

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Alimentaire

Spécialité : Contrôle de qualité

Présenté par :

**DAHACHE Basma & SEMMAR Imane**

*Thème*

# Etude Expérimental des Propriétés Rhéologiques de Quelques Produits Alimentaires

Soutenu le : 04/07/2023

Devant le jury composé de :

M. NOURI Alaoua

MCB

Univ. de Bouira

Président

M. REKAB DJABRI Hamza

MCA

Univ. de Bouira

Promoteur

M. DRIEF Mohamed

MAB

Univ. de Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

# Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et  
miséricordieux,  
qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste  
travail.

Nos remerciements vont aussi à notre promoteur **Mr REKAB  
DJABRI Hamza** •

pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, et pour  
nous avoir  
permis de bénéficier de ses conseils éclairés tout au long du  
développement de  
notre travail.

Nous tenons à exprimer nos très grandes considérations à  
**Mme BETRAUI FATIMA** Pour nous guider et nous aider.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer  
notre travail.

Enfin, nos remerciements les plus sincères sont adressés à  
tous ceux qui ont

contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail  
notamment **Mme DJEMEL Fatima** et **Mr AIT HACENE Saïd**.

# Dédicac



*Je dédie ce modeste travail*

*Pour ceux qui m'ont rempli d'amour, de soutien et de tendresse. toi mon  
horoscope*

*De douceur, de joie et de bonheur à toi est ma volonté, ma fierté et ma fierté*

*: Ma mère est "Ghanía".*

*À mon merveilleux père, **Alí**, merci pour ton soutien indéfectible tout au  
long de mon parcours scolaire. Votre amour et vos conseils ont été  
essentiels. Je vous suis infiniment reconnaissant.*

*A mon cher fiancé **Souhaib**, je te remercie pour ton soutien psychologique et  
moral*

*A mes frères, la source de ma force et de ma fierté : **Walíd, Abdouallah,  
Abdul Rahman***

*À ma sœur, mon seul amour et mon âme sœur, **chaïma***

*A mes amis qui ont partagé des moments de tristesse avant la joie, et de  
beaux souvenirs qui nous ont réunis tout au long de la période d'étude. Je*

*t'aime : **Maryam, Somaía Bouchra, Maysa, Asmaa, Amal, Wíssam,  
Khawla, Zakía, Samía, ílham, Hayat, Karíma.***

*A ma grand-mère bien-aimée "**Fatma**", ma deuxième mère, sa prière m'a  
toujours accompagné tout au long de ma vie*

*Pour chaque famille "**Semmar**" et "**Semmarí**", où qu'elle se trouve.*

*A ma deuxième famille, la famille "**koursane**".*

*Imane*

# 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 ce modeste travail  
A celle qui m'a comblé d'amour, de soutien et de  
tendresse. A vous mon signe de douceur, de joie et de  
bonheur, à vous ma volonté, ma fierté et mon  
honneur : Ma mère « **FATIHA** ». A celui qui a  
consacré toute sa vie pour me guider et m'assister:  
Mon père « **MOUHAMED** » Je souhaite qu'ils trouvent  
à travers ce mémoire le faible témoignage de leurs  
efforts et de leurs sacrifices.

Mes dédicaces à mes frères : **KAMEL** et  
**ABDOESSALEM**

Mes deux petites soeurs **KAOUTHER** et **SONDOS**

A toute la famille **DAHACHE**

A tous mes amies que j'aime et surtout mes amies

**ASMAA** et **HAYET**.

**BASMA**

# Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Sommaire**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Introduction générale**

## **Parti bibliographique**

### *Chapitre I : généralités sur les aliments étudiés*

I.1	Généralités sur le secteur agroalimentaire .....	4
I.2	L'industrie de la mayonnaise : .....	4
I.2.1	Définition : .....	4
I.2.2	Composition et Rôle d'ingrédients : .....	5
I.2.3	Processus de fabrication de la mayonnaise : .....	5
I.2.3.1	Processus de fabrication traditionnelle de la mayonnaise : .....	5
I.2.3.2	Processus de fabrication industrielle de la mayonnaise : .....	6
I.2.4	Conservation .....	6
I.2.5	Valeur nutritionnelle pour 100g : .....	6
I.3	L'industrie de Miel de sucre : .....	7
I.3.1	Définition et composition : .....	7
I.3.2	Fabrication de miel de sucre : .....	8
I.3.3	Importance .....	8
I.4	L'industrie d'huile d'olive .....	8
I.4.1	Définition .....	8
I.4.2	Composition et les valeurs nutritionnelles : .....	9
I.4.3	Fabrication .....	10
I.4.3.1	Le nettoyage et l'effeuillage .....	10

