substance naturelle et organique qui est produite par l'abeille de l'espèce (*Apis mellifera*), qui est récolté de les plantes (miel de fleurs et nectar) ou à partir des sécrétions laissées par les insectes suceurs. Les abeilles butinent ces substances sucrées, et elles sont renouvelées et transformées en miel. Elles sont recueillies avec certaines substances, séchées et laissées mûrir dans les rayons de la ruche. Aussi, les abeilles effectuent 50.000 environ vols. Les abeilles transforment le saccharose contenu dans le nectar en fructose grâce à leurs enzymes (**Biri. 1997**).

Le miel est un produit essentiel de l'apiculture et est utilisé comme aliment et médicament naturel et guérisseur des maladies.

I.2) Composition chimique du miel

Le miel est un édulcorant nutritionnel complexe composé principalement de glucides (60–85%) et d'eau (12–23%). Il contient également de petites quantités d'autres composés, tels que les acides organiques, les minéraux, les vitamines, les enzymes, les protéines, acides aminés et autres composés phénoliques et substances aromatiques (**Tableau I.1**)

Tableau I.1: Principaux composants du miel en pourcentage (Chauvin. 1968). (Solayman et al. 2016). (Bradbear. 2009)

Eau	17,2 %		
Sucres	Mono saccharides	(Fructose)	38,19 %
		(Glucose)	31,28 %
	Saccharose (D-Saccharose)		1,31 %
	Maltose et autres disaccharides réducteurs		79,59 %
Minéraux	Potassium, sodium, magnésium, calcium, phosphore, fer, manganèse, cuivre, etc....		0,17 %
Acides	Gluconique, citrique, succinique, etc... Acides totaux, calculés en acides gluconiques.		0,57 %
Protéines	Acides aminés: acide glutamique, alanine, arginine, glycine, leucine, isoleucine, acide aspartique, valine, histidine et lysine		0,26 %
Composants mineurs	Comprenant principalement des pigments, des substances aromatiques, des alcools de sucres, des enzymes et des diastases dont l'amylase, la peroxydase, l'hydrogénase, la phosphatase et les invertases. Des vitamines dont la thiamine, la riboflavine, l'acide nicotinique, la vitamine K, l'acide folique, la biotine, la pyridoxine et l'acide pantothénique.		2,2 %

2.1 Glucides

Les glucides constituent la partie la plus importante du miel. La teneur en sucre se situe entre 95% et 99% de la matière sèche. Il existe ainsi une quinzaine de sucres différents, jamais présents tous à la fois. Les deux sucres principaux, des monosaccharides, sont le glucose (31% en moyenne) et le fructose ou lévulose (38%). Ils proviennent en grande partie de l'hydrolyse du saccharose (présent dans le nectar ou le miellat) par l'invertase ou les acides.

Le fructose est donc le sucre le mieux présenté, suivi de près par le glucose. On trouve aussi des disaccharides, maltose (7,3%) et saccharose (1,5%), des oligosaccharides (1,5 à 8%) et des polysaccharides (3,5%). On peut citer parmi eux: l'écloze, le raffinose, le Mélézitoze, Kojibiose, Dextransriose, Mélibiose, etc. Les autres disaccharides et sucres supérieurs sont présents en petite quantité (**Tableau I.2**).

Le miel est en moyenne de 80 -83%. En plus de cela, le saccharose est converti du nectar ou des pucerons en glucose et fructose par l'enzyme invertase. (**Crane. 1990**).

Tableau I.2: Principaux sucres décrits dans les miels (**Alvarez-Suarez et al. 2010**) (**Ruiz-Matute et al. 2010**).

Monosaccharides		
fructose		
Glucose		
Disaccharides		
Majorité	Minorité	Traces
Iso maltose	Cellobiose	Isomaltulose
Maltose	Maltose	Maltulose
Saccharose	Nigérose	Mélibiose
Turanose	Palatinose	Tréhalose
Tri saccharides		
Panosse	Mélézitoze	Laminaritriose
Erlose	Isomaltotriose	Centose
Théanderose	Isopanose	1-Kestose
Maltotriose	Raffinose	Planteose
Oligosaccharides supérieurs		
		Traces

		Isomaltotétraose
		Maltotétraose
		Isomaltopentaose

La teneur en **maltose** est sensiblement plus élevée que la teneur en saccharose, aussi bien dans les miels de fleurs que dans les miels de miellat. Ces derniers lorsqu'ils sont purs, contiennent souvent de 2 à 3 fois et parfois jusqu'à 10 fois plus de maltose que de saccharose. Compte tenu de l'ensemble du groupe de **maltose**, il est possible de rencontrer des miels contenant 10% de **maltose** et **d'iso maltose** (Cavia et al. 2006).

❖ Eau

L'eau est l'un des composants les plus importants du miel, elle provient du nectar collecté par les abeilles. La teneur en eau du miel varie de 17 à 18%, ce qui est un rapport idéal pour assurer sa conservation et éviter la fermentation. Plus le pourcentage de cette teneur est élevé, plus les risques de fermentation sont importants. Il est également responsable de la stabilité du miel lors du stockage (Delphine, 2010).

L'activité de l'eau dépend de la composition en sucre (principalement teneur en glucose et rapport glucose/fructose), cristallisation du miel et conditions environnementales (Gleiter et al. 2006). L'activité de l'eau du miel est utilisée pour prédire l'échange d'humidité avec l'environnement, puisque le miel gagne ou perd de l'humidité lorsqu'il est exposé à différentes valeurs d'humidité relative ambiante (Chirife, Zamora et al. 2006).

❖ Sucres

Le pourcentage de sucres contenus dans le miel de 79% l'un à l'autre est le poids humide du miel, qui provient du nectar des fleurs et est représenté par des monosaccharides comme le fructose en proportion 38% et le glucose en proportion 31%.

Les sucres sont les principaux constituants du miel. Ils sont constitués de 75% de monosaccharides, 10 à 15% de disaccharides et un pourcentage plus faible des sucres qui restent (Da Silva, P.M et al. 2015) sont produits par les abeilles matures en convertissant le nectar de saccharose par l'enzyme invertase contient un glucose de transformation (White et Maher. 1953), des sucres plus complexes sont produits à partir de monosaccharides, de sorte que les principaux sucres du miel sont des dérivés alpha-glucosyle.

La gluconéogenèse peut être affectée par l'origine végétale/géographique. En plus du glucose et du fructose, ce sont les principaux sucres du miel, et ils ont été suggérés comme indicateur pour distinguer la manne du miel de nectar (**Terrab et al. 2001**). (**Sanz et al. 2005**) (**Escuredo et al. 2014**). En général, le miel de manne a la concentration moyenne la plus faible de fructose et de glucose.

Pendant le stockage, la composition en sucre du miel continue de changer en raison d'action enzymatique et température. Lorsque le miel est stocké à des températures inférieures ceux de la cellule, certains sucres, notamment le glucose et le fructose, peuvent cristalliser. Ce phénomène est largement influencé par les principales proportions relatives sucres dans le miel. Le miel ne cristallise pas avec un rapport F/G élevé, supérieur à 1,33 pendant de longues périodes, le miel avec un rapport F/G inférieur à 1,11 cristallise rapidement (**Smanalieva et Senge. 2009**).

2.2 Protéines

Les protéines du miel proviennent à la fois des abeilles glandes et végétaux (nectar, miellat et principalement pollen). Environ 20 protéines non enzymatiques différentes ont été identifiées dans le miel, dont beaucoup sont communs à tous les miels, où albumines, globulines, protéases et les nucléoprotéines sont incluses (**Doner. 2003**).

Les protéines détectables dans le miel (0,58 à 7,86 %) (**A. Guler, A. V. Garipoglu, H. et al. 2017**) sont principalement sécrétées par les glandes salivaires et hypopharyngées des abeilles butineuses et de la ruche (**J. Agric. 1990**) et pourraient avoir une importance mineure pour la nutrition des abeilles larvaires et adultes. En fait, la valeur nutritive des protéines de miel n'est pas claire et doit être étudiée dans de futures études. De plus, des fonctions alternatives d'amélioration de la santé et de développement des protéines de miel pour les larves et les abeilles adultes sont possibles, on sait que le pollen est la principale source de protéines et d'acides aminés des abeilles pour faciliter le développement des glandes et l'élevage du couvain. Les protéines du miel diffèrent non seulement pour les miels produits à partir de différentes sources végétales, mais ils diffèrent également de manière significative entre les espèces d'abeilles butinant sur la même source florale (par exemple, *Apis mellifera* contre *Apis ce rana*). Plages de concentration de protéines 0,2–1,6% dans le miel d'*Apis mellifera* et 0,1–3,3% dans celui d'*Apis ce rana* (**Lee et al. 1998**).

La protéine du miel provenant des abeilles est composée principalement d'enzymes sécrétées à partir des glandes salivaires et de l'hypopharynx des abeilles ouvrières (**Tableau I.3**). Des

enzymes diverses présentes dans le miel sont connues depuis des années (**White. 1978**). Suite la plus importante est l' **α -glucosides** (invertase ou saccharases).

La teneur totale en protéines du miel peut varier de 0,1 à 0,5 %, bien que certains miels comme la bruyère lingue (*Calluna vulgaris*) possèdent une teneur en protéines plus élevée (1–2%) (**Sa'inz-Lai'n, Go'mez-Ferreras. 2000**). Les miels de bruyère lingue présentent un comportement thixotrope qui confère une consistance gélatineuse, gênant l'extraction et traitement. D'un point de vue technologique, la présence de protéines peut être indésirable. Plus le taux de protéine est élevé, plus la tension superficielle du miel est faible, produisant ainsi une tendance à mousser et à former de l'écume, et par conséquent, entraînant l'incorporation de bulles d'air, comme dans le cas du sarrasin (*Fagopyrum esculentum*) (**Doner. 2003**).

Les miels falsifiés, surchauffés ou stockés longtemps montrent une réduction ou une absence de teneur en protéines (**Almeida, Muradian et al. 2013**).

2.3 Enzymes

Le miel naturel contient de petites quantités d'enzymes, de dont la diastase, l'invertase et la glucose-oxydase sont les le plus important. D'autres enzymes trouvées dans le miel sont la phosphatase acide, la catalase et la β -glucosidase (White, 1979a). Des enzymes telles que l'invertase ou la glucose oxydase sont principalement produites dans l'hypopharynx glandes des abeilles (origine animale), (**Tableau I.3**).

L'activité enzymatique actuelle du miel montre une tendance à la baisse avec certaines conditions telles que le stockage et le chauffage du miel, et elle ne peut être utilisée que comme indicateur pour la classification de la fraîcheur des miels unifloraux. Ces enzymes sont spécifiquement nommées invertase, α - et β -glucosidase, catalase, phosphatase acide, diastase et glucose oxydase, et elles sont classées dans une petite fraction de la protéine actuelle. Les nectars et les fluides salivaires et les sécrétions des glandes pharyngées des abeilles peuvent être cités comme la source de ces enzymes, mais le degré d'activité enzymatique peut montrer des différences notables dans les types de miel (**Bogdanov, K. Ruoff, et al. 2004**).

Les enzymes sont thermolabiles, étant utilisées comme indicateur de vieillissement et/ou échauffement, puisque leurs activités diminuent dans ces conditions. En général, les miels qui proviennent de les flux de nectar rapides et abondants à traiter contiennent moins d'enzymes parce que les abeilles ont moins de temps pour traiter le nectar. De plus, les nectars à haute teneur en sucre nécessitent moins de manipulations pour devenir des miels que diluées,

contenant donc moins d'enzymes (principalement diastase et invertase) (Crane. 1980). (White. 1979).

Alors que l'invertase est utilisée pour inverser le saccharose en fructose et glucose (A. Guler, A. V. Garipoglu. 2017) le rôle principal de la glucose oxydase, membre de l'enzyme flavine, est de catalyser l'oxydation du β -D-glucose en acide gluconique.

Tableau I.3: Principales enzymes du miel et leurs activités (Belitz et al. 2009)

α -glucosides (inversé)	Convertit le saccharose en glucose et fructose.
α - et β -amylase (diastases)	Transformer l'amidon en d'autres glucides (dextrines, oligo-, di- et monosaccharides).
Glucose oxydase	Convertit le glucose en gluconolactone, qui à son tour produit de l'acide gluconique et peroxyde d'hydrogène.
Catalase	Convertit le peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène.
Phosphatase acide	Élimine le phosphate des phosphates.
Protéases	Hydrolyser les protéines et les polypeptides pour produire des peptides de poids moléculaire inférieur.
Les estérases	décomposent les liaisons ester.

L' α -glucosidase est une exo-carbohydase qui hydrolyse la terminaison non réductrice liaison α -glucosidique et libère l' α -glucose du substrat. En présence de haute concentrations de substrat, l'enzyme catalyse également la réaction de transfert vers forment des oligosaccharides (Chiba et The Amylase Research Society of Japan 1998). Jusqu'à 18 iso-enzymes ont été décrites pour l' α -glucosidase, la plupart d'entre elles (13 sur de 18) ont un rapport constant d'activité d'hydrolyse sur les disaccharides tels que le saccharose et maltose (White, Kushnir. 1967).

L'invertase (α -glucosidase) est un miel important enzyme, puisqu'elle convertit le nectar et le miellat en miel, hydrolysant le saccharose en fructose et glucose. De plus, l'activité transglycosilase de l'invertase produit des oligosaccharides dans l'intermédiaire étapes

(White, Maher. 1953). L'activité de l'invertase est maintenue après l'extraction du miel et pendant le stockage. L'invertase fait du miel un aliment hautement énergétique qui occupe un espace minimum dans la cellule de paroi hexagonale (grue, 1980).

La glucose oxydase est une autre enzyme importante incorporée dans le miel par les abeilles déjà partiellement purifiée et caractérisée dans les années (White et Kushnir. 1967). Comme l'invertase et la diastase, elle joue un rôle dans la formation du miel dans la ruche par oxydation du glucose en gluconolactone, qui est ensuite transformé en acide gluconique et en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), (contribuant ainsi à l'acidité et à l'activité antibiotique du miel. C'est dégradé le glucose en la gluconolactone, qui donne à son tour de l'acide gluconique, augmentant l'acidité du miel et libérant de petites quantités de le peroxyde d'hydrogène, composé responsable du miel résistance microbienne. Cette réaction est plus rapide chez les immatures ou du miel dilué lors de la perte d'eau à l'intérieur de la ruche, étant plus lent dans les miels secs (White, Subers. et al. 1963).

La β -glucosidase est une enzyme ajoutée par les sécrétions d'abeilles qui hydrolyse l'acide glycosidique toxines ingérées par les abeilles et transforme les β -glucanes aux oligosaccharides et au glucose. Enfin, il y a une minorité des enzymes telles que la protéase qui hydrolyse les protéines et polypeptides pour produire des peptides de poids moléculaire inférieur poids et estérase qui décompose les esters (Labropoulos et Anestis, 2012).

Autres enzymes. D'autres enzymes importantes présentes dans le miel en moindre quantité sont la catalase et la phosphatase acide, dont les origines sont principalement le pollen, ainsi que le nectar et miellat (White. 1979a). **La catalase** convertit le peroxyde d'hydrogène produit par la **glucose-oxydase** en eau et oxygène (Huidobro, Sánchez et al. 2005). La phosphatase acide produit du phosphate inorganique à partir de phosphates organiques. Cela pourrait être un indicateur de fermentation du miel (Alonso-Torre et al. 2006). L'activité de la phosphatase dépend du pH du miel. Le plus haut le pH est élevé, plus l'activité de la phosphatase acide est élevée, étant la plage de pH optimale entre 4,5 et 6,5. L'activité de la phosphatase diminue également pendant le stockage (Alonso-Torre et al., 2006).

2.4 Acide aminé

Le miel contient également des acides aminés libres à hauteur d'environ 1 % (P/P) de leurs composants. Il existe également trois sources possibles qui peuvent être contribues à la formation des acides aminés du miel : nectar (Baker et Baker. 1986), le pollen et les abeilles elles-mêmes, notamment pour la proline (Petrov 1974).

Environ 26 acides aminés ont été détectés dans miel, tel que la proline, l'acide glutamique, l'alanine, la phénylalanine, tyrosine, leucine, isoleucine, lysine, méthionine, histidine, arginine, acide aspartique, tryptophane, sérine, valine, méthionine, trypsine et thréonine, entre autres (**Sa'inz-Lai'n et Gómez- Ferreras. 2000**).

L'origine des acides aminés du miel est attribuable à la fois animales (sécrétions d'abeilles) et végétales (nectar, miellat et principalement du pollen). Comme la source principale est le pollen, le profil en acides aminés ou certaines caractéristique sels acides aminés pourraient être importants pour la classification botanique de miel, comme l'arginine dans le miel de châtaignier ou tryptophane dans le miel d'acacia (**Hermosín et al. 2003**). (**Pirini, Conte, et al. 1992**).

La proline est l'acide aminé libre le plus abondant dans miel, allant de 50 à 85% du total (**Hermosin et al. 2003**). Il provient principalement de la salive des abeilles mellifères sécrétions lors de la conversion du nectar ou du miellat en miel (**Bergner et Hahn, 1972**). Pour cette raison, ce acide aminé ne pouvait pas être un bon indicateur de la botanique origine du miel. Malgré cela, **Biino (1971)** ont rapporté que des valeurs élevées de proline étaient typiques pour miels de miellat

2.5 Acides organiques

Les acides organiques sont présents dans le miel à des niveaux d'environ 0,5 à 0,6 % et contribuent à cette propriétés sensorielles et physico-chimiques (acidité, pH et conductivité électrique) (**Mato et al. 2007**). Y compris pendant la fermentation suite à la transformation du miel et des sucres. Les alcools sont convertis en acides organiques par l'action des levures de miel (**Cavia et al. 2007**). Les acides organiques de certains miels sont susceptibles de provenir directement du nectar ou du miellat (citrique, malique et oxalique), mais la grande majorité d'entre eux sont produits des sucres du nectar et du miellat par l'action d'enzymes sécrétées par les abeilles pendant la maturation et le stockage (acide formique et autres) (**Ortiz-Valbuena et al. 1996**).

Les acides organiques peuvent également être utilisés pour détecter la tromperie du miel, ainsi que pour connaître le miel issu de la nutrition sucrée. Il est également possible de connaître les différents types de miels naturels et de les différencier en connaissant les acides organiques présents dans ceux-ci. Jusqu'à 32 acides organiques ont été identifiés dans le miel, y compris acétique, butyrate, Citrique, Formique, Fumarique, Glycolique, Propionique, Lactique, Maléique, Maléique, Oxalique et Succinique Acides (**Wilkins et al. 1995**)

L'acide gluconique est le principal acide organique du miel, représentant les 70 à 90 % du total (**Bogdanov, 2011c**). Ce provient du glucose par l'action de la glucose oxydase.

Indice d'hydroxyméthylfurfural HMF consiste en la décomposition des sucres simples tels que le glucose et le fructose à un **pH = 5** et la raison de sa formation afin de séparer l'eau des sucres dans le miel en présence d'acides. Sa préparation dépend de l'addition d'acide et de l'utilisation de la chaleur, et dans ces conditions, une partie du saccharose est convertie en HMF. On le trouve également en petite quantité dans le miel naturel, surtout par temps chaud, et sa valeur augmente avec l'augmentation de la durée de stockage ou lorsque le miel est exposé à la chaleur, et plus sa valeur est élevée, plus la couleur du miel est foncée.

Le **pH** du miel varie de 3,4 à 6,4, de sorte qu'il est généralement suffisamment faible pour empêcher le développement de micro-organismes (Cavia et al. 2002). (Gomes et al. 2010). La valeur du pH du miel ne change pas en ajoutant de petites quantités d'acides et de bases en raison de sa large teneur en phosphates, carbonates et sels minéraux.

2.6 Minéraux

Le miel contient des minéraux compris entre 0,02 et 0,3% dans chacun des 1/ de miel (Crane, 1980). Les minéraux proviennent du sol, sont transportés dans les plantes par les racines et en miel via le nectar ou le miellat (Anklam. 1998), bien qu'ils puissent aussi provenir de sources anthropiques, telles que la pollution de l'environnement.