I.4.3.2	Le broyage : .....	10
I.4.3.3	La Décantation.....	11
I.4.3.4	La centrifugeuse .....	11
I.5	L'industrie de Pâte à tartiner : .....	12
I.5.1	Généralité sur la pâte à tartiner : .....	12
I.5.2	Caractéristiques de la pâte à tartiner : .....	12
I.5.3	Composition de la pâte à tartiner .....	13
I.5.3.1	Poudre de cacao .....	13
I.5.3.2	Sucre : .....	14
I.5.3.3	Matière grasse.....	15
I.5.3.4	Arôme artificiel de noisette : .....	16
I.5.3.5	Additifs alimentaires.....	16

## ***Chapitre II: propriétés rhéologiques et méthode de mesures***

II.1	Généralité sur la rhéologie : .....	18
II.2	Définition de la Rhéologie : .....	18
II.3	Composantes de rhéologie.....	18
II.3.1	Élasticité .....	18
II.3.2	La viscosité.....	18
II.3.2.1	Objectif de la mesure de la viscosité : .....	19
II.3.2.2	Différents types de Viscosité: .....	20
II.3.2.3	Facteurs Affectant la Viscosité:.....	20
II.4	Les types de fluides .....	21
II.4.1	Les Fluides Newtoniens .....	21
II.4.2	Les Fluides Non Newtoniens .....	22
II.5	Nature de Régime de l'Écoulement : .....	23
II.5.1	Régime Laminaire .....	23
II.5.2	Régime Turbulent.....	23
II.6	Méthode de Mesure de Viscosité: .....	24
II.6.1	Rhéomètre : .....	24
II.6.1.1	Typologie de quelque rhéomètre : .....	24
II.6.2	Viscosimètre.....	25
II.6.2.1	Typologie des Viscosimètres.....	25
II.6.2.1.1	Les Viscosimètre Rotatif.....	25

II.6.2.1.2	Viscosimètre à Chut de Bille : .....	26
------------	--------------------------------------	----

## *parti pratique*

### *Chapitre I : Matériel et méthodes*

I.1	Partie Expérimentale .....	29
I.1.1	Objectifs de l'étude .....	29
I.1.2	Préparation des échantillons : .....	29
I.1.2.1	Préparation de Mayonnaise : .....	29
I.1.2.2	Préparation du Miel de Sucre .....	30
I.1.2.3	Préparation de Pâte à Tartiner : .....	30
I.1.3	Techniques de Mesure de la Viscosité : .....	31
I.1.3.1	Méthode de Rhéomètre (VT550) : .....	31
I.1.3.2	Méthode de Viscosimètre Rotatif (NUMERIQUE). .....	33
I.1.3.3	Méthode de chute de bille (méthode de stock) .....	36

### *CHAPITRE II : discussion des résultats*

II.1	Introduction .....	41
II.2	Techniques et détail de calculs .....	41
II.2.1	Méthode de Rhéomètre .....	41
II.2.1.1	Viscosité de l'huile d'olive .....	41
II.2.1.2	Viscosité de miel de sucre .....	41
II.2.1.3	Viscosité de mayonnaise .....	43
II.2.1.4	Viscosité de chocolat .....	44
II.2.2	Interprétation : .....	45
II.2.3	Méthode de Viscosimètre Rotatif Numérique (ATAGO) .....	46
II.2.3.1	Miel de sucre commercial et artisanal .....	46
II.2.3.2	Chocolat à Tartiné .....	46
II.2.3.3	Huile d'olive .....	47
II.2.3.4	La Mayonnaise .....	48
II.2.3.5	Interprétation : .....	48
II.2.4	Méthode Chute de Bille .....	49
II.2.4.1	L'Huile d'Olive .....	50
II.2.4.2	Miel de Sucre traditionnel .....	50
II.2.4.3	Miel de Sucre commercial .....	51

II.2.4.4	Interprétation : .....	52
II.3	Influence de la température sur la viscosité (miel de sucre artisanal, miel de sucre commercial, chocolat à tartiner) : .....	52