Les minéraux sont absorbés sous forme de sels dissous dans l'eau, allant des racines à la sève de la plante et puis pompé vers le nectar ou le miellat et le pollen (Estupinan et al. 1998). Distingue les miels de miellat par la teneur en K, Al, Ni, Cd et Zn, tandis que Na, Ba et les quantités de Pb étaient caractéristiques des miels de colza. (Tableau I.4) compile les principaux éléments minéraux décrits dans le miel; la plupart d'entre eux sont des métaux, dont certains ne sont présents que dans des quantités infimes (c'est-à-dire des oligo-éléments)

Tableau I.4 : Principaux éléments minéraux décrits dans le miel (Solayman et al. 2016)

Minéraux majoritaires	Teneur moyenne en lumière au miel foncé (ppm)	Oligo-éléments
Potassium (K)	40–1350	Copper (Cu)
Chlorine (Cl)	52–427	Chromium (Cr)
Sulphur (S)	15–100	Lithium (Li)
Sodium (Na)	3–237	Nickel (Ni)
Calcium (Ca)	5–218	Lead (Pb)
Phosphores(29–119	Tin (Sn)

Magnésium(Mg)	2–564	Osmium (Os)
Silicon (as SiO ₂)	9–41	Beryllium (Be)
Irone	0.4–224	Vanadium (V)
Zinc (Zn)	0.2–74	Zirconium (Zr)
	0.3–4	Silver (Ag)
		Barium (Ba)
		Gallium (Ga)
		Bismuth (Bi)
		Gold (Au)
		Germanium (Ge)
		Strontium (Sr)

Le plus les minéraux importants présents dans les miels sont le potassium, sodium, calcium et magnésium. Éléments moins abondants sont le fer, le cuivre, le manganèse, le chlore et en mineur quantités d'oligo-éléments tels que le bore, le phosphore, soufre, silicium, nu et nickel, entre autres (**Doner. 2003**). Le potassium est le principal, représentant 80% de le total, en raison de sa sécrétion rapide par le nectar sources (**Ortiz-Valbuena et al. 1996**). En général, le miel noir contient plus de minéraux que de métaux légers, étant plus riches en pucerons (**Fernandez Torres et al. 2005**).

Une technique basique d'analyse des minéraux dans le miel peut également être utilisée, qui est **l'absorption atomique de flamme (FAAS)**, elle est également utilisée en routine pour analyser les principaux minéraux dont certains sont les rares éléments mineurs présents dans le miel.

Cependant, pour éliminer les interférences chimiques et physiques possibles et surtout ceux liés à la forte concentration en sucre, les échantillons de miel doivent être minéralisé avant l'analyse, qui peut se faire soit par digestion acide, soit allumage. De plus, l'étalonnage n'est possible que dans une plage de concentration étroite et souvent des dilutions séquentielles d'échantillons avant que les mesures ne soient nécessaires (**Pohl et al. 2012**).

2.7 vitamines

Le miel contient des vitamines qui proviennent principalement du pollen des fleurs visitées par les abeilles, ainsi que du nectar ou miellat (**Sa'inz-Lai'n et Go'mez-Ferreras. 2000**).

Le quantités de vitamines dans le miel sont si faibles que cet aliment ne peut pas être considéré comme une bonne source de ces nutriments. La teneur en vitamines hydrosolubles

est plus élevée que la quantité de vitamines liposolubles, car le miel contient à peine des substances lipidiques. Le plus important la vitamine du miel est la vitamine C, qui a des propriétés antioxydantes effet. Des vitamines du groupe B ont également été détectées dans différents quantités (**Leo´ n-Ruiz, Vera, et al. 2013**).

La plupart des vitamines proviennent des grains de pollen présents en suspension de sorte que la filtration commerciale des miels réduit considérablement leur contenu en raison de l'élimination presque complète du pollen (**Ciulu et al. 2011**).

2. 8 Composés aromatiques

Les composés volatils présents dans le miel sont responsables de son arôme et de sa saveur. La saveur est produite à partir de mélanges complexes de composés volatils, qui conduisent à la conversion du nectar de miel ou des pucerons par les abeilles.

2.9 Composés phénoliques

Ce sont des métabolites secondaires des plantes, présents dans le miel en faibles quantités mais en grand nombre. Leur principale origine est le nectar et les sécrétions végétales (**Al-Mamary et al. 2002**). (**Bogdanov et al. 2004**).

Les composés phénoliques, ainsi que d'autres composés organiques, sont dégradés dans le miel selon les conditions environnementales auxquelles ils sont soumis, les acides phénoliques sont composés de molécules contenant un composé phénolique Anneau (**Grassi et al. 2010**). Ne contiennent pas de flavonoïdes Polyphénols, dérivés d'acide benzoïque (comme les acides gallique, ellagique et protocatéchique) et cinnamique Acide (tel que caféine, cinnapique, férulique, coumariqueacides) (**Amiot, Aubert, Gonnet, & Tacchini, 1989**)

I.3) Caractéristiques physico-chimiques du miel

Les caractéristiques physicochimiques consistent l'un des facteurs majeur déterminants la qualité du miel. Les paramètres physico-chimiques identifiés dans notre étude sont ; pH, conductivité électrique, indice de réfraction.

3.1 Le pH

Le pH du miel varie généralement entre 3,2 et 3,5, et cela est dû à la présence d'acides organiques (**Bogdanov et al. 2004**). Les miels de nectar ont un pH faible (de 3,3 à 4,0) tandis que les miels de miellat ont un PH un peu plus élevé (de 4,5 à 5, 5). il se décompose plus facilement par la suite, il faut faire attention lors de son stockage (**Gonnet et Vache, 1985**).

3.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique est le meilleur paramètre pour faire la distinction entre le miel de pucerons et le miel de fleurs, car le premier a une conductivité beaucoup plus élevée que le second. Aussi, cette mesure dépend de la teneur en minéraux et de l'acidité du miel. Plus il est élevé, plus la conductivité correspondante (**Emmanuelle et al. 1996**) est élevée Normes internationales : le miel de nectar a une conductivité inférieure à 0,8 mS /cm et le miel de miellat supérieure à 0,8 mS/cm (**Bogdanov et al. 2001**).

3.3 Indice de réfraction:

La mesure de l'indice de réfraction d'un miel permet d'en déterminer sa teneur (pourcentage) en humidité (eau) et ainsi savoir s'il se conservera longtemps ou s'il pourra être sujet à fermentation. Cependant, il est aussi utile de connaître les proportions de glucose et de fructose (les deux sucres majoritaires dans le miel) car ceux-ci permettent d'évaluer si le miel cristallisera rapidement ou non. Les miels à forte teneur en glucose cristallisent plus rapidement que le miel à forte teneur de fructose.

Il est également utilisé pour calculer la teneur en eau du miel. La valeur déterminée par le réfractomètre oscille entre 1,47 et 1,50 (**Cernak M et al. 2012**).



Chapitre II : Caractérisation rhéologique

II. Introduction

La rhéologie, en tant que science de l'étude de l'écoulement et de la déformation des matériaux dans des conditions bien définies, joue un rôle important dans l'industrie alimentaire (**Gómez-Díaz, Navaza, J.M. 2006**). (**Steffe, J. 1996**). (**Sopade, P.A. et al. 2003**). (**Rao, M.A. 2007**). (**Fischer, P Windhab, E.J. 2011**). (**Bakier. S. et al. 2016**). (**Ahmed, J. 2018**).

La consistance et d'autres propriétés mécaniques en rhéologie affectent la transformation industrielle des aliments (généralement par mélange / agitation, pompage, dosage, dispersion, extrusion, filature, revêtement, moulage par injection et pulvérisation), la texture et la stabilité du produit, ainsi que la préparation et la consommation des aliments. Il se compose principalement de deux composants : l'élasticité (souplesse, rigidité) et la viscosité (**Vignola. 2002**)

II.1 Définition

La rhéologie est l'étude de l'écoulement et de la déformation de la matière qui décrit l'interrelation entre force, déformation et temps. La rhéologie, mot inventé par **Bingham** en 1929, le terme rhéologie provient des mots grecs « rhéo » qui se traduisent par « flux » et « logia » qui signifie « l'étude de », bien que, d'après la définition ci-dessus, la rhéologie concerne autant la déformation des matériaux de type solide que l'écoulement des matériaux de type liquide et traite en particulier du comportement des matériaux viscoélastiques complexes qui présentent les propriétés des liquides et des solides en réponse à la force, à la déformation et au temps

Le but de la rhéologie est d'établir les contraintes (forces) nécessaires pour provoquer l'écoulement ou la déformation d'un matériau ou pour déterminer l'écoulement ou la déformation de tout matériau sous une contrainte connue (**Fischer. Windhab. 2011**).

II. 2 Composantes de rhéologie

Le terme consistance comprend la dureté, la viscosité, la plasticité, l'élasticité, la ductilité, la résistance à la rupture, etc. C'est aussi un ensemble de sensations produites par la stimulation de récepteurs mécano- et tactiles, qui sont principalement localisés dans la bouche et varient selon la texture du produit (**Beau. 1950 et Bourne. 2002**).

a) Élasticité

Lorsque cette contention est supprimée, le corps a tendance à reprendre la forme et la taille qu'il avait avant d'être contenté (**Perso, 1969**).

b) Viscosité

C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un objet à résister au cisaillement. Mais on parle surtout de viscosité à l'approche d'un fluide. On dirait alors qu'il représente la résistance du liquide à un écoulement uniforme et sans turbulence. La connaissance de la viscosité est essentielle. Si elle peut être ignorée à très basse vitesse, sa présence est plus prononcée à grande vitesse (**Gorlier et Germain. 1998**).

II.1.3. L'influence de la rhéologie

L'influence de la rhéologie se manifeste également dans la perception et la digestion des propriétés d'écoulement de ces processus mécaniques et chimiques, la dégradation structurelle lors de la mastication des aliments est liée à la perception de la texture, de sorte que des mesures rhéologiques peuvent être utilisées pour contrôler d'autres attributs de qualité, tels que la saveur ou la libération de nutriments à certains endroits.

Une bonne compréhension de la rhéologie est essentielle pour comprendre de nombreux processus en génie alimentaire, en génie chimique et dans d'autres domaines de recherche. Tous les matériaux sont composés de molécules, et les mêmes mouvements et interactions moléculaires sont responsables de la rhéologie.

II.2) Les types de fluides

Un fluide comprend les gaz, les liquides, même certains solides. Il est une matière parfaitement déformable.

On distingue deux grandes familles de fluide en fonction de leur viscosité. Les fluides dits newtoniens et les fluides non newtoniens.

II.2.1. Les fluides newtoniens

Les fluides newtonien sont toutes les lois de comportement des matériaux fluides obéissent à la loi de Newton qui établit une relation proportionnelle entre contrainte de cisaillement et gradient de vitesse de cisaillement (**Drissa. 2011**). (**Sourdelet. 2018**).

Les fluides newtoniens ou complexes, intervient notamment dans les domaines agroalimentaires, il intervient dans de nombreuses applications de notre vie quotidienne (Sourdelet. 2018).

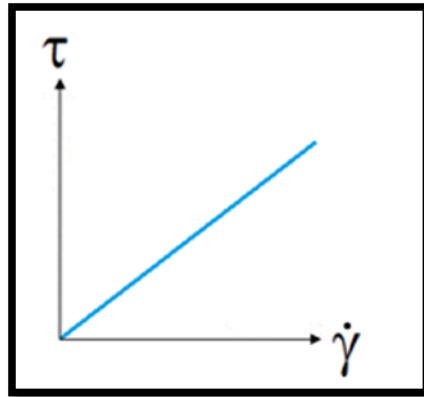


Figure II.1 : Courbe d'écoulement d'un fluide newtonien (www.researchgate.net/2015).

Un fluide est dit Newtonien si sa viscosité est indépendante de la contrainte appliquée. Cette catégorie de fluides obéit à la loi de Newton

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad \text{II.1}$$

τ est la contrainte de cisaillement, en (Pa)

η est la viscosité de l'échantillon, en (Pa.s)

$\dot{\gamma}$ est le gradient de cisaillement, en (s^{-1})

Cette loi représentée graphiquement donne la courbe d'écoulement (fig. II.1).

Le rhéogramme $\tau = (\dot{\gamma})$ d'un tel fluide est donc une droite passant par l'origine, de pente

$tg\alpha = \eta$. C'est en général des gaz et des liquides usuels.

-**La contrainte de cisaillement** représente la force parallèle exercée à la surface du fluide par rapport à sa surface (Pa).

-**Le taux de cisaillement** est la vitesse maximale du fluide (celle de la surface où l'on applique la force) par rapport à la hauteur du volume de fluide. Le gradient de cisaillement est ainsi par définition défini comme étant la dérivée de la déformation γ par rapport au temps.

-**La viscosité** est ainsi par définition le rapport entre la contrainte appliquée sur un fluide et son taux de cisaillement ; elle rend compte de sa résistance à l'écoulement (Reeve. 2008) :

II.2.2. Les fluides non newtoniens :

Les fluides non newtoniens ont la particularité d’avoir une viscosité variable en fonction de la vitesse et des contraintes qu’ils subissent (la fig II.2). La viscosité diminue lorsque le gradient de vitesse augmente. Les fluides non newtoniens regroupent tous les fluides qui n’ont pas un comportement newtonien (Giboun. 2015).

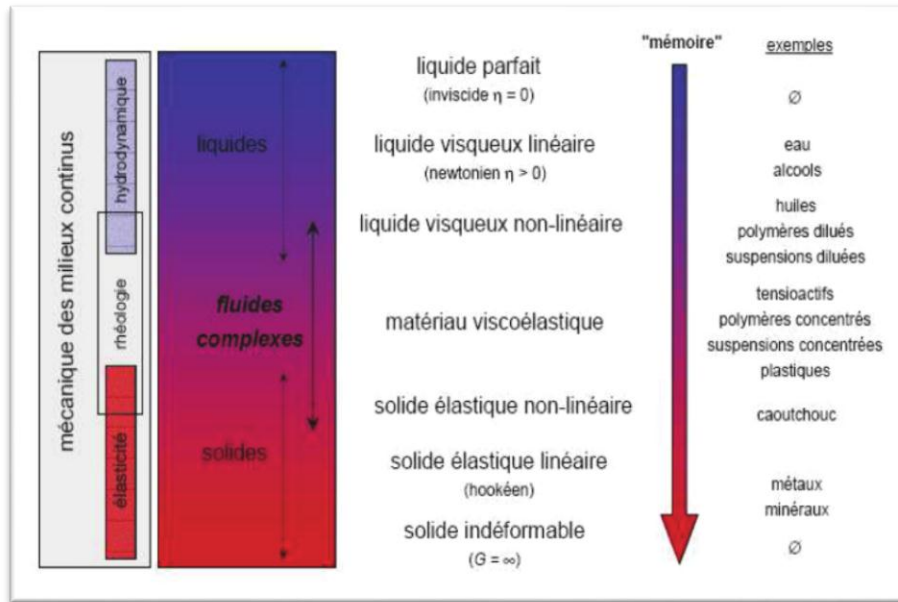


Figure II.2 : Classification des fluides complexes (<http://13mgp.l3m.univmrs.fr/2014>).

1. Fluides à comportement indépendant du temps

Ce sont des fluides dont les taux de déformation dépendent uniquement de la contrainte de cisaillement appliquée, selon la relation suivante:

$$\tau = \mu a \dot{\gamma} \tag{II.2}$$

Où le facteur de proportionnalité μa est une valeur dépendant de $\dot{\gamma}$, appelée viscosité apparente.

Ce type généralement appelés fluides purement visqueux. Il existe trois catégories de fluides :

1.1) Fluides rhéo-fluidifiants fluides dont la viscosité diminue avec l'augmentation de la contrainte ou du taux de cisaillement. Exemple : les crèmes cosmétiques ou pharmaceutiques, shampoings, concentrés de jus de fruits, etc. Mais ne varie pas avec le temps.

1.2) Fluides ou rhéo-épaississants : fluides dont la viscosité grandit au plus il est contraint ou le taux de cisaillement, et ne varie pas non plus avec le temps

1.3) Fluides viscoplastiques

Ce sont des fluides caractérisés par une contrainte de cisaillement résiduelle τ_0 . Aucune déformation ne se produit, aucun mouvement n'apparaît au sein du fluide, si la contrainte appliquée au fluide est inférieure à τ_0 . Fluides plastiques de Bingham sont appelés les fluides viscoplastiques à comportement linéaire, ils sont des quasi-solides. Exemples : les boues de forage de gisements pétroliers, la mayonnaise, etc.

Différentes lois peuvent éventuellement modéliser le comportement des fluides viscoplastiques : le modèle de Bingham et le modèle de Herschel-Buckley (Le modèle de Bingham étant un cas particulier du modèle d'Herschel-Buckley) :

Modèle de Bingham

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma} \quad \text{II.3}$$

Modèle de Herschel-Buckley

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad \text{II.4}$$

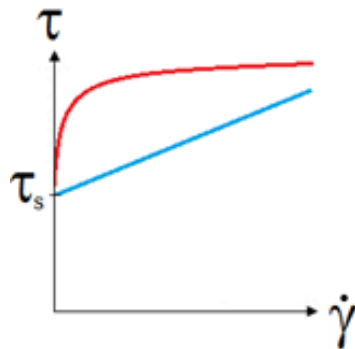


Figure II.3 : Rhéogramme d'un fluide de Bingham (www.researchgate.net/figure/2015).

2) Fluides à comportement dépendant du temps

La viscosité de ces fluides varie en fonction du temps et dépend des traitements antérieurs.

2.1) Fluides thixotropes

Un fluide est dit thixotrope si sous contrainte constante, sa viscosité apparente diminue au cours du temps. Comme la caractéristique du fluide dépend de son historique, les mesures rhéologiques deviennent complexes dû aux effets d'hystérésis (effets de mémoire). Parmi les fluides thixotropes, on peut citer le yaourt, les sables mouvants, certaines encres d'impression, certaines boues de forage pétrolier, certains gels, etc.

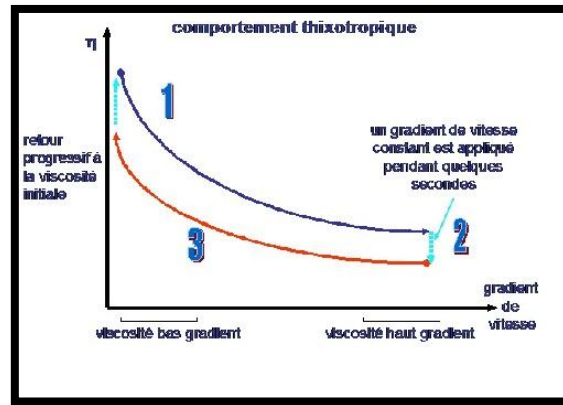


Figure II.4 : Visualiser différence dans le cas de deux solutions pseudo plastiques (fr.wikipedia.org).

2.2) Fluides antithixotropes

L'antithixotrope est le phénomène inverse de la thixotropie : le fluide durcit par agitation, par exemple : les suspensions aqueuses de gypse

2.3) Fluides viscoélastiques

Lorsqu'ils subissent une déformation, Les fluides viscoélastiques qui présentent des caractéristiques à la fois visqueuses et élastiques. Les liquides visqueux, comme le miel, lorsqu'une contrainte est appliquée résistent à un écoulement en cisaillement et présentent une déformation qui augmente linéairement avec le temps.

La pâte de silicone est un exemple de fluide viscoélastique, elle peut réagir de deux manières différentes. Une boule de silicone rebondit sur le sol comme une balle élastique (aux temps courts) pourtant, si on pose cette boule sur une surface horizontale et on attend quelques minutes, on voit la pâte de silicone s'étaler comme un fluide visqueux. Le modèle le plus simple de fluide viscoélastique consiste à additionner les contraintes d'origine élastique et les contraintes d'origine visqueuse :

$$\tau = \tau_{elast} + \tau_{visq} = E\dot{\gamma} + \mu\dot{\gamma} \quad \text{II.5}$$

Où E est un module d'élasticité et $\dot{\gamma}$ est le taux de déformation.

II.3 La viscosité

3.1) Définition de la viscosité

La viscosité est un paramètre de qualité important pour la plupart des produits finis. C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un objet à résister au cisaillement (**Ayouaz, Benmamas. 2017**), et peut également être définie comme la résistance à un écoulement uniforme, et l'absence de turbulence dans la masse du matériau.

Idéalement, un liquide au repos est considéré comme un ensemble de couches moléculaires parallèles. Sous l'action de la contrainte tangentielle, due au frottement permanent des molécules de la deuxième couche, l'une des couches de liquide se déplace par rapport à la couche en dessous, et ce mouvement est en partie transféré à cette dernière, tandis que la vitesse de déplacement de la première couche est réduite. Cet effet retardé causé par le frottement interne des molécules de la couche inférieure avec les molécules de la couche supérieure est appelé viscosité (**Scher. 2006**).

On peut dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide. Car elle se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse (**Carre et al. 1994**).

3.2) Les types de la viscosité

3.2.1) Viscosité dynamiques

La viscosité dynamique relie la contrainte de cisaillement au gradient de vitesse d'écoulement présent dans le matériau. En considérant deux plans successifs 10 entre lesquels existent des forces de frottement F à leur surface de séparation. Ces forces de frottement sont dans le sens opposé à celui du glissement d'un plan sur un autre [14].

En établissant cette force de cisaillement F responsable de la diminution de la vitesse dV de déplacement des plans successifs et la variation de hauteur dz de la surface S de ces deux plans considérés, la relation est donnée par la loi de Newton :

$$F = \eta \cdot S \cdot (dV/dz) \quad \text{II.6}$$

3.2.2) Viscosité cinématique

La viscosité cinématique notée ν est déterminée en mesurant le temps qu'il faut à un fluide donné pour s'écouler dans un tube capillaire de section S par la force de gravité (**Mouas. 2012**). La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique η par la masse volumique du fluide ρ , soit :

$$\nu = \eta / \rho \quad \text{II.7}$$

3.3) Les facteurs affectent sur la viscosité d'un liquide

3.3.1) La pression

La pression est un facteur qui influe sur l'évolution de la viscosité lorsque la pression d'un liquide augmente et que sa viscosité augmente. La viscosité dynamique des liquides est pratiquement indépendante de la pression si celle-ci reste inférieure à environ 200 bar, du fait de sa très faible compressibilité.

3.3.2) La nature du fluide

La viscosité est également soumise à des variations en fonction de la nature du fluide. Ces types de fluide sont appelés newtoniens et non newtoniens. L'étude de la déformation et de l'écoulement de ces fluides est appelé rhéologie. Elle a pour objectif d'analyser les comportements mécaniques des substances et d'établir leurs lois de comportement, la viscosité est basse, et si les particules sont rugueuses irrégulières la viscosité est haute.

3.3.3). La température

La viscosité d'un liquide est affectée par un changement de température dans une relation inverse, car plus celle-ci est élevée, plus la viscosité est faible et vice versa.

II.4) Nature de régime de l'écoulement

Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimensions et selon les valeurs qu'il prend (dans le système international) on pourra caractériser la probabilité pour un écoulement d'être laminaire ou turbulent (**Badaouif. 2012**).

$$Re = \rho \cdot V_m \cdot D / \eta \quad \text{II.8}$$

V_m : la vitesse circulaire moyenne.

D : le diamètre du tuyau, en (m)

ρ : la masse volumique du liquide, en (Kg/m^3)

η : la viscosité du liquide.

- Si $Re < 2400$ le régime est probablement laminaire

- Si $Re > 3000$ le régime est probablement turbulent

- Si $2400 > Re > 3000$ le régime instable (intermédiaire), c'est à dire qu'il peut être aussi-bien laminaire que turbulent, en fonction des conditions extérieures (**Abadier. 2005**)

4.1) Régime laminaire

En écoulement laminaire, le champ de vitesse du fluide varie régulièrement dans l'espace et dans le temps. Chaque couche de fluide distincte glisse l'une contre l'autre. Dans ce cas, toutes les particules se déplacent dans une direction parallèle à la direction générale de l'écoulement. Cela signifie que tous les vecteurs de vitesse individuels sont parallèles les uns aux autres et également au vecteur de vitesse moyenne.

4.2) Régime turbulent

Dans l'écoulement turbulent, le champ des vitesses du fluide varie de façon irrégulière et aléatoire, les lignes de courant se mélangent et la turbulence se forme. La convection se produit dans le fluide. Le vecteur vitesse peut prendre n'importe quelle direction qui provoque des courants de Foucault, mais le résultat de ces vitesses pointe toujours dans la direction globale de l'écoulement.

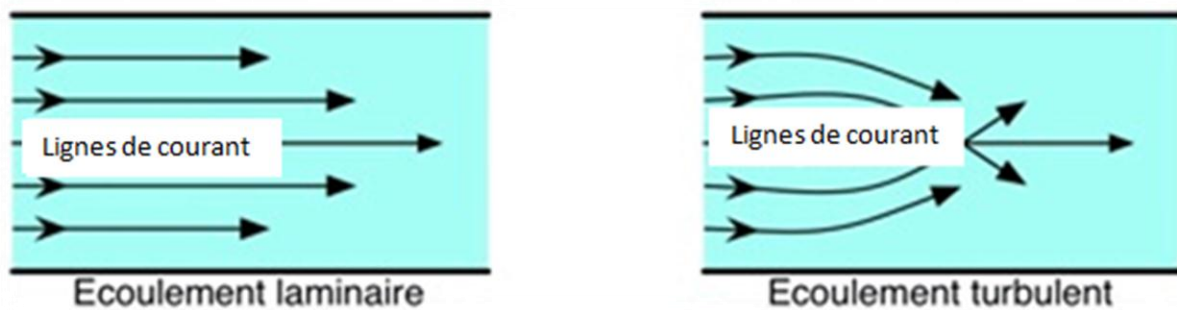


Figure II.5 : Représente l'écoulement laminaire et turbulent (hydrodynamisme-biomimetisme.E-monsite.com).

II.5) Les caractéristiques rhéologiques du miel

Le miel est un produit naturel des abeilles mellifères (*Apis Mellifera*). Tous les liquides, y compris le miel, s'écoulent sous pression. La dynamique des fluides en réponse au stress d'entrée est étudiée en rhéologie.

- La rhéologie du miel affecte ses propriétés organoleptiques et est pertinente pour le traitement et le contrôle qualité. La rhéologie aide à comprendre comment le comportement d'écoulement est lié à des propriétés telles que la composition, le poids moléculaire et la distribution du poids moléculaire (**Bakier, 2007**).

Plusieurs auteurs ont tenté la caractérisation rhéologique du miel dans le passé en utilisant les propriétés rhéologiques. (**Bera et al 2008**) ont étudié certaines propriétés physicochimiques et

rhéologiques du miel irradié. (James et al. 2009) caractérisation physique de certains échantillons de miel du centre-nord du Nigéria.

DaCosta et Pereira. (2012) ont également effectué une analyse rhéologique des mélanges de miel et de propolis.

- Les propriétés rhéologiques du miel dépendent principalement de la teneur en humidité, de la température et d'autres produits chimiques tels que le glucose, le fructose et le rapport F/G. (Manikis, I et al 2001). (Oroian, M et al 2012). (Yoo, B et al. 2004). (Junzheng, P et al. 1998). (Á, J. A.; Ramaswamy et al. 2007). (Mossel, B. et al. 2000). Certains chercheurs ont analysé le miel pour des paramètres rhéologiques tels que la viscosité, le module de perte (G) et le module de stockage (G). (Kahraman, T; et al. 2010). (Primorac, L.; et al. 2011). (Belay, A. et al. 2016, 2017). (Gómez-díaz, D. et al. 2009).

- Comprendre le comportement rhéologique du miel est très important dans l'industrie de la transformation des aliments, en particulier lorsque les scientifiques et les ingénieurs alimentaires sélectionnent les ingrédients, conçoivent les processus et modifient les produits, la conception de nouveaux produits, l'optimisation, la sélection des équipements, la conception des emballages et les stratégies de stockage.

5.1) La viscosité du miel

Est le principal paramètre rhéologique dans le traitement du miel Il est également affecté par la température, la teneur en humidité et la cristallisation, la teneur en sucre, les grains de pollen, les bulles d'air et les petites particules. La cristallisation et la viscosité ont un impact sur les propriétés organoleptiques du miel et donc sur l'acceptation par les consommateurs. [3,8] La stabilité et la qualité du miel peuvent être prédites sur la base des propriétés physicochimiques. Les propriétés physiques et chimiques générales du miel dépendent des principaux paramètres tels que la teneur en eau, le Brix, la conductivité électrique, l'acidité libre, le pH, la teneur en 5-hydroxyméthylfurfural (HMF), la composition en sucre et la teneur en HMF, qui sont tous importants pour déterminer la qualité du miel élément du sucre. [9] Plusieurs études ont montré que les paramètres physico-chimiques du miel sont affectés par l'origine végétale, l'origine florale, l'origine géographique, les conditions climatiques lors de la récolte, le système de production, la maturité du miel, les conditions de transformation et d'entreposage.

5.2) Modèle Power Law (Turian, Bird. 1963)

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad \text{II.9}$$

Où, η est le coefficient de consistance ou viscosité dynamique (cp ou mPa.s)

τ est la contrainte de cisaillement des fluides (D/cm² ou N/m²) n est l'indice de Power Law

Mettez $\tau = \eta \dot{\gamma}$ qui est l'équation (II.10) dans l'équation (II.9) avec η dans l'équation (II.9) changeant en η_0

$$\eta \dot{\gamma} = \eta_0 \dot{\gamma}^n \quad \text{II.10}$$

D'où ;

$$\eta = \eta_0 \dot{\gamma}^{n-1} \quad \text{II.11}$$

En prenant le logarithme naturel de l'équation (II.11)

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + (n-1) \ln \dot{\gamma} \quad \text{II.12}$$

Un tracé de $\ln \eta$ contre $\ln \dot{\gamma}$ donnera un graphique en ligne droite avec pente et interception $(n - 1)$ et $\ln \eta_0$ respectivement.

La viscosité intrinsèque ou viscosité à cisaillement nul η_0 a une relation directe avec le poids moléculaire du fluide dans l'équation de Mark-Houwink (Rao. 1997) :

$$\eta_0 = K' M^a \quad \text{II.13}$$

Où M est le poids moléculaire du fluide

K' et a sont des constantes de Mark-Houwink pour une température donnée pour un système polymère-solvant donné.

a est généralement compris entre 0,5 et 0,8 (Launay et al. 1986).

Mettre l'équation (II.13) dans l'équation (II.11):

$$\eta_0 = K' M^a \dot{\gamma}^{n-1} \quad \text{II.14}$$

$$\ln \eta_0 = \ln(K' M^a) + (n-1) \ln \dot{\gamma} \quad \text{II.15}$$

L'implication de l'équation (II.15) est qu'à partir d'un tracé logarithmique de la viscosité et du taux de cisaillement, l'intersection du graphique sur l'axe vertical contiendra des informations sur le poids moléculaire du miel.

II.6) Instrumentation

6.1) Rhéomètre

Les propriétés rhéologiques d'un matériau (viscosité, indice d'écoulement, etc.) dépendent largement du type de rhéomètre utilisé et de ses capacités. Les mesures rhéologiques faisant référence aux techniques expérimentales utilisées pour déterminer ces propriétés, de nombreux tests rhéologiques peuvent être effectués pour déterminer l'écoulement et les propriétés viscoélastiques des matériaux.

Un rhéomètre est un appareil de laboratoire capable d'effectuer des mesures liées à la rhéologie des fluides sous l'influence de contraintes extérieures. Il applique un cisaillement à l'échantillon. Généralement de faible dimension caractéristique (l'inertie mécanique du rotor est très faible) et peut étudier fondamentalement les propriétés d'écoulement de liquides, suspensions, pâtes, etc. en réponse aux forces appliquées.

✓ Typologie de quelque rhéomètres

Les rhéomètres de type Couette

Dans ce rhéomètre, l'écoulement est de type Couette, le matériau est coupé entre deux surfaces solides, l'une est fixe et l'autre en mouvement. Il existe trois types :

a). Le rhéomètre rotatif à cylindre coaxiaux de type (RST-CC)

Il peut analyser divers types de produits fluides, effectuer une évaluation rhéologique grâce à une mesure contrôlée des contraintes et de la vitesse, et fournir une excellente répartition de la viscosité, une réponse thixotrope, une détermination de la limite d'élasticité et une analyse du fluage.

.Le rhéomètre cylindrique coaxial RST-CC fournit de puissants outils de caractérisation du débit, y compris des tests de rampe, de boucle et de point unique. Une large gamme de taux de cisaillement, de contraintes de cisaillement et de couples permet une analyse flexible de l'écoulement, y compris des mesures de fluage et de rendement. Le rhéomètre cylindrique coaxial RST-CC est conçu pour répondre au débit élevé requis par les laboratoires de contrôle qualité, offrant un fonctionnement économique et sans tracas pour une variété d'applications de laboratoire.



Figure II.6 : Le rhéomètre cylindrique coaxial RST-CC (www.hellopro.fr/2022).

b). Le rhéomètre rotatif cône-plan

Dans cette géométrie, le fluide est dans une Cônes et avions. Un cône est caractérisé par son rayon R et l'angle θ (Fig. II.7) il est fixé sur la partie tournante rhéomètre, le rendant relatif à son axe a une vitesse angulaire constante Ω . L'angle θ est très petit ($\leq 4^\circ$) pour obtenir de mesurer le cisaillement vertical constant dans le volume.

c). Le rhéomètre rotatif plan-plan

Dans cette géométrie, le fluide est plans parallèles caractérisés par le rayon R et l'entrefer entre ces deux plans. Un de l'avion est à l'arrêt, l'autre tourne à grande vitesse coin Ω (Fig. II.7). Cette géométrie est plus adaptée pause.

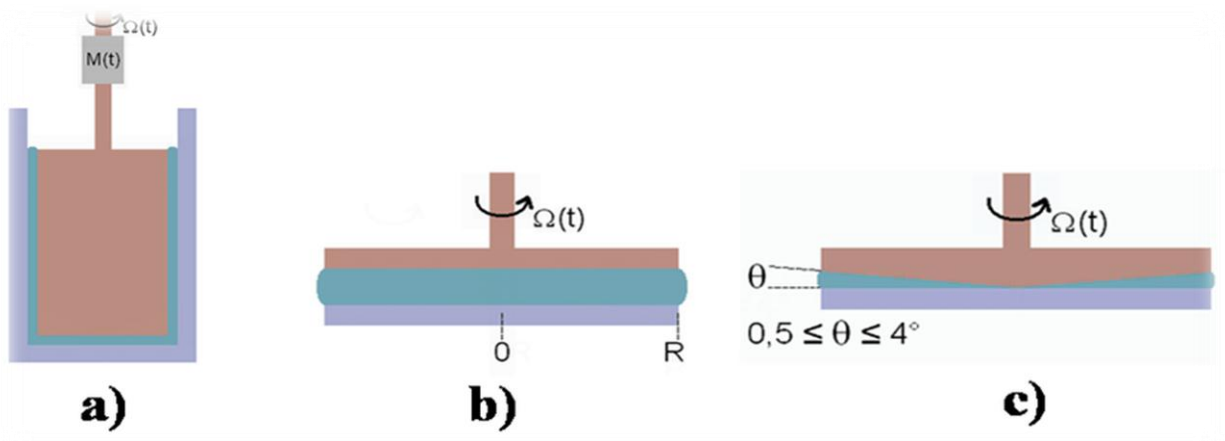


Figure II.7 : Géométries de rhéomètres : a) Couette, b) plan-plan, c) cône-plan (www.researchgate.net/2013).

6.2) viscosimètre

1) Définition

Le viscosimètre est un appareil destiné à mesurer la viscosité des fluides, le plus souvent industriels (huiles de graissage, vernis....etc).

2) typologie des viscosimètres

Dans la norme industrielle japonaise (JIS) Z 8803, les viscosimètres sont classés en viscosimètres capillaires, viscosimètres à bille tombante, viscosimètres rotatifs et viscosimètres à vibration. Il existe d'autres méthodes de mesure de viscosité, telles que la méthode au godet et la méthode LST.

a) Les viscosimètre rotatif

Un viscosimètre rotatif est couramment utilisé. Il est de structure simple et faciles à utiliser, et peuvent mesurer une large gamme de substances avec des mesures très précises. La viscosité est déterminée en mesurant le couple (contrainte de cisaillement) utilisé sur la surface cylindrique d'un rotor cylindrique inséré dans l'échantillon et mis en rotation à vitesse constante. Il existe de nombreux types de rotors, y compris les rotors à cylindre coaxial, à cylindre unique et à cône et plaque. En utilisant un rotor à cône et à plaque, les caractéristiques d'écoulement des fluides non newtoniens peuvent être obtenues en modifiant le nombre de tours.



Figure II.8 : Viscosimètre rotatif FIRST PLUS (www.lamyrheology.com/1955).

b) Les viscosimètres capillaires

Les viscosimètres capillaires sont très couramment utilisés, notamment pour les mesures de viscosité en phase liquide. Leur avantage est la simplicité de construction et de mise en œuvre. Ils sont souvent choisis pour la détermination d'étalons de viscosité et également pour la mesure industrielle de la viscosité des liquides à pression atmosphérique. Le principe du viscosimètre capillaire repose sur l'application de l'équation de Poiseuille. Cette équation calcule la viscosité d'un fluide traversant un tube de section circulaire (généralement un capillaire fin).



Figure II.9 : Viscosimètre capillaire (www.medicaexpo.fr/2022).

c) Viscosimètre à bille

Un viscosimètre à bille tombante est un appareil très simple. il s'agit de un long tube transparent d'un diamètre de D , il a deux lignes de référence A et B pipeline rempli verticalement du fluide à étudier, dans lequel tombe une boule sphérique de masse m , le diamètre d est suffisamment petit par rapport au diamètre de l'échantillon D .

La viscosité est déterminée en plaçant une boule dans l'échantillon et en mesurant le temps qu'il lui faut pour tomber au fond. En raison de la résistance du fluide échantillon que la bille rencontre, la vitesse à laquelle elle tombe varie en fonction de la viscosité de l'échantillon. Ces viscosimètres peuvent mesurer avec précision la viscosité des fluides newtoniens, des fluides à faible viscosité comme l'eau aux fluides à haute viscosité comme l'huile.



Figure II.10 : Viscosimètre à chute de bille (www.directindustry.fr/2022).

d). Viscosimètres vibrants

Les viscosimètres à vibration contiennent une pièce solide vibrante qui est immergée dans le fluide à détecter. La vitesse de vibration dépend de la viscosité du fluide. L'appareil ne nécessite aucun entretien car il ne comporte aucune pièce d'usure. Ce type de viscosimètre est

utilisé dans l'industrie en raison de sa capacité à mesurer des fluides très visqueux et fibreux. Convient aux conditions de travail difficiles dans les zones à haute



Figure II.11 : Viscosimètre vibrant Viscolite (www.directindustry.fr/2022).

e) Coupe de viscosité

La viscosité est déterminée en versant l'échantillon dans une coupelle en métal, en drainant l'échantillon à travers des trous (perforations) au fond de la coupelle et en mesurant le temps nécessaire à l'échantillon pour s'écouler. Le temps qu'il faut à l'échantillon pour s'écouler à travers le trou est généralement mesurée à l'aide d'un chronomètre.

- Les applications : les peintures et les huiles industrielles (rarement utilisée dans l'industrie alimentaire).



Figure II.12 : Viscosimètre coupe de viscosité (www.lemmer.com/1965).



Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1 Introduction

L'objectif de l'étude porte sur l'effet du saccharose sur la qualité du miel naturel. L'étude consiste à caractériser rhéologiquement le miel naturel, le saccharose et des échantillons contenant le miel naturel avec différentes concentrations de saccharose (5, 10, 20 et 40%).