**Conclusion générale**

**Référence bibliographique**

**Annexe**

**Résumé**

## Liste des figures

Figure 1: Image correspondante au mayonnaise et ses composants essentiels .....	5
Figure 2: Image correspondante au miel de sucre .....	7
Figure 3: Image correspondante aux fruits et huile d'oliv .....	9
Figure 4: Image correspondre l'étape le nettoyage et l'effeuillage la graine d'Olive .....	10
Figure 5: Image correspondre l'étape de broyage la graine d'Olive .....	11
Figure 6: Image correspondre la graine d'Olive et le huile d'Olive .....	11
Figure 7: Image correspondante la pate a tartiné .....	12
Figure 8: Courbe d'écoulement d'un fluide newtonien .....	21
Figure 9: Classification des fluides complexes .....	22
Figure 10: Représente l'écoulement laminaire et turbulent .....	23
Figure 11: Rhéomètre Rotatif HAAKE .....	24
Figure 12: Géométries de rhéomètres : a) Couette, b) plan-plan, c) cône-plan .....	25
Figure 13: Viscosimètre Rotatif byko-visc séries .....	26
Figure 14: viscosimètre à chute de bille .....	27
Figure 15: Schéma de la préparation traditionnelle de la mayonnaise.....	30
Figure 16: Schéma de préparation traditionnelle de miel de sucre .....	30
Figure 17: Schéma de préparation traditionnelle de la pâte à tartiné .....	31
Figure 18: Présentation du matériel utilisé dans l'expérience : (a) Le rhéomètre plus un thermomètre, (b) Le géomètre cône-plan (VT550), (c) Le logiciel utilisé pour les calculs....	32
Figure 19: Fonctionnement de Rhéomètre (VT550) et mesure de la viscosité de l'échantillon. ....	33
Figure 20: Présentation du matériel utilisé viscosimètre rotatif numérique (ATAGO), les béchers et les 3 sondes. ....	34
Figure 21: Mesure de la viscosité des échantillons utilisés (mayonnaise, l'huile d'olive, miel de sucre et chocolat commerciales).....	35
Figure 22: Présentation du matériel : a) afficheur, b) plaque chauffante. ....	36
Figure 23: Mesure de la viscosité de chocolat commerciale, et l'erreur mentionnée par l'afficheur. ....	36
Figure 24: les trois forces appliquées à la bille .....	37
Figure 25: Présentation des matériels et produits utilisés pour mesurer la viscosité : a) bille, b) miel et huile, c) chocolat et d) mayonnaise.....	39

Figure 26: Variation de la viscosité d'huile d'olive en fonction de taux de cisailent à 20°C	Viscosité de miel de sucre.....	41
Figure 27: Variation de la viscosité de miel de sucre témoin + artisanal :		43
Figure 28: Variation de la viscosité de la mayonnaise (témoin et artisanal) à 20°C.....		43
Figure 29: Evaluation de la viscosité de chocolat à tartiné (témoin et artisanal) à 20°C.....		44
Figure 30: Evaluation de la viscosité de chocolat à tartiné commerciale et artisanal à 40°C.		45
Figure 31: Influence de la température sur la viscosité de Miel de sucre artisanal.....		53
Figure 32: Influence de la température sur la viscosité de Miel de sucre témoin (Commercial)	.....	53
Figure 33: Influence de la température sur la viscosité de chocolat à tartiner artisanal.....		54

## Liste des tableaux

Tableau 1: la valeur nutritionnelle de la mayonnaise .....	6
Tableau 2: composition de la poudre de lait écrémé .....	14
Tableau 3: facteurs additionnels de composition et de qualité de sucre blanc.....	15
Tableau 4: Les valeurs de viscosité obtenues par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO..	46
Tableau 5: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO .....	47
tableau 6: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO. (Huile d'olive).....	47
Tableau 7: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO (Mayonnaise Traditionnel et témoin).....	48
Tableau 8: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille de l'huile d'olive. .....	50
Tableau 9: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille (Miel de sucre traditionnel).....	51
Tableau 10: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille .....	51