III.2 Matériels

- Viscosimètre.
- PH-mètre.
- Conductimètre.
- Réfractomètre.
- Balance analytique de marque (KERN)
- Réfractomètre model (WYA Abbe Réfractomètre, Germany).
- Spatule.
- Les béchers de 50ml.
- Fioles jaugées.
- Bain marie.

III.3 Appareils utilisés

Dans ce qui suit, en présentant la description de différents appareils utilisés pour la caractérisation.

3.1. Viscosimètre

Viscosimètre (First Plus) établie par entreprise (Lamy Rheology), il est constitué d'un moteur à courant continu équipé d'un codeur optique pour assurer une grande précision de la vitesse de rotation du mobile, quel que soit le couple. L'appareil est également équipé d'un écran tactile facile à lire, car il indique la température de la sonde, la vitesse, la référence du système de mesure, le couple mesuré et la viscosité.

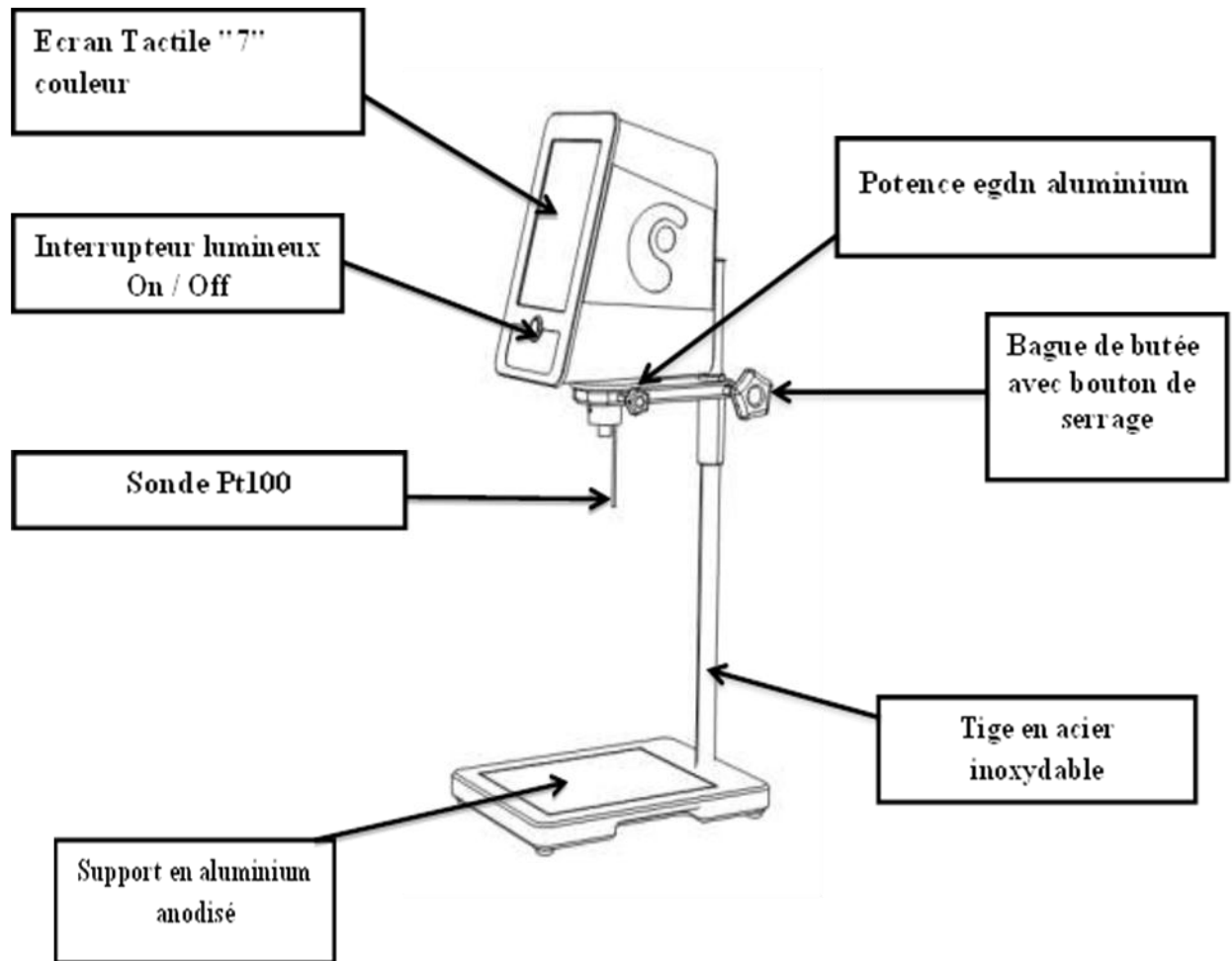


Figure III.1 : appareil de viscosimètre (www.lamy rheology.com.Notice-d'utilisation-FIRST-PLUS.pdf/2021)

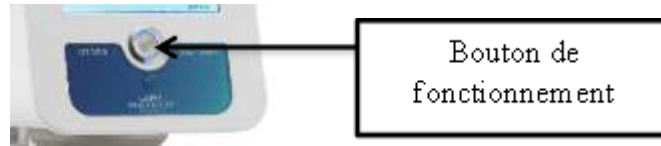
a) Composant

a.1) Ecran Tactile

Il se compose d'un écran tactile couleur "7" qui vous offre un plus grand confort de travail et une visualisation plus claire des résultats de l'analyse. La taille de l'écran rend son affichage plus large pour afficher le contenu de l'analyse.

a.2) Bouton de fonctionnement

dans le but d'améliorer votre expérience, LAMY RHEOLOGY a décidé d'équiper la totalité de sa gamme PLUS d'un interrupteur lumineux placé au milieu pour faire fonctionner l'appareil.



a.3) Bras en aluminium

Le bras en aluminium est équipé d'une poignée fixe qui permet de maintenir la hauteur de la tête de mesure et d'une poignée facilitant la manipulation, et la tête de mesure est également fixée au bras avec une seule vis.

a.4) Tige en acier inoxydable

La tige de support est en acier inoxydable pour maintenir fermement la tête de mesure et est équipée d'un anneau avec un bouton de serrage utilisé comme station de répétition. Il identifie également les emplacements sont déterminés lors de la mesure. Ce poteau est équipé d'un anneau blanc qui agit comme une station pour éviter un bouclier en position très basse.

a.5) support en aluminium anodisé

Du support entièrement en aluminium anodisé forme plate sur lequel la solution à mesurer est placé. Il donne à nos outils une bonne stabilité (La température maximale autorisée sur la partie blanche est de 50°C).

a.6) Connections

Selon votre commande, le panneau arrière de votre viscosimètre présente ces connections.

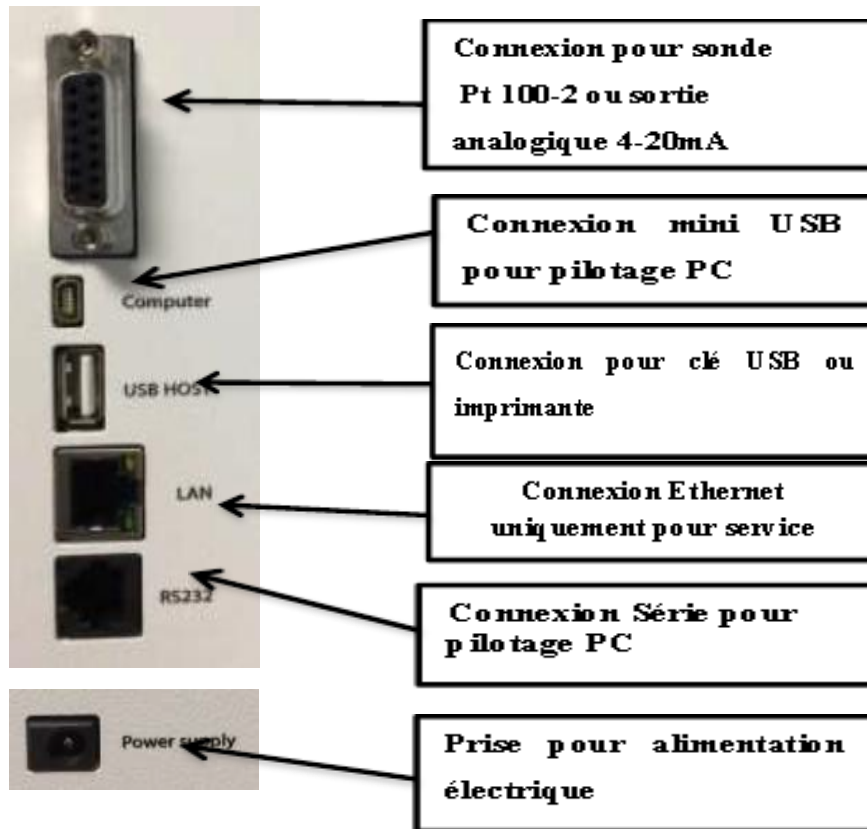


Figure III.2: les éléments des connections

a.7) Installation

Le viscosimètre doit être installé dans un environnement propre et exempt de vibrations.

Même si le niveau de l'appareil n'est pas mis à jour, choisissez une table stable et plate ; bien qu'il y ait un régulateur de température avec l'appareil, la tête de mesure doit être installée sur cette unité de température.

a.8) Pour un support standard

Assurez-vous que le cylindre Delrin blanc est inséré et réglé sur la position la plus basse.

Cela place la bague d'arrêt sur la tige en acier inoxydable avec la tige posée sur la tige, en tenant compte du sens comme indiqué pour 2. Le bras est équipé de deux boutons et d'une poignée et peut être changé d'un côté à l'autre à volonté.

a.9) Pour support standard et crémaillère

Vous pouvez ensuite placer le viscosimètre sur la tige en veillant à ne pas toucher l'arbre du moteur ni la sonde de température. Aligner correctement la tête de mesure puis la bloquer avec la vis prévue à cet effet.

après cela, nous connectons le viscosimètre en connectant le câble d'alimentation au panneau arrière de l'appareil et un câble , connecter le programme lorsqu'il est disponible.



Figure III.3 : Support crémaillère

A. Comment commencer

Une fois le câble d'alimentation branché à l'arrière de l'appareil . Appuyez sur le bouton de démarrage

a. Codes d'état

Comme le montre la **figure III.3**

	Aucun périphérique branché sur l'appareil.
	Un seul périphérique branché sur l'appareil
	Deux périphériques branchés sur l'appareil
	Vous informe de la température de la sonde.
	Permet d'accéder aux paramètres de l'instrument.
	Permet de revenir au menu principal.
	Permet de revenir au menu précédent

Figure III.4 : les types codes d'état

b. Notions élémentaires**b.1) menu principal**

Il est accessible en appuyant sur le bouton de démarrage. Il est composé de "Mesure" ; "Données de gestion" ; "Pilotage par logiciel" et "Paramètres"

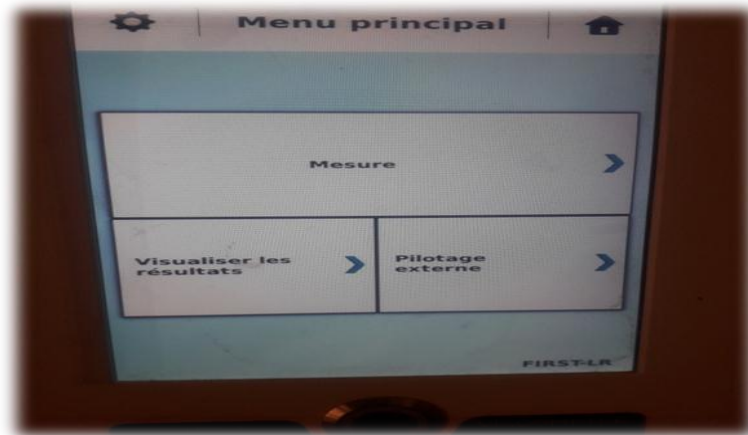


Figure III.5 : Représente le menu principal

b.2) Mesure

Lorsque vous cliquez sur l'onglet "Mesure", vous arrivez sur cette fenêtre.

Le mode "Manuel" permet de personnaliser la mesure en choisissant le "Système de mesure" ; une "Vitesse" plus "temps de mesure" ; "lancer mesure" et "zéro"



Figure III.6: Représente la liste des mesures

Pendant votre mesure, vous verrez une jauge de couple. Les limites de viscosité affichées sont calculées selon la vitesse/gradient sélectionnée et le mobile de mesure.

Lorsque toutes ces vérifications sont effectuées, vous pouvez cliquer sur "Lancer" pour lancer la mesure ;il faut vérifier que le couple mesuré n'est pas trop proche de la limite supérieure ou inférieure

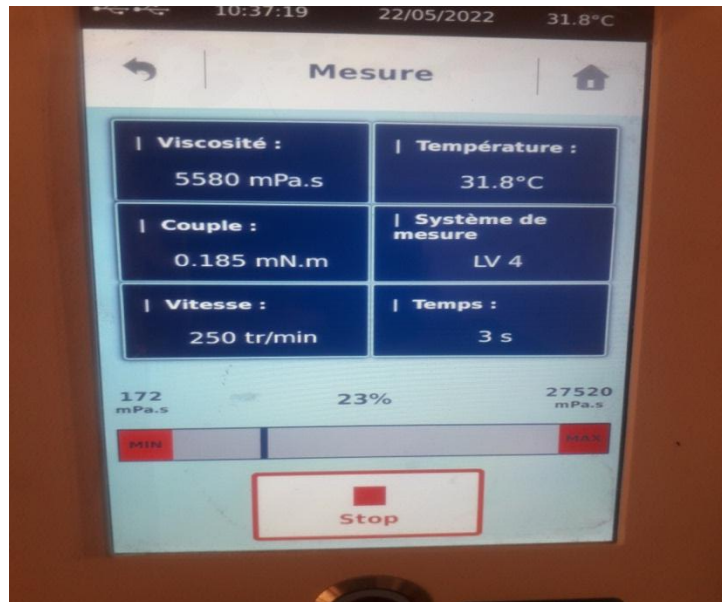


Figure III.7 : Représenté lors de la mesure

nous trouverions plusieurs informations disponibles sur l'écran comme le couple (mN.m), la contrainte (Pa), la température ($^{\circ}$ C), le temps (s) ou la viscosité (mPa.s).



Figure III.8: L'image représente les information disponibles à l'écran

3.2. Réfractomètre

Le réfractomètre se compose de bouton pour maintenir refermer le prisme mobile ; Support de lampe ; Bouton supérieur d'ajustement les zones claires et sombres ; Bouton inférieur d'ajustement de la ligne de partage au centre du réticule.

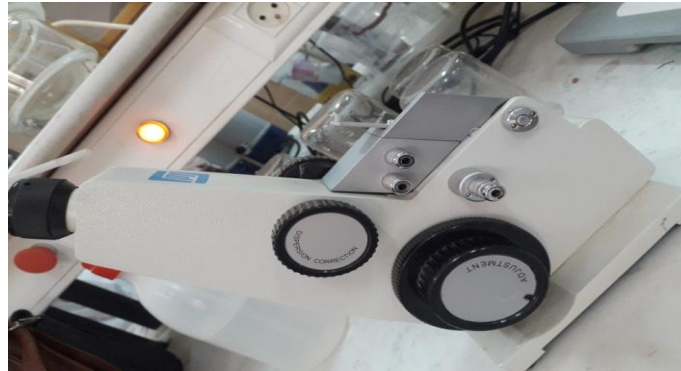


Figure III.9.:Le réfractomètre du laboratoire (PI)

3.3. pH-mètre

Nous utilisons un appareil spécial appelé d'un **pH-mètre**. Cet appareil est constitué premier une électrode de référence contenant une solution saturée de chlorure de potassium est appelée un contact électrique avec la solution ; la seconde est une électrode de verre avec un film mince en forme de renflement sensible et perméable aux ions hydrogène.



Figure III.10: Mesure du PH à l'aide de pH mètre.

3.4. Conductimètre

utilisons un appareil spécial appelé d'un **conductimètre**. Il se compose d'un appareil de mesure de conductivité relié au fil de connexion (sonde) ; comme le montre la figure



Figure III.11: Appareille de conductimètre

III.4. Méthode

4.1 Préparation des échantillons

Nous prélevons 6 échantillons de miel naturel et les mettons dans des bouteilles (50 ml), puis pesons chaque échantillon avec une quantité (95 g, 90 g, 80 g, 60 g) de miel naturel. Ensuite, dans chacun de ces échantillons, on ajoute successivement une quantité appropriée de saccharose (miel nature) (5 g, 10 g, 20 g, 40 g) et en plus, chacun est mélangé pour homogénéiser les deux composants ensemble. Et aussi en prélevant un échantillon de miel naturel et de miel ordinaire (saccharose). L'échantillon de miel collecté est également stocké dans une bouteille en verre stérile et hermétique et conservé à température ambiante. Cette technique est utilisée pour protéger les composés sensibles à la chaleur et à la lumière, comme indiqué sur la (**Figure III.8**)

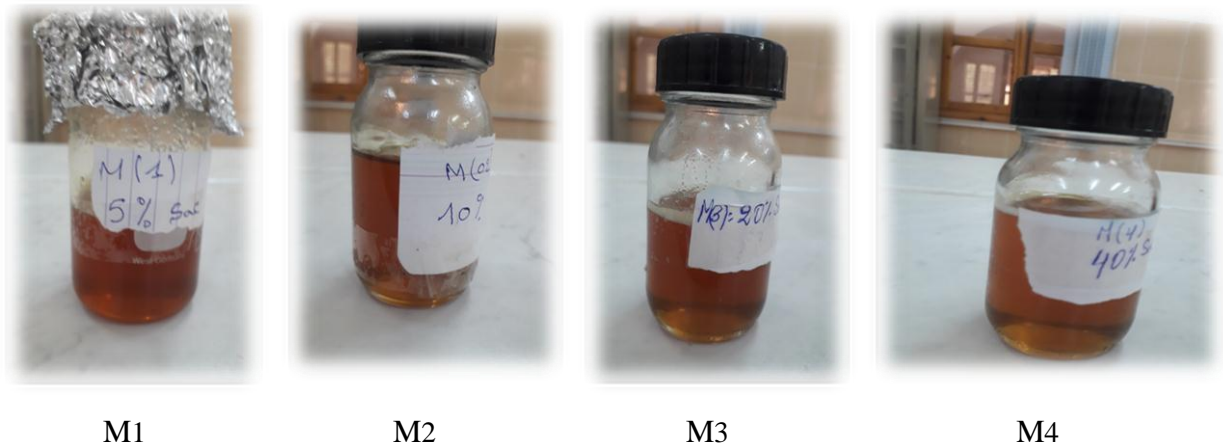


Figure III.12 : Échantillons 04des miels étudiés.

- ❖ échantillon de miel naturel (**m1**)
- ❖ échantillon de saccharose (**m2**)
- ❖ Le mélange (**M1**) contient 95 % de miel naturel avec 5 % de saccharose
- ❖ Le mélange (**M2**) représente 90% de miel naturel avec 10% de saccharose
- ❖ Le mélange(**M3**) représente 80% de miel naturel avec 20% de saccharose
- ❖ Le mélange(**M4**) représente 60% de miel naturel avec 40% de saccharose

4.2 Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physicochimiques sont effectuées seulement pour le miel naturel (m1) et le saccharose (m1). Les paramètres physico-chimiques déterminés sont ; l'indice de réfraction ; le pH et la conductivité électrique.

1) l'indice de réfraction

- ✓ Soulevez le prisme de lumière, retirez la protection sur le prisme du réfractomètre et essuyez avec un coton-tige propre
- ✓ Mettre une goutte d'eau distillée sur le prisme du réfractomètre (elle s'étale bien sans bulles d'air)
- ✓ Retournez le prisme de lumière et fermez-le
- ✓ Ensuite, l'écran de l'obturateur s'ouvre. Ensuite, allumez le réfractomètre
- ✓ Ajustez clairement l'objectif en utilisant le bouton supérieur
- ✓ Tracez une limite entre la zone claire et la zone sombre dans un centre circulaire avec la bouton inférieure

- ✓ La valeur est lue dans la mesure inférieure
- ✓ De la même façon, avec une goutte de miel, puis de saccharose
- ✓ Lorsque l'échelle semi-circulaire est relevée, la mesure est prise.