## Liste des abbreviation

<b>IAA</b>	Industrie Agroalimentaire
<b>PIB</b>	Produit Intérieur Brut
<b>Ph</b>	Potentiel Hydrogène
<b>Mg</b>	Milie Gramme
<b>G</b>	Gramme
<b>BC</b>	Beurre De Cacaï
<b>AGPI</b>	Acide Grasse Polyinsaturés
<b>AGE</b>	Acide Grasse Essentiels
<b>AG</b>	Acides Gras
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>C°</b>	Degré Celsius
<b>D</b>	Diamètre
<b>DE</b>	Dextrose Equivalent
<b>H</b>	Hauteur
<b>G</b>	Ccélation De La Pesanteur
<b>kg</b>	A Kilogramme
<b>M</b>	Mètre
<b>Mn</b>	Minute
<b>mPa</b>	Milli Pascale
<b>S</b>	Seconde
<b>Pa.s</b>	Pascale. Seconde
<b>PL</b>	Poiseuille
<b>Po</b>	Poise
<b>R</b>	Rayon De La Bille
<b>Re</b>	Nombre De Reynolds
<b>S</b>	Seconde
<b>T</b>	Temps
<b>tr/mn</b>	Tour Par Minute
<b>tr/s</b>	Tour Par Seconde
<b>T°</b>	Température

<b>v</b>	Vitesse
<b>x</b>	Hauteur D'éprouvette
<b><math>\rho</math></b>	Masse Volumique
<b><math>\rho_b</math></b>	Masse Volumique De Bille
<b><math>\rho_l</math></b>	Masse Volumique De Liquid
<b>%</b>	Pourcentage
<b><math>\Delta\eta</math></b>	Incertitude De La Viscosité
<b><math>\pi</math></b>	3,14

# Introduction générale

### Introduction

Le domaine de l'industrie agroalimentaire (IAA) est l'un des secteurs qui évolue progressivement, c'est un utilisateur important des produits agricoles, son principal défi aujourd'hui est de faire face à l'accroissement de la population mondiale tout en garantissant un développement durable et en offrant des produits sains, bien contrôlés (**DOUMBIA, 1991**).

L'alimentation est essentielle à la vie, son rôle principal est de nourrir le corps, c'est donc dire à quel point son importance est grande pour la santé, l'alimentation est donc un sujet qui touche plusieurs aspects de la vie. (**Site 1**)

Dans tous les pays industrialisés, les consommateurs recourent principalement aux produits transformés fabriqués par les industries agroalimentaires, pour assurer leur alimentation (**HASSANI et IKNI, 2017**). Les IAA regroupent principalement les activités de transformation de biens agricoles en produits alimentaires (pour l'homme et pour les animaux). On y rattache également parfois quelques fabrications non alimentaires comme celles de l'amidon ou des produits à base de tabac, et la production de toutes les boissons y compris celles qui n'ont pas d'origine agricole (l'eau minérale) (**GAUTIER et al. 2012**).

Les sciences alimentaires font appel à la rhéologie pour déterminer la consistance des différents produits. Elle comprend principalement deux composantes : l'élasticité (la Souplesse, la rigidité) et la viscosité (**AYYOUAZ et BENMAMAS, 2017**).

Les propriétés rhéologiques d'un aliment (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. (**Larbi Y, Eldjilani R, 2022**)

La viscosité est un paramètre de qualité important pour la plupart des produits alimentaires 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.. (**Larbi Y, Eldjilani R, 2022**).

A travers notre étude de ce sujet, une étude expérimentale des propriétés rhéologiques a l'instar la viscosité de certaines denrées alimentaires. Nous avons fabriqué ces matières : (Huile d'Olive, Mayonnaise, Miel de sucre, Chocolat à tartiné), de manière traditionnelle (Artisanale) par rapport aux denrées commerciales du même type.

Trois différentes méthodes avec des dispositifs différents on été utilisées dans notre travail :

Rhéomètre (VT550), viscosimètre rotatif (FUNGILAB) et viscosimètre à chute de bille. Afin d'étudier et de comparer leurs propriétés rhéologiques, en plus de donner aux investisseurs qui souhaitent démarrer leur projet dans ces aliments une vue complète de certaines propriétés physiques de ces produits pour obtenir une méthode industrielle appropriée.

Ce présent travail est constitué deux parties :

Une partie bibliographique théorique contient deux chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons quelques généralités sur les aliments étudiés (huile d'olive, mayonnaise, miel de sucre, pâte a tartine).

Dans le second chapitre nous allons donner un aperçu bien détaillé sur les propriétés rhéologique, a l'instar la viscosité.

Une partie expérimentale comporte l'ensemble des travaux réalisés au sein des différents établissements (université de Boumerdes, et Bouira), accompagnant avec des discussions approfondies.

Nous terminons notre présent travail, avec une conclusion générale et perspective.