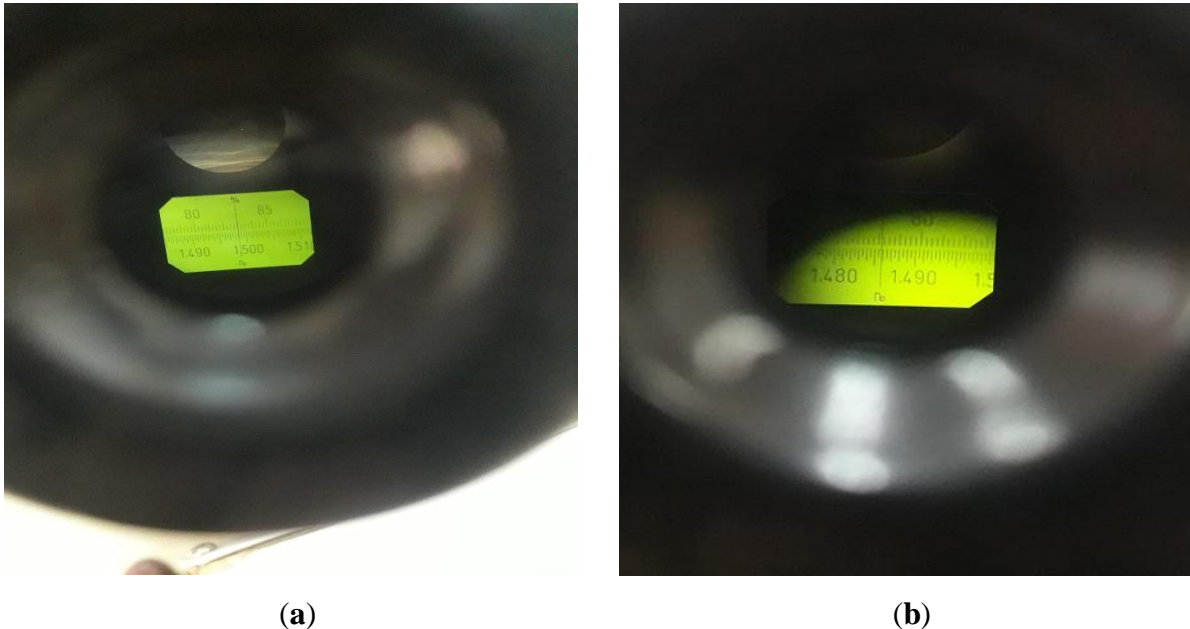


Figure III.13: Mesure d'un réfractomètre du miel (a) et du saccharose (b)

2) Mesure du pH

Une quantité d'échantillon (m_1 et m_2) a été prélevée et placée dans un bécher (pesant 50 ml).

Mettez-le dans un bain-marie chauffé à 50°C pendant 10 minutes jusqu'à ce que les cristaux de sucre se dissolvent

- ✓ Appuyez sur le bouton Mesure ou étalonnage pour démarrer la lecture du pH
- ✓ Laisser le pH se stabiliser avant de l'ajuster en le laissant reposer pendant 1 à 2 minutes
- ✓ Placer l'électrode dans la solution et commencer la lecture
- ✓ Le pH est observé par des électrodes placées au niveau de l'échantillon comme indiqué sur la (Figure III.10)
- ✓ Coupez l'alimentation de l'appareil, puis retirez la solution et lavez bien l'électrode de verre avec de l'eau distillée



Figure III.14: Mesurer le pH du miel (a) et du saccharose (b)

3) Conductivité électrique

La conductivité électrique est un bon indicateur de l'origine botanique du miel, très souvent utilisé dans le contrôle de routine du miel. Cette mesure nécessitant seulement instrumentation peu coûteuse, c'est une méthode très facile et rapide (I.H.C, 2002). Cette mesure ne nécessite que des appareils peu coûteux et constitue une méthode très simple et rapide (I.H.C, 2002). Elle est déterminée par le conductimètre à 20 °C pour la solution de miel et de saccharose. La lecture se fait après immersion de la cellule dans la solution et les résultats sont exprimés en mS/cm.



Figure III.15 : Mesure de la conductivité électrique du miel (a) et de la saccharose (b)

4.3 Les caractéristiques rhéologiques

1) Viscosité

Ensuite, nous appuyons sur le bouton (Lancer)

Nous apportons les échantillons étudiés sur (**m1, m2, M1,M2,M3,M4**) avant, par exemple.

Nous prélevons un échantillon de miel avec un pourcentage de 100 g et le mettons dans un bain-marie pour le chauffer à 30°C puis le laisser refroidir selon température ambiante

Ensuite, nous commençons à mesurer le rapport de viscosité

- ✓ Tout d'abord, commençons par appuyer sur le bouton de lecture
- ✓ Nous sommes arrivés à la fenêtre montrée sur la (**Figure III.12**)

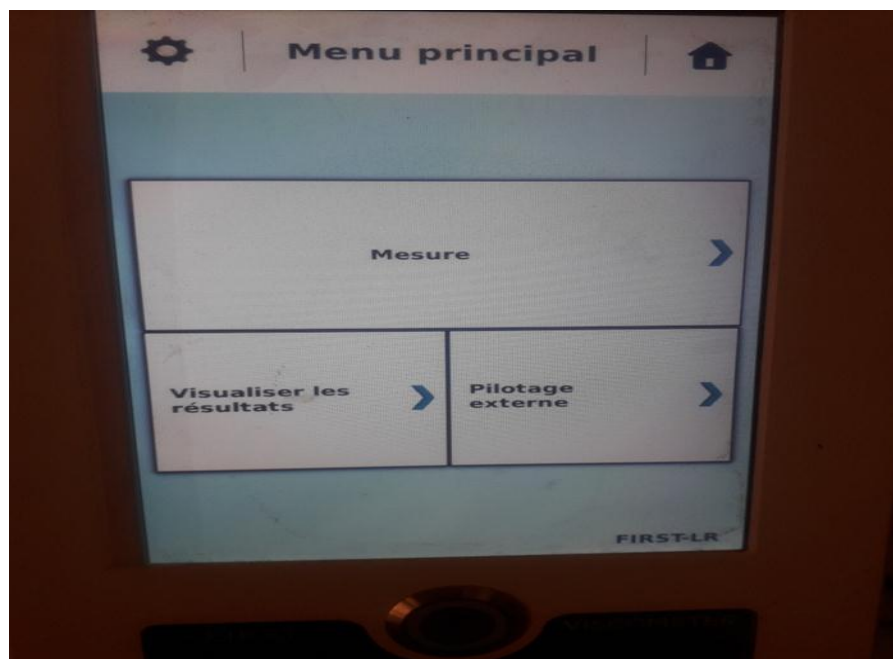


Figure III.16: représenter le menu principal

- ✓ Ensuite, cliquez sur l'onglet "Mesure". La fenêtre illustrée dans la (**figure III.13**) suivante s'affiche
- ✓ Ensuite, nous choisissons le type de système.

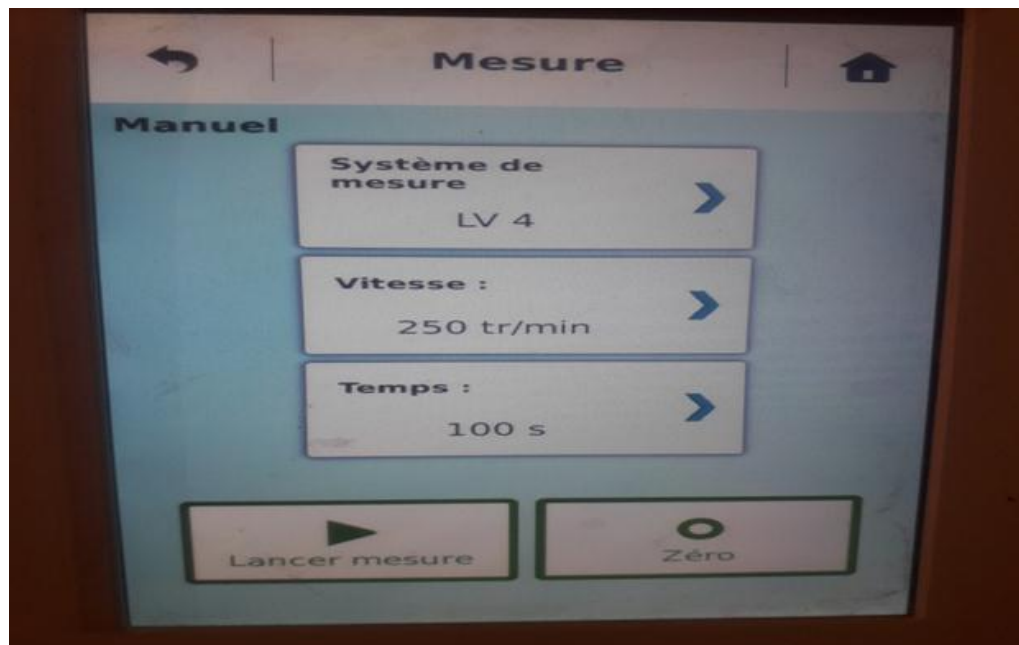


Figure III.17: L'onglet Mesure

- ✓ Au début de la mesure, le zéro est effectué à l'aide du téléphone et à la vitesse choisie pour la mesure (250) avec le temps (100).
- ✓ Et ainsi, comme indiqué sur la, (**Figure III.14**) cliquez sur le signe " Zéro" .

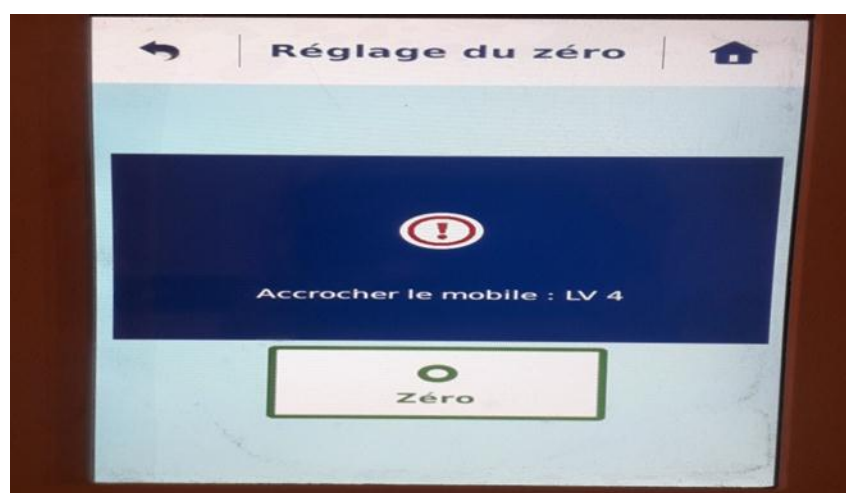


Figure III.18: Réglage du zéro

- ✓ Ensuite, nous avons mis un échantillon de (mn) dans le support en aluminium anodisé et tourné le bouton pour abaisser la tête de mesure ;
- ✓ Nous ajustons la position du viscosimètre dans l'échantillon par "bouton de haut et bas de la tête de jauge" pour immerger la tige de téléphone jusqu'à la marque prédéfinie ;
- ✓ Pt100 afin d'immerger Avec plus de 3 mm minimum (uniquement pour les modèles équipés d'une sonde de température intégrée à la tête de mesure la sonde);
- ✓ Le mode "Manuel" nous permet de personnaliser la mesure en sélectionnant le "Système de mesure" et la "Vitesse", ainsi que le "temps de mesure ;
- ✓ Nous choisissons la vitesse de 1 à 180 tr/min avec un temps de 100 secondes ;
- ✓ Ensuite, nous commençons à mesurer en appuyant sur le "Lancer mesure" qui nous montre les mesures comme le montre la (**Figure III.15**), attendons quelques secondes pour le temps de mesure et commençons la mesure



Figure III.19: S'affiche pendant la mesure

Nous trouverions des informations disponibles sur l'écran telles que le couple (mN.m), la contrainte (Pa), la température (°C), le temps(s) ou encore la viscosité (mPa.s). (**Figure III.16**)

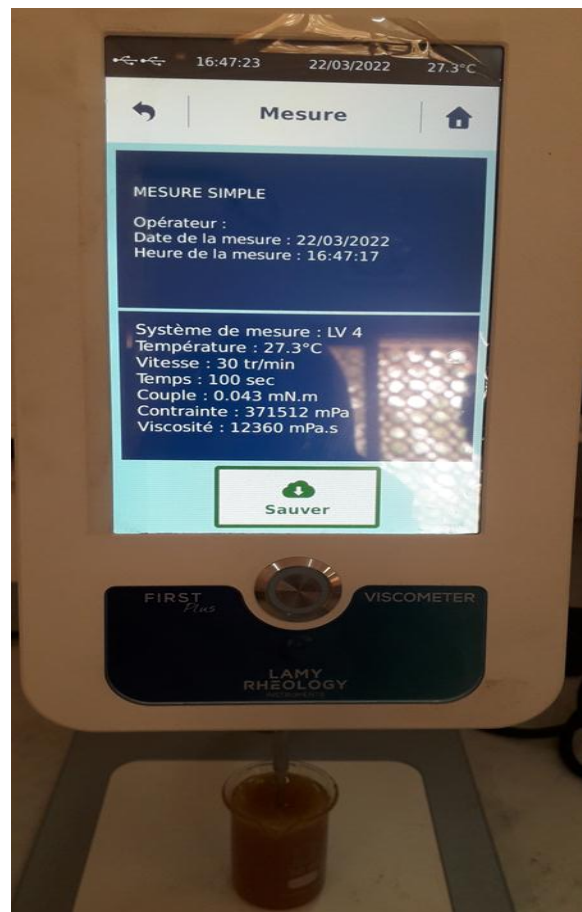
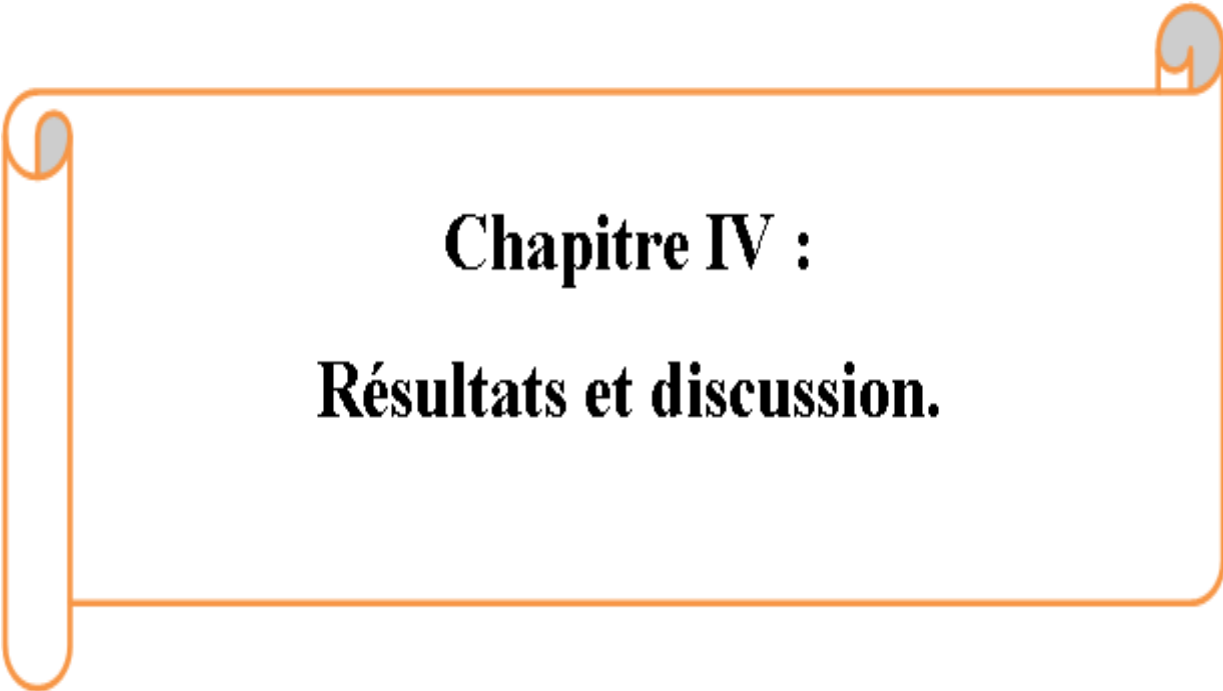


Figure III.20: Les résultats des valeurs obtenues

De la même manière, la viscosité des échantillons restants est mesurée (m1 ; m2 ; M1 ; M2 ; M3 et M4). Et de la même manière à **49 °C**.



Chapitre IV :
Résultats et discussion.

IV.1) Résultats des analyses physico-chimiques du miel

1.1 L'indice de réfraction

L'indice de réfraction du miel est en partie le résultat de l'effet de chacun de ses composants sur le trajet de la lumière. Cela dépend de la longueur d'onde, de la lumière et de la température du milieu. Elle est typiquement donnée à 20°C, la longueur d'onde de la raie D du sodium (589 nm). Il est noté n_D^{20} .

Le réfractomètre Abbe décrit dans la section expérimentale était l'instrument utilisé pour déterminer l'indice de réfraction des échantillons de miel d'eucalyptus étudiés.

L'indice de réfraction est converti en teneur en eau en se référant au tableau standard (tableau IV.1) (le tableau de Chataway cité par **Bogdanov et al. 1997**). Pour une meilleure conservation, la teneur en eau du miel ne doit pas être trop élevée le jour de l'extraction. Il faut donc pouvoir mesurer cette teneur en eau.

Le taux d'humidité du miel est l'un des critères de base pour commercialiser un produit de qualité. Un miel trop sec montre une viscosité élevée et peut poser des problèmes lors de la cristallisation, un miel trop humide risque de fermenter.

Tableau IV.1: Relation entre la teneur en eau et l'indice de réfraction du miel.

Indice de réfraction (20°C)	Teneur en eau (%)
1.4997	14.8
1.4992	15.0
1.4987	15,2
1.4982	15.4
1.4976	15.6
1.4971	15.8

L'indice de réfraction de ce miel est $n_D^{20} = 1,4987$ correspondant à une teneur en eau de 15,2%. La limite supérieure légale fixée par la directive européenne CEE 2001/110 est de 20 %. Cependant, de nombreux apiculteurs conviendraient que la teneur en humidité de 18% ne doit pas être dépassée.

Une étude menée sur le miel algérien (**Amrouche, Kessi. 2003**) a montré que la valeur était comprise entre 15 et 22,6 %, avec une moyenne de 17,68 %.

- Nos résultat est conforme aux normes fixées par le **Codex Alimentarius (2001)**, soit de 1.479 à 1.500, ce qui confirme à la bonne qualité de ce miel.

1.2 Le pH

Le pH ou le potentielle d'hydrogène représente la concentration des ions H^+ d'une solution, il est la mesure du coefficient caractérisant l'acidité d'un milieu (Nair. 2014).

Le résultat de pH de miel analysé est 3.91, selon (Gonnet. 1985), le module 7 (eau distillée à 22 °C) correspond à neutre, supérieur : basique, inférieur : c'est acide. Il varie entre 3,5 et 4,5 pour le miel de nectarine et entre 4,5 et 5,5 pour le miel de miellat.

La diminution du pH est l'un des meilleurs facteurs qui inhibent la croissance et la stabilité des micro-organismes dans les échantillons de miel (Baroni MV et al. 2009). Cela est dû à la quantité d'acide gluconique produite par l'enzyme glucose oxydase lors de l'oxydation du glucose.

Le pH de ce miel est inférieur à 4,5, ce qui confirme qu'il est issu du nectar, indiquant que le pH acide du miel dépend de la quantité d'acide gluconique produite par l'enzyme glucose oxydase lors de l'oxydation du glucose. D'autres composés comprennent les acides non aromatiques et aromatiques, respectivement. Il a également été suggéré que les acides phénoliques sont présents en grande quantité dans le miel noir, ce qui contribue à son acidité accrue. Le miel au pH bas (lavande = 3,3 minimum) se dégrade plus facilement : il faudra alors faire attention lors de la conservation. De plus, la valeur du pH de notre échantillon est typique du miel de nectar de fleurs analysé par (Gonnet, Vache. 1985).

1.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique est mesurée par un conductimètre portable Série 3110 WTW.

La mesure de la conductivité électrique d'une solution de miel se traduit par la quantité de particules chargées présentes dans le miel et leurs mobilités. L'unité de mesure est le milli Siemens par cm ($mS.cm^{-1}$)

La conductivité est un bon critère pour déterminer l'origine botanique du miel et elle est aujourd'hui indiquée lors des examens de routine du miel qui remplace la teneur en cendres.

L'échantillon étudié de ce miel analysé à une conductivité électrique de $0,0306 mS.cm^{-1}$ et ce résultat est conforme aux normes.

Selon les normes internationales de conductivité électrique, à savoir que le miel de nectar a une conductivité inférieure à $0,8 ms.cm^{-1}$ et que le miel de manne est supérieur à $0,8 ms.cm^{-1}$. (Codex Alimentaires. 2001).

(Zerrouk et al. 2011) Signalent que la conductivité électrique du miel est étroitement liée à la concentration des sels minéraux, d'acides organiques et de protéines, elle est considérée comme étant un paramètre de grande variabilité selon l'origine florale et l'un des meilleurs paramètres de différenciation entre miels à fleurs et miellats.

IV.2) Détermination de la viscosité des échantillons

Les résultats obtenus de la détermination de la viscosité des échantillons testés avec une seule système (LV4) par viscosimètre (FIRST PLUS) à la température ambiante ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) et à la température élevée ($49 \pm 2^\circ\text{C}$) notre choix de ces températures est du à l'environnement de willaya d'Adrar sont représentés comme suit :

A) A la température ambiante**a) Détermination de la viscosité des échantillons (m1 et m2)**

Tableau IV.2: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PLUS) pour deux échantillons (m1 et m2) à la température ambiante.

Viscosité (Pa.min) Vitesse (tr/min)	M.N (m1)	Sac (m2)
1	9.013166667	0.441333333
2	3.480833333	0.35
3	4.885	0.317
4	2.8815	0.280166667
5	2.546833333	0.195833333
10	2.241166667	0.086166667
20	1.979666667	0.044666667
30	1.854333333	0.0315
40	1.720166667	0.028
50	1.610833333	0.026166667
70	1.541	0.023333333
100	0.697166667	0.1365
150	0.618666667	0.084166667
180	0.598	0.083333333

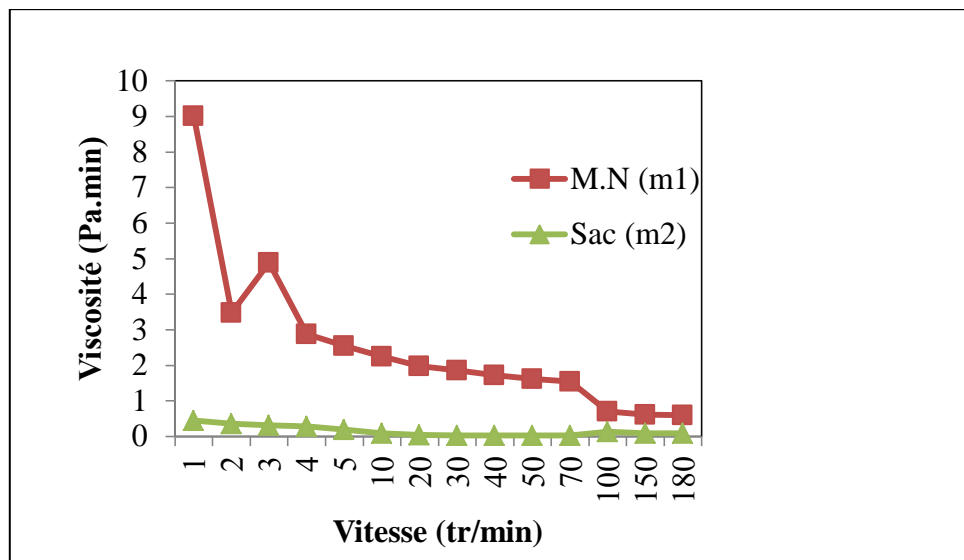


Figure IV.2 : Evolution de viscosité de deux échantillons (m1 et m2) à la température ambiante.

Le graphe: évolution de viscosité de deux échantillons (m1 et m2) en fonction de la vitesse de rotation à température ambiante.

A partir de la courbe de (M.N), on observe que la viscosité du miel étudié diminue fortement dans la valeur (9.013166667 Pa.min) jusqu'à la valeur (3.480833333 Pa.min) avec l'augmentation de vitesse selon le tableau ci-dessus, puis ça diminue progressivement à la valeur (0.598 Pa .min) en vitesse 180 tr/min, car ce miel est un fluide non-newtonien. (Venugopal, Abhilash. 2010) ont déduit que la diminution de la viscosité avec l'augmentation du taux de cisaillement est causée par un changement induit dans l'enchevêtrement du réseau du fluide. Ce type de comportement d'écoulement a également été rapporté par (Fan et al. 2009) qui ont travaillé sur la simulation numérique du flux pulsatile non newtonien dans la bifurcation de l'artère carotide.

De même, certains autres auteurs ont rapporté des cas de diminution de la viscosité avec une augmentation du taux de cisaillement. (Ntia. 2000). (Adekunle. 2002). (Sopade et al. (2004). (Olanrewaju. 2004). (Anidiobu. 2008) ont tous signalé des cas de comportement rhéologique de l'amincissement par cisaillement du miel. Mais, pour l'échantillon de saccharose, (m2) on note que sa viscosité est presque constante de la première valeur à la dernière valeur quel que soit le changement de vitesse de rotation (rpm) c'est-à-dire la viscosité du saccharose indépendante de la vitesse (en se référant toujours au tableau), et cela indique qu'il s'agit d'un fluide newtonien.

b) Détermination de la viscosité des échantillons (M1, M2, M3 et M4)

Tableau IV.3: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PLUS) pour les échantillons (M1, M2, M3 et M4) à la température ambiante.

Viscosité (Pa.min) Vitesse (tr/min)	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (20%)	M4 (40%)
1	4.0121667	1.893166667	1.749833333	1.642166667
2	2.9276667	1.7285	1.437166667	1.247166667
3	2.8831667	1.868166667	1.686833333	1.708
4	2.3488333	1.523666667	1.1715	1.254666667
5	2.1216667	1.237166667	0.862666667	0.960666667
10	1.2693333	0.761166667	0.403	0.542833333
20	0.6385	0.550166667	0.271	0.359333333
30	0.5083333	0.485166667	0.272333333	0.321666667
40	0.4591667	0.460333333	0.252166667	0.303833333
50	0.4571667	0.493333333	0.247333333	0.2945
70	0.3978333	0.460333333	0.241333333	0.288166667
100	0.381	0.442333333	0.243	0.278666667
150	0.3701667	0.4375	0.244166667	0.274833333
180	0.364	0.4465	0.251333333	0.2675

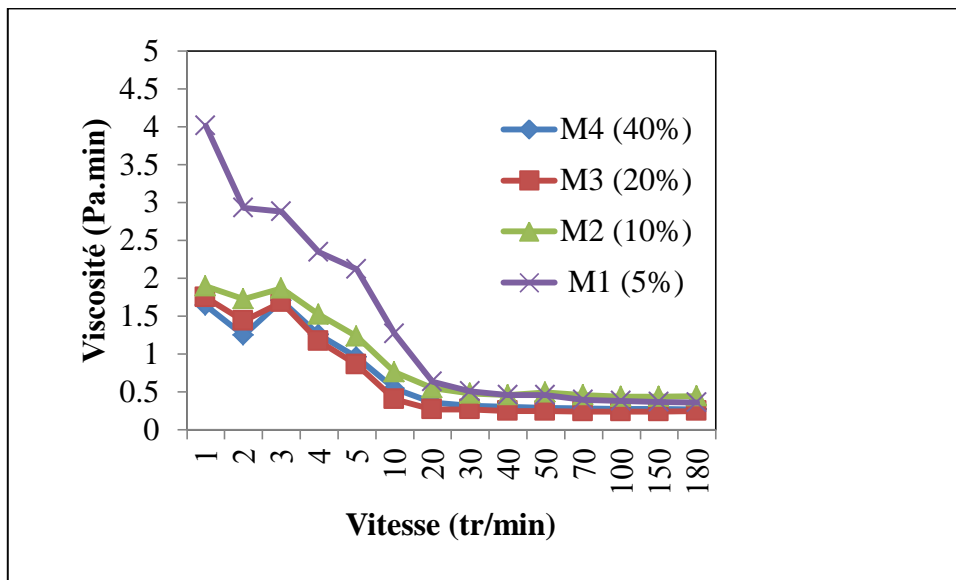


Figure IV.3 : L'effet de l'adultération sur la rhéologie de miel à la température ambiante.

Le graphe: évolution de viscosité des échantillons (M1, M2, M3 et M4) en fonction de la vitesse de rotation à température ambiante.

On ajoute juste 5% du saccharose, on remarque une chute diminution du niveau de viscosité, où sa valeur devient (4.012166667 Pa.min) à la vitesse 1 tr/min, puis sa valeur diminue progressivement avec l'augmentation de la vitesse de rotation (rpm) (toujours selon le tableau ci-dessus) et cela témoigne de l'impact de petit quantité de saccharose sur la qualité de cette miel étudié, puis après l'ajouter (10%.20% et 40%) du saccharose dans les échantillons (M2, M3 et M4) respectivement, on note que ce miel est devenu un comportement quasi-newtonien (la viscosité est très faible), ceci est dû plus on ajoute de saccharose plus les propriétés du miel changent et sa qualité diminue.

B) A la température (49 °C)

a) Détermination de la viscosité de deux échantillons (m1 et m2)

Tableau IV.4 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour deux échantillons (m1 et m2) à la température (49±2°C)

Viscosité (Pa.min) Vitesse (tr/min)	m1 (M.N)	m2 (Sac)
1	0.753166667	1.103166667
2	0.808166667	0.424
3	1.330666667	1.408166667
4	0.941666667	1.062833333
5	0.727833333	0.8575
10	0.3265	0.369666667
20	0.1655	0.149166667
30	0.0855	0.087
40	0.059166667	0.057666667
50	0.043666667	0.041
70	0.032833333	0.024333333
100	0.0225	0.011883333
150	0.014733333	0.003383333
180	0.012	0.002983333

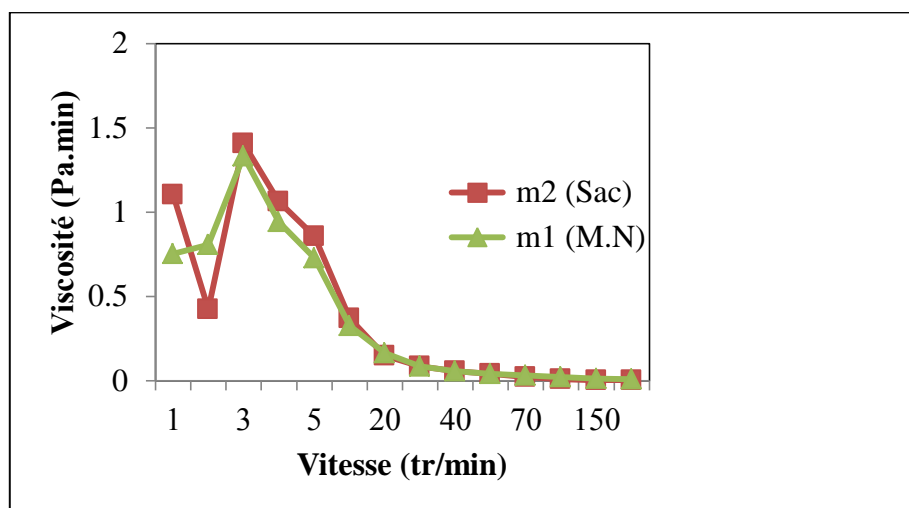


Figure IV.4 : L'effet de la température sur la rhéologie du miel à température $49\pm 2^{\circ}\text{C}$

Le graphe: évolution de viscosité de deux échantillons (m1 et m2) en fonction de la vitesse de rotation à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$). On voit ici la viscosité du miel naturel (M.N), elle a beaucoup diminué par rapport au premier relevé étudié à température normale, car sa valeur est devenue à la vitesse 1tr/min: (0.753166667 Pa.min) et a continué à décroître régulièrement avec l'augmentation de la vitesse de rotation (rpm) et cela est dû à la augmentation de la température qui a grandement affecté ses propriétés rhéologiques (viscosité) et il est devenu l'un des fluides newtoniens environ. Plusieurs études attestent que le sucre liquide est considéré comme un fluide newtonien ((Paul et al. 2003) et d'après (Millet. 2010), un corps newtonien est un liquide qui présente une viscosité constante (quel que soit la vitesse de cisaillement ou la contrainte appliquer. Par contre la viscosité de saccharose n'a pas beaucoup changé [selon les deux figures 29, 30 et les deux tableaux 29, 30, parce que comme nous l'avons mentionné plus tot, c'est fluide newtonien.

b) Détermination de la viscosité des échantillons (M1, M2, M3 et M4)

Tableau IV.5 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour quatre échantillons à la température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$)

Viscosité (Pa.min) Vitesse (tr/min)	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (20%)	M4 (40%)
1	0.59166667	0.6225	1.436666667	1.39116667
2	1.01266667	0.758166667	0.810666667	0.6485
3	1.44616667	1.4625	1.356166667	1.6025
4	0.9955	1.034833333	0.998833333	1.13366667
5	0.98766667	0.773333333	0.776166667	0.84166667

10	0.3375	0.323833333	0.315666667	0.39883333
20	0.14583333	0.166	0.223	0.1635
30	0.08466667	0.094	0.093833333	0.09633333
40	0.05616667	0.063166667	0.061333333	0.06116667
50	0.04183333	0.045	0.0435	0.04116667
70	0.02783333	0.0285	0.026	0.02216667
100	0.01766667	0.017166667	0.01485	0.01866667
150	0.01113333	0.0096	0.007816667	0.01121667
180	0.01043333	0.00695	0.0062	0.00921667

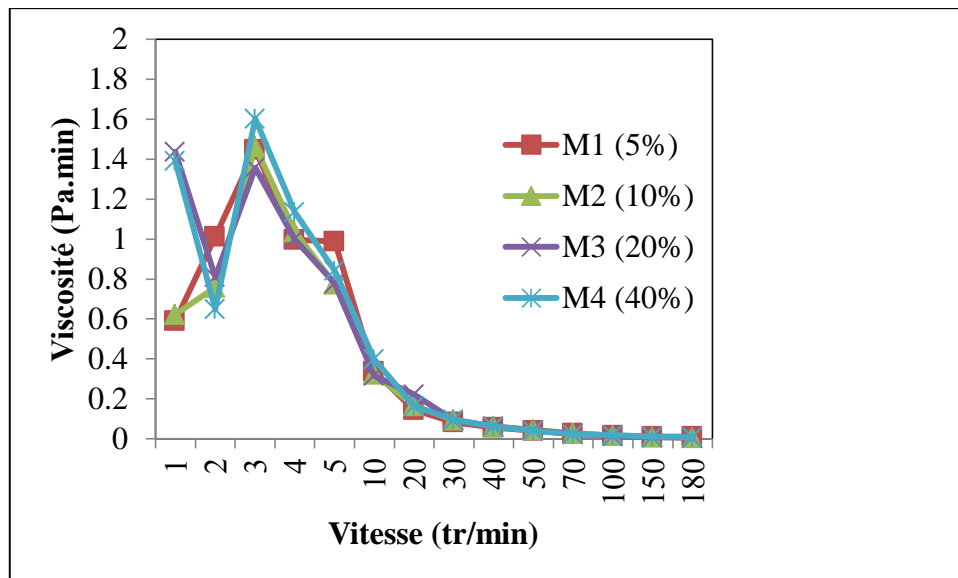


Figure IV.5: L'effet de la température sur la rhéologie du miel à température ($49 \pm 2^\circ\text{C}$)

Le graphe: Evolution de la viscosité pour quatre échantillons en fonction de la vitesse de rotation à la température.

On voit ici que les quatre courbes sont très similaires en ce sens qu'elles suivent le même chemin et nous observons que la plus grande valeur de la viscosité est 1.39116667 (Pa.min) (selon le tableau au-dessus), elles diminuent progressivement de la vitesse 1 à la vitesse 30 (tr/min) (selon le graphe), puis elle devient presque constante où les échantillons atteignent le point de rupture auquel la viscosité tend vers le newtonien parce qu'elle diminue considérablement à mesure que la température et la vitesse de rotation augmentent.

Nous documentons ce travail avec une étude menée par ‘Anidiobu’ sur des échantillons de miel nigérian pur et d’autres échantillons auxquels il a ajouté différents pourcentages de saccharose à deux températures (27°C, 35°C), pour connaître son effet sur la rhéologie de ce miel, ainsi que l’effet de la température.

Où il a mentionné dans son étude que à 35°C l’étude de la viscosité devient plus difficile à interpréter, c’est pourquoi nous utilisons des modèles rhéologiques pour ajuster les courbes pour une meilleure interprétation, à l’aide d’un modèle Power Law, les valeurs de l’indice de Power Law n et de la viscosité à cisaillement nul η_0 sont des paramètres rhéologiques très importants.

Ils ont une corrélation directe avec l’orientation structurelle et moléculaire de l’échantillon, qui sont principalement utilisés comme facteurs de distinction pour les échantillons dans les analyses (DeLaney, Reilly, 2000).

Le résumé des résultats de la modélisation rhéologique à l’aide du modèle Power Law se trouve dans le (tableau IV.5).

Tableau IV.6 : Résumé des résultats de la modélisation rhéologique à l’aide de Power Law

Samples	Error at 27°C	n at 27°C	η_0 at 27°C	Error at 35°C	n at 35°C	η_0 at 35°C
A1	0.274629	0.29055	1656.961	0.136154	0.595531	785.6655
A2	0.368273	0.270589	1692.172	0.125133	0.581445	767.8507
A3	0.348510	0.233849	970.8626	0.955351	0.803521	718.6810
E1	2.577849	1.30000	1051.458	0.106303	1.305590	1054.172
E2	0.242180	0.311424	1628.997	0.315728	0.754233	560.3153
E3	0.713461	0.565716	1503.359	0.527965	0.950312	1074.496
E4	0.585666	0.82253	1216.195	0.131406	1.018700	861.4286
E5	1.666172	1.121037	964.6508	0.185656	1.329496	1057.911

On peut observer que la valeur de n augmente avec l’adultération avec la masse fondue de saccharose à la fois à 27 °C et à 35 °C. Cela indique que le miel était fluidifié par cisaillement et que l’adultération entraîne sa viscosité vers le Newtonien.

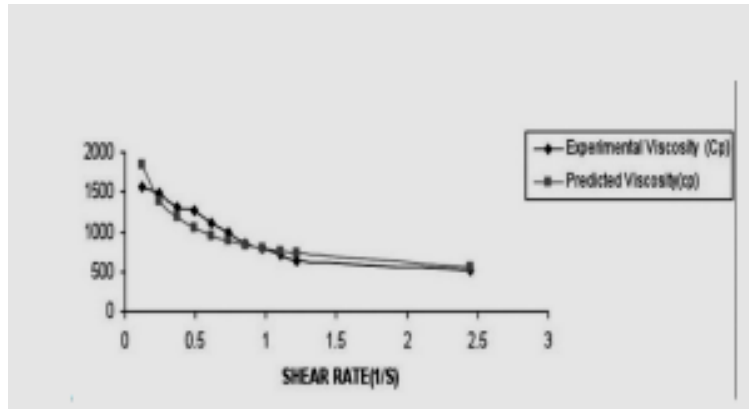


Figure IV.6 : Ajustement de la courbe de Power Law de miel A1 à 35 °C.