# Parte Théorique

## I.1 Généralités sur le secteur agroalimentaire

Le secteur agroalimentaire est aujourd'hui de plus en plus confronté à la mise en circulation ou à l'élaboration de produit ayant une rhéologie complexe (afin de répondre aux critères de consistance et de tartinabilité), tel que la pâte à tartiner. La concurrence des industrielles pour fournir le meilleur produit sur le marché est rude, ce qui pousse les services de recherche et développement à l'élaboration et la conception de nouvelles recettes. (**Jyoti, 2003**).

Le secteur de l'industrie agroalimentaire, constitue un maillon important du tissu industriel national des pays du fait du rôle important qu'il joue dans l'économie du pays. Ainsi, il contribue d'une façon efficace et durable à l'amélioration du PIB (produit intérieur brut) et à la résorption du chômage en pleine expansion.

A cet effet, une attention particulière fut accordée à son développement par les pouvoirs publics à travers, notamment, l'adoption et la mise en application, au cours de ces dix dernières années, de différentes politiques et stratégie.

Une grande variété de mélanges est utilisée dans le monde de l'industrie alimentaire :

- ✓ Des poudres (sel, sucre...) qui ont un comportement de type granulaire sec.
- ✓ Des émulsions (vinaigrette, beurre...).
- ✓ Des suspensions (soupes, compotes...).
- ✓ D'autre mélange (yaourt, ketchup, moutarde...) (**AYOUAZ S, BENMAMAS F ,2017**)

## I.2 L'industrie de la mayonnaise

### I.2.1 Définition

La mayonnaise est une sorte d'émulsion semi-solide d'huile (phase discontinue) dans l'eau (phase continue) (**SHEN *et al.* 2011**). Elle présente des propriétés viscoélastiques dues au réseau formé par les lipoprotéines adsorbées autour des gouttes d'huile avoisinantes (**MA et CANOVAS, 1995**).

En raison de son pH faible et de sa teneur élevée en graisse, elle est relativement résistante à la détérioration microbienne. Bien que les levures et les moisissures puissent causer des dommages, relativement peu d'autres organismes ont été isolés de la mayonnaise (**FABIANet WETHERINGTON, 1950**) .



Figure 1: Image correspondante au mayonnaise et ses composants essentiels (Site 2)

### I.2.2 Composition et Rôle d'ingrédients

- ✓ **Huile** : La stabilité et la cohésion de la mayonnaise.
- ✓ **Jaune d'œuf** : Utilisé dans la fabrication de la mayonnaise pour ses propriétés émulsifiantes dues au complexe (Lécithine-protéine) (CAUSERET, 1994).
- ✓ **Vinaigre ou jus de citron** : D'un côté, il participe à la valeur gustative du produit fini, sépare les gouttelettes d'huile la mayonnaise est alors plus stabilisée (GACEM et OULD BEZIOU, 2019).
- ✓ D'un autre côté, il contribue à assurer une certaine propreté microbologique (FERIELet al.2008)
- ✓ **Sel** : la stabilité et le goût de la mayonnaise (ELKETROUSSI, 2018).
- ✓ **Autres ingrédients et additifs** :
- ✓ **Sucre** : modifier le goût lors de la dégustation.
- ✓ **Moutarde** : contribue à la saveur et la couleur de la mayonnaise.
- ✓ **Epice (poivre)** : n'apporte que des qualités gustatives à la mayonnaise (ELKETROUSSI, 2018).

### I.2.3 Processus de fabrication de la mayonnaise

Les ingrédients utilisés pour la préparation de la mayonnaise se changent selon le niveau de préparation. Au niveau domestique (et/ou traditionnelle), la mayonnaise est préparé à partir des ingrédients simples, tandis que au niveau industrielle, elle se prépare à partir de plusieurs ingrédients. (SHEN *et al.*, 2011).

#### I.2.3.1 Processus de fabrication traditionnelle de la mayonnaise

La mayonnaise est préparée à partir des ingrédients simples, tandis qu'au niveau industriel, elle se prépare à partir de plusieurs ingrédients. La mayonnaise traditionnelle est préparée en mélangeant soigneusement le jaune d'œuf, le vinaigre, l'huile, et les épices La

mayonnaise faite de cette façon contient généralement 70 à 80% de matières grasses (SHEN *et al.* 2011).

L'ensemble des ingrédients susmentionnés sont mélangés et battus à l'aide d'un batteur électrique, jusqu'à l'obtention d'une mayonnaise homogène (Arnold, 2014).

### **I.2.3.2 Processus de fabrication industrielle de la mayonnaise**

#### **✓ Préparation des phases**

Etant une émulsion, deux phases sont nécessaires à la fabrication de la mayonnaise. La formulation de ces phases se fait de la manière suivante :

#### **✓ Préparation de la phase grasse (huileuse)**

La phase grasse est constituée de l'huile dans les proportions définies selon la recette ainsi que des auxiliaires de fabrication qui y sont solubles tels que : l'émulsifiant, les vitamines, les arômes. La préparation proprement dite de la phase grasse consiste à dissoudre les additifs dans l'huile. Le liquide limpide ainsi obtenu constitue la phase grasse complète (GRAILLE, 2003).

#### **✓ Préparation de phase aqueuse**

Cette phase constituée de l'eau et du vinaigre ainsi que les additifs qui y sont solubles tels que: le sel- le sucre-les conservateurs... (GACEM et OULD BEZIOU , 2019).

- Introduire la phase aqueuse et le jaune d'œuf dans la cuve sous vide.
- Mettre en marche le broyeur colloïdal dans la cuve.
- Introduire en petites quantités la phase huileuse.
- Augmenter progressivement la quantité de phase huileuse et ajouté au fur à mesure

que l'émulsion commence à devenir visqueuse (MIHOV *et al.* 2012).

### **I.2.4 Conservation**

- La mayonnaise est conservée (conditionnée) dans des bouteilles et pots en verre ou en Pastique.

- Conservée à des basses températures (réfrigérateur) durant le stockage et aussi après l'ouverture (GACEM et OULD BEZIOU ,2019).

### **I.2.5 Valeur nutritionnelle pour 100g**

Ce tableau présente l'apport énergétique (Calories) de 100 grammes du produit Mayonnaise et les nutriments (protéines, glucides, matières grasses / lipides, acides gras saturés, sels minéraux et vitamines) qui entrent dans sa composition. Les quantités de nutriments indiquées sont mentionnées sur l'étiquette ou l'emballage du produit.

*Tableau 1: la valeur nutritionnelle de la mayonnaise (site 3, 2020) :*

Composition	Pour 100g
Énergie	2724 ,8kj
Lipides	71g
Acide gras sature	4,33g
Acide gras insaturé	66 ,67g
Glucide	2,21g
Protéine	0,85g
Sel	1,5g
Vitamine E	54,48mg

### I.3 L'industrie de Miel de sucre

#### I.3.1 Définition et composition

C'est un sirop produit par des mélanges à base de saccharose, généralement aromatisés ou colorés en vue d'imiter le miel naturel.

Il est comme un substitut parfait au miel, il est utilisé dans différents produits car il s'adapte facilement aux changements de couleurs et d'aromes

Le miel de sucre donc est composé de saccharose, eau et aromes (**GACEM et OULD BEZIOU ,2019**).



*Figure 2: Image correspondante au miel de sucre (Site 4)*

### I.3.2 Fabrication de miel de sucre

Versement de l'eau avec de sucre blanc et laisse bouillir et mélanger avec de malaxeur jusqu'à complété dissolution facultativement ajouter le jus de citron et une quantité de sirop de glucose (améliore la texture).

Laisse le processus en cours jusqu'à l'obtention d'un liquide d'un couleur ambré (AGVENI et BOVROVINA, 2012)

#### - Refroidissement

Le liquide obtenu subit un refroidissement pour prendre une consistance d'un miel sirupeux. (BELTI et HADDAR, 2016).

### 3- Conservation

- La température de conservation est d'environ 25°C pour ralentir sa cristallisation.
- Conserver dans des pots en verre ou en plastique stocker dans un placard à l'abri de la lumière. (GACEM et OULDBEZIOU, 2019).

### I.3.3 Importance

- Améliore la fraîcheur et la texture des produits étant donné qu'il permet rétention d'eau.
- Il réduit le risque de cristallisation des produits.
- Obtenant un produit homogène et dépourvue d'impureté. (BELTI et HADDAR, 2016).

## I.4 L'industrie d'huile d'olive

### I.4.1 Définition

D'après le Conseil Oléicole International (COI, 2015), l'huile d'olive est définie comme étant une huile provenant uniquement du fruit de l'olivier (*Olea Europaea* L.) à l'exclusion des huiles obtenues par solvants ou par des procédés de ré-estérification et de tout mélange avec les huiles d'autre nature. A la différence des autres huiles végétales ou d'autres produits tels que le vin, l'huile d'olive ne requiert aucune étape de raffinage ni aucune transformation chimique. Grâce à cette simplicité procédurale, l'huile d'olive a pu être fabriquée depuis l'antiquité (VELLEIT, 2010).