IV.3) Détermination de la contrainte des échantillons

✓ Détermination de la contrainte de deux échantillons (m1 et m2) en fonction de différents des vitesses de rotation (rpm) à la température ambiante et à la température (49±2°C)

- Pour calculer contrainte de cisaillement en utiliser loi suivant:

On la loi de contrainte est : $\tau = M \cdot K_{\tau}$ (avec τ : Pa.)

Avec, M : couple de moteur en (mN.m),

K_{τ} : il dépend de type de système en (Pa/mN.m), dans ce cas on utilise le système LV4.

Donc, $K_{\tau} = 8600 \text{ Pa/mN.m}$.

Tableau IV.7 : Les valeurs de la contrainte pour deux échantillons (m1 et m2) obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) à température ambiante et à température (49±2°C).

Où : les échantillons (M.N') et (Sac') sont étudiées à la température (49±2°C)

Contrainte (Pa) / Vitesse (tr/min)	m1(M.N)	m1 (M.N')	m2 (Sac)	m2 (Sac')
1	541.8	45.19	111.8	66.19
2	584.8	48.49	163.4	25.44
3	627.8	79.84	283.8	84.49
4	696.6	56.5	301	63.77
5	765.4	43.67	266.6	51.45
10	1341.6	19.59	232.2	22.18

20	2373.6	9.93	240.8	8.95
30	3336.8	5.13	258	5.22
40	4128	3.55	301	3.46
50	4833.2	2.62	352.6	2.46
70	6467.2	1.97	447.2	1.46
100	4179.6	1.35	851.4	0.713
150	5572.8	0.884	748.2	0.203
180	6458.6	0.72	903	0.179

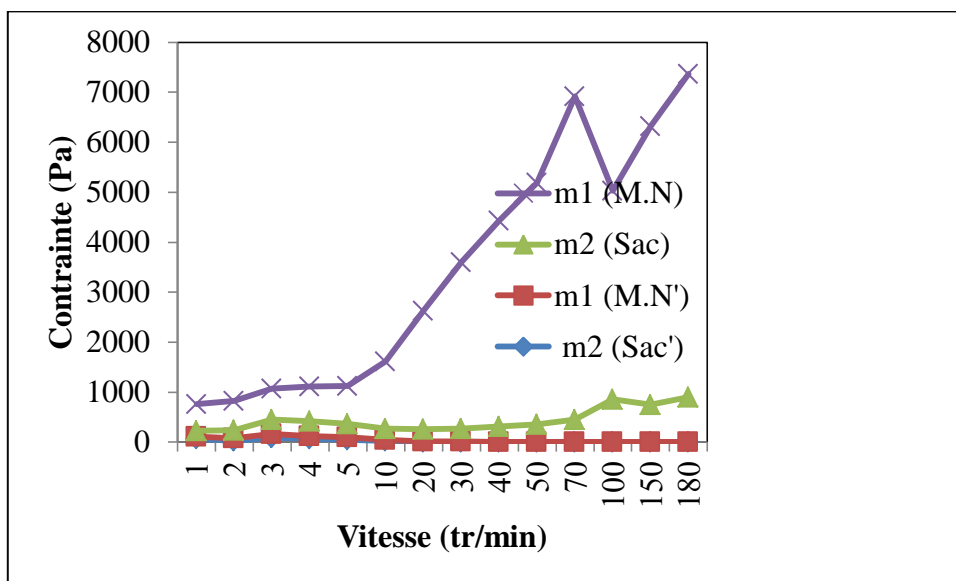


Figure IV.7 : Evolution de la contrainte pour deux échantillons (m1 et m2) au cours des vitesses de rotation à la température ambiante et à température ($49 \pm 2^\circ\text{C}$).

Le graphe : évolution de la contrainte en fonction de la vitesse de rotation.

On remarque dans cette graphe que la contrainte de (M.N) augmente significativement de la point (5tr/min ; 765.4 Pa) (selon le tableau ci-dessus) au dernière point de cette courbe, parce que la contrainte proportionnelle avec la vitesse de rotation, par contre la courbe de cette échantillon à deuxième température est presque linéaire, cela est dû au changement dans les molécules de la substance avec l'augmentation de température mais par rapport la contrainte de saccharose change légèrement à température ambiante, elle reste presque constante à

deuxième température quelle que soit l'augmentation de la vitesse (la contrainte du saccharose indépendante de la vitesse de rotation), car il considère de les fluides newtonien.

- ✓ Détermination de la contrainte de quatre échantillons en fonction de différents des vitesses de rotation à la température ambiante à la température ($49 \pm 2^\circ\text{C}$).

Tableau IV.8 : Les valeurs de la contrainte obtenues par un viscosimètre rotatif (FIRST PULS) pour les quatre échantillons à la température ambiante et à la température ($49 \pm 2^\circ\text{C}$) respectivement.

Contrainte (Pa) Vitesse (tr/min)	M1 (5%)	M2 (10%)	M3 (20%)	M4 (40%)
1	240.8	120.4	94.6	94.6
2	344	206.4	172	146.2
3	524.6	335.4	301	309.6
4	567.6	369.8	283.8	817
5	636.4	369.8	258	283.8
10	756.8	455.8	240.8	326.8
20	765.4	662.2	283.8	430
30	911.6	877.2	369.8	576.2
40	1100.8	1109.4	473	731
50	1376	1479.2	593.4	885.8
70	1668.4	1935	834.2	1212.6
100	2287.6	2657.4	1462	1677
150	3276.6	3938.8	2244.6	2476.8
180	4446.2	5357.8	2734.8	2889.6

Contrainte (Pa) \ Vitesse (tr/min)	5%	10%	20%	40%
1	35.5	37.35	86.2	83.47
2	60.76	45.49	48.64	38.91
3	86.77	87.75	87.16	96.15
4	59.73	62.09	63.58	68.02
5	46.31	46.4	46.57	50.5
10	20.25	19.43	31.76	23.93
20	8.75	9.96	13.32	9.81
30	5.08	5.64	5.63	5.78
40	3.37	3.79	3.68	3.67
50	2.51	2.7	2.61	2.47
70	1.67	1.71	1.56	1.33
100	1.06	1.03	0.891	1.12
150	0.668	0.576	0.469	0.673
180	0.626	0.417	0.372	0.553

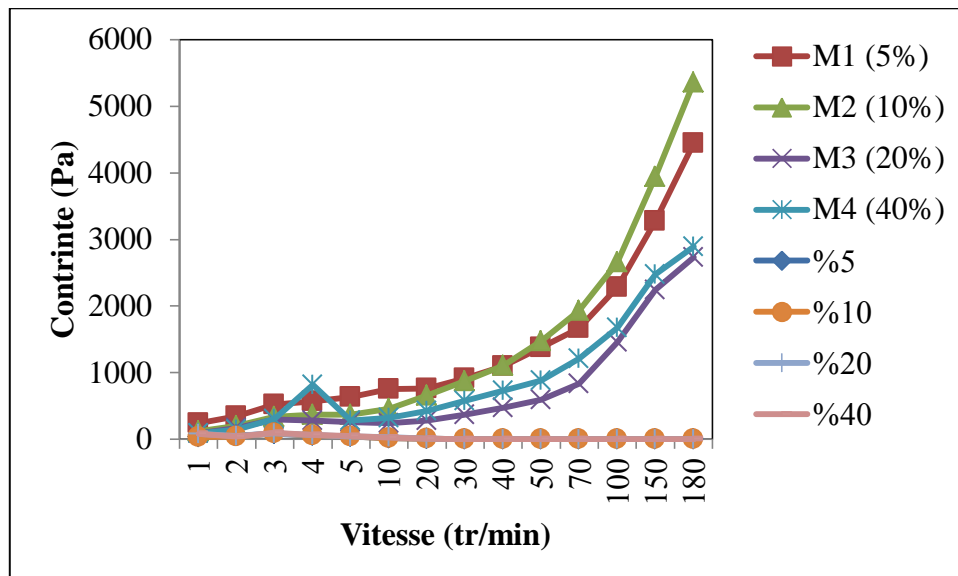


Figure IV.8 : Evolution de la contrainte pour quatre échantillons au cours des vitesses de rotation à la température ambiante et à température (49±2°C).

Le graphe : évolution de la contrainte en fonction de la vitesse de rotation.

Les courbes (M1, M2, M3 et M4) sont étudiées à la température ambiante, mais par rapport les autres courbes (5%, 10%, 20% et 40%) sont étudiées à température ($49\pm 2^{\circ}\text{C}$).

On observe d'après ce graphe que les courbes (M2, M1) sont croissantes de manière convergente et ont les plus grandes valeurs de contrainte en raison de la faible augmentation des niveaux de saccharose dans le miel, en ce qui concerne les échantillons (M3 et M4) nous constatons une diminution notable des valeurs de contrainte (selon le tableau ci-dessus, ceci est à une augmentation de la tricherie (imitation) dans le miel pur (changement de rhéologie du miel). Par contre, les autres courbes (5%, 10%, 20% et 40%) sont presque linéaires et ont les plus petites valeurs de contrainte quel que soit augmentation de vitesse, cela est du à la température élevée.



Conclusion générale

Conclusion générale

La rhéologie est un facteur important et sensible pour la caractérisation du miel, parce que le comportement d'écoulement est étroitement lié aux changements de compositions de miel.

Notre travail a été consacré sur l'étude d'un paramètre rhéologique important il s'agit de la viscosité, de miel d'eucalyptus provient de la région de Miliana (Willya d'Ain Defla).

Dans un premier temps, nous avons réalisés notre étude sur les échantillons pour la mesure de leur viscosité avec à température ambiante, d'où l'on a conclu de la viscosité que le miel pur tend vers le non-newtonien contrairement au saccharose, qui se comporte en comportement newtonien. Comme pour les échantillons de miel falsifié plus la teneur en saccharose est élevée, plus le comportement du miel est passé au newtonien et plus sa qualité est faible.

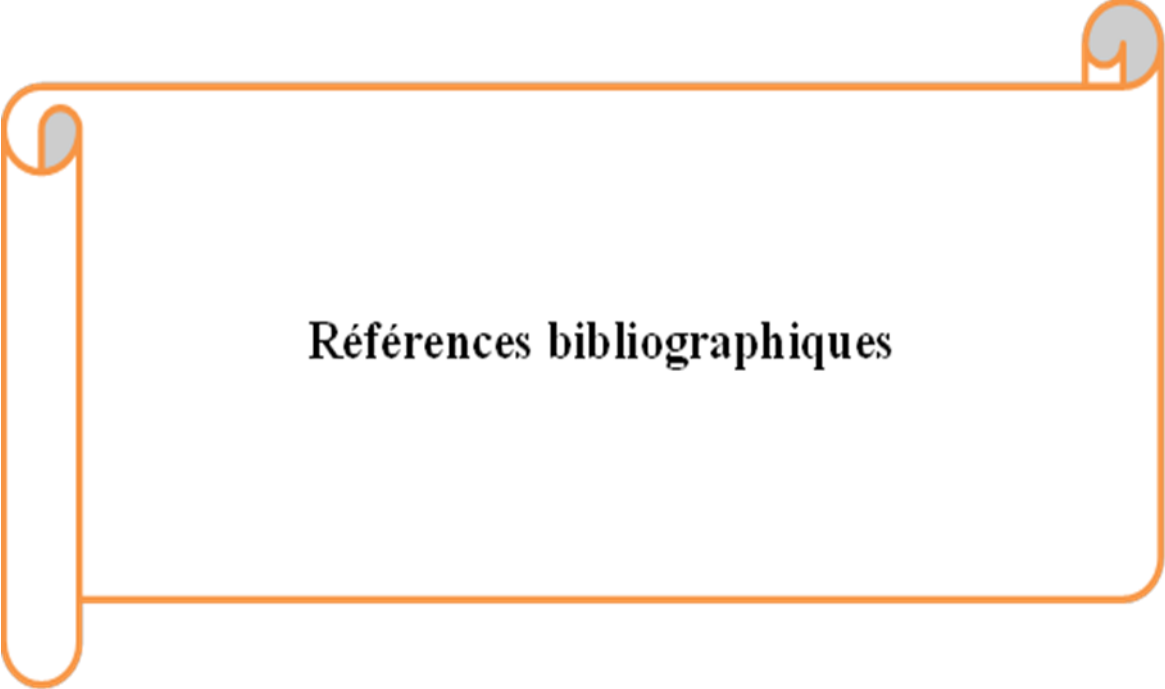
La deuxième étape, nous avons réalisés même étude à température 49°C, la résultat a été que la viscosité est inversement affectée par l'augmentation de la température, de sorte que l'échantillon de miel naturel a tendu ses propriétés aux propriétés du fluide newtonien. Alors que le saccharose et d'autres échantillons sont devenus plus conservés leurs propriétés newtoniennes. La troisième étape, nous avons étudié la contrainte de tous les échantillons à mêmes conditions thermique, et la conclusion était le suivante : que la contrainte est liée à la vitesse de rotation et à la viscosité dans une relation proportionnelle et est également affectée par un changement de température (une relation inverse).

Nous avons également étudié dans notre travail quelque propriété physico-chimique (PH et la conductivité électrique). Les résultats des analyses effectuées révèlent que le miel contient la mesure de la conductivité électrique (0.0306 mS.cm-1) révèle que le miel est riche en matières ionisables, cette valeur est inférieure à 0,8 mS.cm-1 cela veut dire que c'est de miel à nectar, par rapport le mesure de pH, tous les types de miel sont classés comme acides avec différents degrés d'acidité, de plus une valeur basse du pH du miel est suffisante pour inactiver un grand nombre de micro-organismes. En utilisant un pH-mètre, le miel d'eucalyptus donne une valeur de 3.91, ce qui signifie que nos échantillon est d'origine Nectar. .

Notre étude a donné des résultats très précis à température normale, contrairement aux résultats que nous avons obtenus à la deuxième température qui étaient des résultats plutôt précis.

Conclusion générale

La rhéométrie est une technique pratique et prometteuse pour l'évaluation des types de miel (basée sur des sources et/ou emplacement géographique) et la falsification du miel, par conséquent, les rhéomètres doivent être fournis car ils sont très précis dans la mesure à différentes températures et la plage de vitesse est large en termes de vitesses qui sont très petites et grandes aussi



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- (J. Agric ;1990) Analysis and Quantitation of the Carbohydrates in Honey Using High-Performance Liquid Chromatography J. Agric. Food Chem. 1990, 38,p 1828-1832
- . Bakier, S.; Miastkowski, K.; Bakoniuk, J.R, 2016. Rheological Properties of Some Honeys in Liquefied and Crystallised States. J. Apic. Sci., 60,p 153–166. [CrossRef]
- . Fischer, P. 2011; Windhab, E.J. Rheology of food materials. Curr. Opin. Colloid Interface Sci., 16, p 36–40. [CrossRef]
- Ã, J. A.; Ramaswamy, H. S.; Sashidhar, K. C , 2007. Rheological Characteristics of Tamarind (Tamarind us Indica L .) Juice Concentrates. LWT - Food Science and Technology, 40,p 225–231
- A. Guler, A. V. Garipoglu, H. Onder, S. Biyik, H. Kocaokutgen, and D. Ekinici, 2017 “Comparing biochemical properties of pure and adulterated honeys produced by feeding honeybees (*Apis mellifera* L.). p 259–268
- Addil El Akkad, 1993. Etude comparative des perturbations de la couche limite et de la portance, sur plaque plane et sur modèle d’aile en présence de fluides désirants. Université du Québec a Chicoutimi. p 46-50
- Ahmed, J. Advances, 2018 “in rheological measurements of food products. Food “Sci., 23, p 127–132. [CrossRef]
- Al-Mamary M., Al-Meeria., Al-Habori M, (2002). Antioxidant activités and total phénolics of different types of honey. Nutrition Research 22.10 p (41-1047)
- Almeida-Muradian, L.B, Stramm, K.M, Horita, A, Barth, O.M, Freitas, A.S, & Estevinho, L.M. (2013). Comparative study of the physicochemical and palynological characteristics of honey from *Melipona subnitida* and *Apis mellifera*. International Journal of Food Science and Technology, 48,p 1698–1706
- Alonso-Torre, S.R, Cavia, M.M, FernándeZ-Muinõ, M.A, Moreno,G, Huidobro, J.F, & Sancho, M.T. (2006). Evolution of acid phosphatase activity of honeys from different climates. Food Chemistry, 97,p 750–755
- Alvarez-Suarez JM, Tulipani S, Romandini S, Bertoli E, Battino M (2010b) Contribution of honey in nutrition and human health: a review. Mediterr J Nutr Metab 3,P 15–23
- Amiot, M.J., Aubert, S., Gonnet, M., & Tacchini, M. (1989). Les composés phénoliques des miels: étude préliminaire sur l’identification et la quantification par familles [The phenolic compounds in honeys: preliminary study upon identification and family quantification]. Apidologie, 20,p 115–125

Références bibliographiques

- Amrouche J, Kessi L. 2003.** Etude de la qualité physico-chimique de quelques de miels. Mémoire. Ingénieur. U.S.T.H.B. Alger. p 49
- Anklam, E. (1998).**A review of the analytical methods todetermine the geographical and botanical origin of honey.Food Chemistry, 63,p 549–562.
- Ayouaz Sabrina, Benmamas Fatima, 2017.** Etude de la viscosité de quelques produits de CEVITAL. Mémoire de Master en Sciences Alimentaires. Université Abderrahmane Mira. Bejaïa .p 5-7.
- Badaoui Fouzia, 2012.** Comportement rhéologique de solution de bio polymère. Application au chitosame, au poly (Vinyle alcool) et à leur mélange. Mémoire de Magister en Génie des Polymères. Université M'Hamed Bougara. Boumerdes . p 35-4
- Bakier, S. (2007).** Influence of temperature and water content on the rheological properties of Polish honey. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 57 (2A),p 17– 23
- Beau M.(1950).**Études rhéologiques sur le beurre .Le Lait 30issue 299-300,p 593-608
- Belay, A.; Desse, G.; Birringer, M.; Borck, H.; Addi, A.; Baye, K., 2016;** et al. LWT - Food Science and Technology Rheology and Botanical Origin of Ethiopian Mono Fl Oral Honey. LWT - Food Sci. Technol. [Internet] 2017;75,p 393–401
- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P (2009)** Sugars, sugar alcohols and honey In: Food chemistry,vol 2009, 4th edn.; Springer: Berlin, p 883–890
- Bera, A., Almeida-Muradian, and Saato, S.F. (2008).** Study of physicochemical and rheological properties of irradiated honey. NUKLEONIKA (supplement 2),p 85 – 87.
- Bergner, K.G., & Hahn, H. (1972).**Zumvor kommen und zurherkunft der freienaminosa'uren in honig [Occurrence andorigin of the free amino acids in the honey]. Apidologie, 3,p 5–34
- Biino, L.(1971).** Ricerca di alcuni amino acidi in due varieta dimiele [Looking for some amino acids in two varieties ofhoney]. RivistaItaliana delle Essenze e Profumi, 53,p 80–84
- Biri M. (1997).**Le grand livre des abeilles, l'apiculture moderne, Vecchi, Paris, p 45
- Bogdanov S . 1997.** Harmonised methods of the European Honey Commission. Apidologie, 28 (extra issue), p 1-5
- Bogdanov, S. (2011c).** Honey composition. In S. Bogdanov(Ed.), The honey book (p 27–36).
- Bogdanov.S.,Ruoff. K., Oddo P .L, (2004).**Physic-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys. Apidologie p 35. 17

Références bibliographiques

- Bogdanov S., Vit P. Et Kilchenmann V., 1996** . Sugar profiles and conductivity of stingless bee honeys from Venezuela , *Apidologie*, 27,p 445-450.
- Bradbear N (2009)** Definition and uses of honey. In: *Bees and their role in forest livelihoods*. FAO ,Rome, p 81–88
- By **Munzer Shwiri** last updated “Acids in honey are their origin and importance in nutrition and treatment, and what is their role in honey” March 13, 2018(By Munzer Shwiri ;2018)
- Carre B, Gomez J, Melcion B, Giboulot, 1994**. La viscosité des aliments destinés à l'apiculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau.
- Cavia MM, Fernández-Muino MA, Alonso-Torre SR, Huidobro JF, Sancho MT (2007)** Evolution of acidity of honeys from continental climates: influence of induced granulation. *Food Chem* 100,p 1728–1733
- Cavia, M.M., Fernández-Muino, M.A., Gómez-Alonso, E., Montes-Cavia MriaM., Fernandez-Muino Miguel A., Alonso- Torre sara R., Huidobro J.F and Sancho M.T, (2006)**. An attempt to establish reliable « Best before » dates for honeys originating in both continental and oceanic climates .*Apiacta*, 41,p 86-98
- Cernak M., Majtanova N., Cernak A. et al, (2012)**. Honey prophylaxis reduces the risk of end ophthalmitis during perioperative period of eye surgery. *Phytother Res. Apr* ; 26(4) ,p 613-6
- Chauvin R, (1968)**,L'abeille et la fleur in *traite de biologie de l'abeille (T3)*. Edition Masson Cie, Paris : p 95,286-7,293-4-9,304-6
- Chirife, J., Zamora, M.C., & Motto, A. (2006)**. The correlation between water activity and % moisture in honey: Fundamental aspects and application to Argentine honeys. *Journal of Food Engineering*, 72,p 287–292
- Ciulu M, Solinas S, Floris I, Panzanellia A, Pilo MI, Piu PC, Spanoa N, Sanna G (2011)** RP-HPLC determination of water-soluble vitamins in honey. *Talanta* 83,P 924–929
- Codex. 2001** : Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius. ALINORM 01/25,p 1-31
- Conseil de l'Union Européenne 2001**. Directive CEE 2001/110 du conseil du 20/12/2001 relative au miel. *J. Off. Communautés Eur. L10*.p 47-52
- Crane E (1990)** The traditional hive products: honey and beeswax. In: Crane E (ed) *Bees*
- Crane, E.E. (1980)**. A book of honey. Oxford: Oxford University Press. ISBN 9780192860101.