*Figure 3: Image correspondant aux fruits et huile d'olive (Site 5)*

#### **I.4.2 Composition et les valeurs nutritionnelles**

L'huile d'olive possède une composition nutritionnelle équilibrée en acides gras et en triglycérides (98% du poids total). L'abondance de l'acide oléique, un acide gras mono-insaturé, est la caractéristique qui définit l'huile d'olive en dehors des autres huiles végétales, L'acide oléique (C18 :1 n-9) représente 56 à 84% des acides gras de l'huile d'olive (**ROSSELL, 2001**).

Tandis que l'acide linoléique (C18 :2 n-6), qui est un acide gras polyinsaturé essentiel pour l'alimentation humaine, représente entre 3 et 21% (**TISCORNIA et al. 1982 ; VISIOLI et al.**)

Les principaux antioxydants de l'huile d'olive sont les carotènes et les composés phénoliques, y compris, les phénols lipophiles et hydrophiles. Les tocophérols (phénols lipophiles) peuvent être retrouvés dans les huiles d'autres légumes, tandis que certains phénols hydrophiles tel l'hydroxytyrosol de l'huile d'olive ne sont généralement pas présents dans les autres huiles et graisses (**BOSKOU, 1996**).

L'huile d'olive a un impact sur le plan nutritionnel par la présence dans sa composition d'un acide gras mono-insaturé ; l'acide oléique et des composants mineurs qui sont à des teneurs plus élevées dans une huile vierge (**KEYS et al. 1986 ; JACOTOT, 1999 ; KRATZ et al. 2002**).

Bienfaits pour les organes internes : l'huile d'olive protège l'estomac contre les maladies gastriques (gastrite, entérite), en réduisant les acides gastriques. Les principaux effets digestifs de cette huile portent sur le fonctionnement biliaire : stimulation de la sécrétion hépatique de la bile par le foie (cholérétique) et des propriétés cholagogue (stimule la vésicule biliaire à se contracter et à déverser dans le duodénum la bile indispensable à la digestion des lipides) (**JACOLOT, 1997**).

### I.4.3 Fabrication

La méthode de fabrication de l'huile d'olive vierge extra pression à froid se décline en différentes étapes. Aujourd'hui le processus de trituration est moderne, mais rappelons qu'il y a quelques années en arrière, le Moulin traditionnel avec les meules en granit était encore utilisé.

#### I.4.3.1 Le nettoyage et l'effeuillage

Une fois les olives cueillies, elles sont transitées au Moulin, là le Moulinier peut entamer la première étape de fabrication de l'huile d'olive. Les olives stockées dans des box après leurs cueillettes sont transférées dans la laveuse, il s'agit d'un système mécanique où les olives passent sous des jets d'eau afin qu'elles soient nettoyées de toute poussière. L'effeuillage, quant à lui, est assuré par des hottes qui aspirent et par des trémies qui retiennent les feuilles et les bois laissés dans les box d'olives lors de la cueillette à la main.



*Figure 4: Image correspondre l'étape le nettoyage et l'effeuillage la graine d'Olive  
(site 6)*

#### I.4.3.2 Le broyage

Les olives propres passent ensuite, avec leur noyau, dans la broyeuse. Lors de la production de l'huile d'olive, l'olive n'est pas dénoyautée, il est important de conserver son noyau afin de recueillir un acide permettant une meilleure conservation de l'huile. C'est un système de vis sans fin mécanique qui va permettre d'écraser et de malaxer la chair de l'olive et son noyau pour obtenir une pâte d'olive fluide. Il est important, lors de cette étape de malaxage de respecter une température inférieure à 27°C. Cette procédure de fabrication est un gage de qualité et la garantie d'une huile extraite par pression à froid.



*Figure 5: Image correspondre l'étape de broyage la graine d'Olive (site 6)*

#### **I.4.3.3 La Décantation**

Cette pulpe d'olive obtenue est ensuite déversée dans un décanteur séparateur horizontal où le liquide se sépare du solide. Sera récupéré seulement le liquide, un jus composé de l'huile de l'olive et d'eau de végétation contenu dans la chair de l'olive. La pâte sèche restante, appelé aussi les grignons, sont utilisés comme déchets pour un recyclage en compost.