Références bibliographiques

- Da Costa, C.C. and Pereira, R.G. (2012).** Rheological analysis of honey and propolis mixtures, 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure, p 435 – 436.
- Da Silva, P.M., Gauche, C., Gonzaga, L.V., Oliveira Costa, A.C., Fett, R.** Honey
- Delphine I, (2010).** Le miel et ses propriétés thérapeutiques. Utilisation dans les plaies
Doctorat en pharmacie. Faculté de pharmacie. Université de Limoges, p 56-57. Faculté de pharmacie. Université poincare de Nancy 1, p 17-37
- Doner, L.W. (2003).** Honey. In B. Caballero, P.M. Finglas, & L.C. Trugo (Eds.), Encyclopedia of food sciences and nutrition (2nd ed., p 3125–3130)
- Drissa Ouattaria, 2011.**étude des propriétés rhéologiques de résidus miniers densifiés. Mémoire présente en vue de l’obtention du Déplome de maitre en sciences appliquées. Université de Montréal.
- Emmanuelle H., Julie C. Et Laurent G., 1996 -** Les Constituants Chimiques du Miel. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaire. APISERVICES, Galerie Virtuelle apicole.
- Estupin~a’n, S., Sanjuan, E., Milla’n, R., &Gonza’lez-Corte’s, M.A (1998).** Para´metros de calidad de la miel I. Microbiologi´a ,caractères fisicoqu´imicos y de envejecimiento [Honey quality parameters I .Microbiology, physicochemical properties and aging]. Alimentaria, 296,p 89–94
- Estupin~a’n, S., Sanjuan, E., Milla’n, R., &Gonza’lez-Corte’s, M.A. (1998).** Para´metros de calidad de la miel I. Microbiologi´a, caracteresfisicoqu´imicos y de envejecimiento [Honey quality parameters I. Microbiology, physico chemical properties and aging]. Alimentaria, 296,p 89–94.
- Fernandez-Torres R, Perez-Bernal JL, Bello-Lopez MA, Callejon-Mochon M, Jimenez-Sanchez JC, Guiraum-Perez A (2005)**Mineral content and botanicalorigin of Spanishhoneys. Talanta 65,p 686–691
- Fischer, P. Windhab, E. J. 2011.** Rheology of food materials. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 16, p 36–40
- Gibouin Florence, 2015.**application de méthodes optiques couplées à l’étude d’écoulements de fluides biréfringents. Thèse pour l’obtention du grade de docteur. Université de Poitiers.
- Gleiter, R.A., Horn, H., &Isengard, H.D. (2006).** Influence of type and state of crystallisation on the water activity of honey. Food Chemistry, 96,p 441–445.

Références bibliographiques

- Gomes, S, Dias, L.G., Moreira, L.L., Rodrigues, P., &Estevinho, Gómez-díaz, D.;**
Navaza, J. M ,Quintáns-riveiro, L. C, Gómez-díaz, D,Navaza, J. M. ,2009 “Effect of Temperature on the Viscosity of Honey “2, p 9-12.
- Gómez-Díaz, D,Navaza, J.M, Quintáns-Riveiro, L.C.(2006)** “Rheological behaviour of Galician honeys”. *Eur. Food Res. Technol.*, 222,p 439–442. [CrossRef]
- Gonnet M. And Vache G,1985** - Le goût du miel. Edit, U.N.A.F, Paris ,p 146
- Grassi, D., Desideri, G., &Ferri, C. (2010).** Flavonoids: Antioxidants against atherosclerosis. *Nutrients*, 2,p 889–902
- H. Duisberg and H. Hadorn (1966),** “Welchean forderungensindandhandelshonigzustellen?” *Mitteilungenausdem Gebiete de Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 57, p 386–407
- Hermosín I, Chicón RM, Cabezudo MD (2003)** Free amino acid composition and botanical originof honey. *Food Chem* 83,p263–268
- Huidobro, J.F., Sa´nchez, M.P., Muniategui, S., & Sancho, M.T. (2005).**Precise method for the measurement of catalaseactivity in honey. *Journal of AOAC International*, 88,p 800–804
- James, O.O, Mesubi, M.A, Usman, L.A, Yeye, S.O, Ajanaku, K.O, Ogunniran, K.O, Ajani, O.O. and Siyanbola, T.O. (2009).** Physical characterisation of some honey samples from NorthCentral Nigeria. *International Journal of Physical Sciences* 4(9),p 464 – 470
- Junzheng, P,(1998).** General Rheological Model for Natural Honeys in China. *J. Food Eng.*, 36(2),p 165–168
- Kahraman, T.; Kemal, S.; Vural, A.; Sandıkcı, S, (2010)** .Physico-chemical Properties in Honey from Different Regions of Turkey. *Food Chem. [Internet].*;123(1),p 41–44
- L. (2010).** Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48,p 544–548
- Labropoulos, A., &Anestis, S. (2012).** Honey. In T. Varzakas,A. Labropoulos, & S. Anestis (Eds.), *Sweeteners: Nutritional aspects, applications, and production technology* ,p 119–146
- Lee DC, Lee SY, Cha SH, Choi YS, Rhee HI (1998)** Discrimination of native bee-honey and foreign bee-honey by SDS–PAGE. *Korean J Food Sci* 30,p 1–5
- Leo´ n-Ruiz, V., Vera, S., Gonza´lez-Porto, A.V., & Andre´s, M.P.S. (2013).** Analysis of water-soluble vitamins in honey by isocratic RP-HPLC. *Food Analytical Methods*, 6,p 488–496.

Références bibliographiques

- Manikis, I.; Thrasivoulou(2001)** a. the relation of physicochemical characteristics of honey
- Mato I, Huidobro JF, Simal-Lozano J, Sancho MT (2007)** Analytical methods for the determination of organic acids in honey. *Crit Rev Anal Chem* 36,p 3–11
- Mossel, B.; Bhandari, B.; Arcy, B. D.; Ca, N , (2000).** Use of an Arrhenius Model to Predict Rheological Behaviour in Some Australian Honeys. *Lebensmittel-wissenschaft Und-technologie-Food Science And Technology.*, 552,p 545–552.
- Mouas Mohamed (2012).** Etude par dynamique moléculaire de la structure atomique et de la compressibilité isotherme de métaux liquide. Calcul de la diffusion et de la viscosité de soudures sans plomb par le formalisme de Green .Kubo .Thèse doctorat en Physique de la matière condensée. Université de Lorraine. p 85.
- Nair S. 2014.** Identification des plantes mellifères et analyses physicochimiques des miels Algériens, thèse de Doctorat en Biologie, université d’Oran faculté des sciences de la nature et de la vie département de biologie p 192
- Oroian, M. 2012 ;** Physicochemical and Rheological Properties of Romanian Honeys ,p 296–307.
- Ortiz-Valbuena, A., Ferná’ndez-Maeso, M. C., & De La Torre, E. S. M. (1996).** Principales caractéristiques de la miel de La Alcarria [The main caractéristiques of the honey from Alcarria]. Toledo: Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Pe’rez, M.J., Huidobro, J.F., & Sancho, M.T. (2002).** Evolution
- Persoz B. (1969).** La Rhéologie: recueil de travaux des sessions de perfectionnement, Institut national des sciences appliquées, Lyon, Masson .Paris
- Petrov V (1974)** Quantitative determination of amino acids in some Australian honeys. *J Apic Res* 13,p 61–66
- Pirini A, Conte LS, Francioso O, Lercker G (1992)** Capillary gas chromatographic determination of free amino acids in honey as a means of discrimination between different botanical sources .*J High Resolut Chromatogr* 15,p 165–170
- Pohl P, Stecka H, Sergiel I, Jamroz P (2012)** Different aspects of the elemental analysis of
- Primorac, L.; Flanjak, I.; Kenjeric, D.; Bubalo, D ,2011.** “Specific Rotation and Carbohydrate Profile of Croatian Unifloral Honeys”. *Journal of Food Sciences.*, 29(5), p 515–519.
- Rao, M.A.** “Rheology of Fluid and Semisolid Foods”, 2nd ed.,” Food Engineering Series”; Springer: New York, NY, USA, 2007; ISBN 978-1-4614-9230-6. [CrossRef]

Références bibliographiques

- Reeve P., Amigoni S,2008** ; La rhéologie ; Un outil précieux pour la formulation cosmétique, l'Actualité Chimique p 323-324
- Ruiz-Matute AI, Brokl M, Soria AC, Sanz ML, Martínez-Castro I (2010)** Gas chromatographic– mass spectrometric characterization of tri- and tetrasaccharides in honey. Food Chem120,p 637–642
- S. Bogdanov,2009** “Harmonised methods of the international honey commission,”, <http://www.ihc-platform.net/ihcmethods2009.pdf>.
- S.Bogdanov , 2001**üllmann c., martin p., wernerv.o., harald r., güntner v., liviap.o., annag.s., marcazzang.l., piro r., flamini c., morlot m., lheritier j., borneck r., marioleas p., tsigouri a., kerkvliet j., ortiz a., ivanov t., d'arcy b., mossel b. Et vit p., - qualite du miel et
- Sa'inz-Lai'n, C., &Go'mez-Ferreras, C. (2000).**MielesEspañolas. Características e identificación mediante el análisis de polen [Spanish honeys. Characteristics and identification by pollen analysis]. Madrid: Mundi-Prensa.
- Sabatini, A.G. (2007).** Il miel: Origine, composizione proprietà. In A.G. Sabatini, L. Botolotti, & G.L. Marcazzan (Eds.), Conscere il miele (p 3–37)
- Sanz ML, Gonzalez M, de Lorenzo C, Sanz J, Martinez-Castro I (2005)** A contribution to the differentiation between nectar honey and honeydew honey. Food Chem 91,p 313–317
- Smanalieva J, Senge B (2009)** Analytical and rheological investigations into selected unifloral German honey. Eur Food Res Techno 229,p 107–113
- Solayman M, Islam MA, Paul S, Ali Y, Khalil MI, Alam N, Gan SH (2016)** Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: a comprehensive review. Compr Rev Food Sci Food Saf 15,p 219–233
- Solayman M, Islam MA, Paul S, Ali Y, Khalil MI, Alam N, Gan SH (2016)** Physico - chemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: a comprehensive review. Compr Rev Food Sci Food Saf 15,p 219–233
- Sopade, P.A.; Halley, P.; Bhandari, B.; D'Arcy, B.R.; Doebler, C.; Caffin, N ,2003:** “Application of the Williams-Landel-Ferry model to the viscosity-temperature relationship of Australian honeys”. J. Food Eng., 56,p 67–75. [CrossRef]
- Sordelet, 2018.** Les fluides non-newtoniens entre liquide et solide. Concours CGENIAL. Lycée Français de Berlin. P 1. SCHER JOEL ,2006.Rhéologie, Texture et texturation des produits alimentaire. Article. Issus de procédés chimie –bio- agroalimentaire publié

Références bibliographiques

Source web : S. Poncet Initiation à la rhéologie, “http://l3mgp.l3m.univmrs.fr/site/SitePersoPoncet/enseignement/cours_rheologie.pdf”

Steffe, J.F.,1996; “Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd ed.; Freeman Press: East Lansing”, MI, USA, ISBN 0963203614. [CrossRef]

Terrab A, Vega-Pérez JM, Díez MJ, Heredia FJ (2001) Characterisation of northwest Moroccan honeys by gas chromatographic-mass spectrometric analysis of their sugar components. *J Sci Food Agric* 82,p 179–185View at: Google Scholar

Vignola CL., MICHEL JC., PAQUIN P.(2002).Science et technologie du lait: transformation du lait. Edition: Lavoisier , Paris.

White JW Jr (1978) Honey. In: *Advances in food research*. Academic, New York, p 287–364

White JW, Kushnir I (1967) The enzymes of honey: examination by ion-exchange chromatography ,gel filtration, and starch-gel electrophoresis. *J Apicult Res* 6:69–89

White JW, Schepartz AI, Subers MH (1963) Identification of in hibine , antibacterial factor in honey ,as hydrogen peroxide and its origin in a honey glucose-oxidase system. *Biochim Biophys Acta* 73,p 57–70

White, Jr., J.W., & Maher, J. (1953).Transglucosidation byhoney invertase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 42,p 360–367

Yoo, B, 2004. Effect of Temperature on Dynamic Rheology of Korean Honeys. *Journal of Food Engineering.*, 65,p 459–4

Source web :

https://www.researchgate.net/figure/Rheogram-dun-fluid-newtonian_fig83_297620925.2015/09/03

S .Poncet Initiation à la rhéologie, “http://l3mgp.l3m.univmrs.fr/site/SitePersoPoncet/enseignement/cours_rheologie.pdf/2014”

https://www.researchgate.net/figure/Rheogrammes-de-fluides-viscoplastiques-en-bleu-pour-un-fluide-de-Bingham-et-en-rouge_fig4_297620925/2015/09/03

https://fr.wikipedia.org/wiki/Rh%C3%A9ologie_des_phases_aqueuses

<http://hydrodynamisme-biomimetisme.E-monsite.com/pages/les-atouts-du-requin/les-différents-écoulements.html>.

<https://www.hellopro.fr/rheometre-a-contrainte-de-cisaillement-cylindre-coaxial-rst-cc-1000599-6548580-produit.html/2022>

Références bibliographiques

https://www.researchgate.net/figure/Geometries-de-rheometres-a-Couette-b-plan-plan-c-cone-plan-WEB-9_fig2_257822233/2013/10/01

<https://www.lamy rheology.com/produits/first-plus/1955>

<https://www.medicalexpo.fr/prod/xylem-analytics/product-80700-640537.html/2022>

<https://www.directindustry.fr/prod/thermo-scientific-scientific-instruments-and-aut/product-7217-797323.html/2022>

<https://www.directindustry.fr/prod/hydramotion/product-31080-151175.html/2022>

https://www.lemmer.com/store/p179/Viscosity_Cup_-_Ford_%234.html/1965

[Notice-dutilisation-FIRST-PLUS-pour-web-et-mail.pdf/2021/04](#)

ملخص

العسل مادة حلوة ينتجها نحل العسل من الرحيق والمواد الحلوة الأخرى (المن) التي يجمعونها من النباتات الحية، وتثريها بمواد من أجسامهم، وتتحول في أجسامهم، وتخزن في الأمشاط وتتضج. من الناحية الغذائية، يعتبر العسل غذاء من الدرجة الأولى وذو قيمة عالية للطاقة وله خصائص علاجية معينة.

نظرًا لفوائده الصحية، يزداد الطلب عليه بين المستهلكين، ولهذا يوجد العسل المغشوش بكثرة في السوق المحلي. الطريقة الكلاسيكية للتحقق من العسل المزيف هي التحليل الفيزيائي والكيميائي. قد تكون هذه الطريقة مكلفة للغاية.

هذه الدراسة اقترحت لطريقة أقل تكلفة مقارنة بالطريقة التقليدية. تتمثل الطريقة في إجراء دراسات التدفق الريولوجي على العسل النقي وعينات من نفس العسل أضيف لها تركيزات مختلفة من السكر (5، 10، 20 و 40%). أجريت الدراسة بدرجات حرارة مختلفة (25 و 49 درجة مئوية). تظهر نتيجة التحليل أن العسل الطبيعي يتصرف مثل سائل غير نيوتوني، وبشكل أكثر تحديدًا مثل سائل متغير الانسيابية. إن إضافة كمية من السكر، التي لها سلوك نيوتوني، إلى العسل يغير هذه الخاصية (متغيرة الانسيابية) إلى السائل النيوتوني. هذه النتيجة تجعل من السهل التفريق بين العسل الطبيعي و العسل المغشوش.

الكلمات المفتاحية : العسل الطبيعي، الخصائص الريولوجية، السكر، اللزوجة و درجة الحرارة.

Résumé

Le miel est une substance sucrée produite par les abeilles mellifiques à partir du nectar et autres substances sucrées (miellat) qu'elles récoltent de végétaux vivants, enrichissent de substances provenant de leurs propres corps, transforment dans leur corps, entreposent dans les rayons et font mûrir. Sur le plan nutritionnel, le miel est un aliment de première catégorie, de haute valeur énergétique et présentant certaines propriétés thérapeutiques.

En raison de ses bienfaits pour la santé, il est très demandé aux consommateurs, c'est pourquoi on trouve le miel frelaté en abondance sur le marché local. La méthode classique pour vérifier le faux miel est l'analyse physico-chimique. Cette méthode peut être très coûteuse.

La présente étude propose une méthode moins coûteuse par rapport à la méthode classique. La méthode consiste à faire des études rhéologiques d'écoulement sur un miel pur et des échantillons du même miel auxquels différentes concentrations de saccharose ont été ajoutées (5, 10, 20 et 40%). L'étude est effectuée à différentes températures (25 et 49 °C). Le résultat de l'analyse montre que le miel naturel comporte comme un fluide Non-Newtonien, plus particulièrement, comme un fluide Thixotropique. L'ajout de quantité de saccharose, qui a un comportement Newtonien, au miel change cette propriété (Thixotropique) au fluide Newtonien. Ce résultat permet de différencier facilement entre le miel naturel et le miel frelaté.

Mots clés : Miel naturel, caractérisation rhéologique, saccharose, viscosité et température.

Abstract

Honey is a sweet substance produced by honey bees from nectar and other sweet materials (honeydew), which they collect from living plants, enrich with substances from their own bodies, transform in their bodies, store in the combs and make mature. From a nutritional point of view, honey is a food of the first category, of high energy value and with certain therapeutic properties.

Due to its health benefits, it is in high demand among consumers, which is why adulterated honey is found in abundance in the local market. The classic method for checking fake honey is physico-chemical analysis. This method can be very expensive

This study is a proposal for a less expensive method compared to the traditional method. The method consists in performing rheological flow studies on pure honey and samples of the same honey to which different concentrations of sucrose were added (5, 10, 20 and 40%). The study was conducted at different temperatures (25 and 49 degrees Celsius). The result of the analysis shows that natural honey behaves like a non-Newtonian liquid, more specifically, like a thixotropic liquid. Adding an amount of sucrose, which has Newtonian behavior to honey changes this property (thixotropic) to the Newtonian liquid. This result makes it easier to differentiate between natural honey and adulterated honey.

Key words: natural honey, rheological properties, sucrose, viscosity and temperature.