#### **I.4.3.4 La centrifugeuse**

Le jus obtenu par la décantation suit son chemin dans un réservoir cylindrique vertical, appelé centrifugeuse. Dans cette dernière étape, l'huile est séparée de l'eau et des éléments solides restants grâce à la force centrifuge. L'huile et l'eau étant deux éléments.

Composés de molécules opposées leur mélange ne peut se faire, ces deux matières sont donc dissociées. Les corps les plus lourds tels que l'eau et les margines vont sur les rebords et les corps les plus légers telle que l'huile, quant à elle reste au centre. Deux sorties sont distinctes sur ce type de centrifugeuse, une pour l'eau et une autre où l'huile d'olive s'écoule.

L'or jaune est enfin obtenu après ces différentes étapes, cette huile d'olive vierge extra peut-être consommée.



*Figure 6: Image correspondre la graine d'Olive et le huile d'Olive (Site 6)*

## I.5 L'industrie de Pâte à tartiner

### I.5.1 Généralité sur la pâte à tartiner

Les pâtes à tartiner à base de cacao sont des dispersions de poudre de cacao et de particules de sucre en phase lipidique, avec une proportion considérable de la matière grasse solide. Elles ont des propriétés rhéologiques caractéristiques car elles sont considérées comme des aliments pseudo-plastique (**Patel, 2014**).

La pâte à tartiner est une dispersion de particules de cacao et de sucre dans un milieu continu d'huile qui sont structurées avec une proportion considérable de matières grasses solides. Du point de vue rhéologique, la pâte à tartiner se comporte comme un solide mou empêchant la sédimentation des particules dispersées ainsi que la séparation de l'huile liquide ("oiling out"). Cette structure lui confère une capacité de propagation (élasticité) sous la force appliquée. La viscoélasticité de la pâte à tartiner est obtenue en incorporant des quantités importantes (> 20% en poids) de graisses solides (huiles hydrogénées ou huiles naturelles avec des niveaux élevés d'acides gras saturés comme l'huile de palme). Cette viscoélasticité est attribuée à la cristallisation des graisses solides dans le milieu continu de l'huile (**Mc Guinness et al. 1995 ; Biehl et Ziegler, 2003 ; Patel, 2018**). De plus, un liant d'huile (triglycéride à haut point de fusion à base d'huile liquide hydrogénée) est incorporé dans la recette pour éviter le "huilage" aux températures de stockage. (**Patel, 2014**).

Les pâtes à tartiner à base de cacao sont très populaires en raison de leur goût et de leur haute valeur nutritionnelle et énergétique (**Macht et Dettmer, 2006**).



*Figure 7: Image correspondante la pate a tartiné(Site7)*

### I.5.2 Caractéristiques de la pâte à tartiner

La pâte à tartiner est un produit pseudo-plastique, prêt à l'emploi et à la consommation, qui peut être étalé sur une large gamme de température (de la température ambiante à la

température de réfrigération), elle ne doit pas se solidifier à température ambiante. Une pâte à tartiner idéale doit avoir une consistance légère et crémeuse, une structure lisse et homogène sans séparation de la phase grasse et une excellente stabilité à l'oxydation pendant toute sa durée de conservation de 6 à 12 mois (Arif et al. 2019 ; Guzmán et al. 2020).

### I.5.3 Composition de la pâte à tartiner

Les pâtes à tartiner sont des suspensions d'huile-solides, un mélange de graisses représente la phase huileuse, la phase dispersé étant généralement composé de sucre, de poudre de cacao, de lait, de lactosérum et de noisettes. Pour améliorer la viscosité de la pâte à tartiner, des émulsifiants sont utilisés dont les plus courant sont la lécithine et les mono et di-glycérides. Ils sont également ajoutés pour leur fonction à lier deux phases, une aqueuse et une huileuse, afin de former un mélange homogène (Racolta et al. 2014).

#### I.5.3.1 Poudre de cacao

Selon le codex alimentarius la poudre de cacao est le produit obtenu à la suite du dégraissage de la pâte ou de la liqueur de cacao par pression (y compris par torsion) et moulée sous forme de tourteau de cacao de pression. Ce dernier est désintégré et réduit en poudre.

La poudre de cacao est obtenu en broyant des fèves de cacao vannés (torréfiées, nettoyées et décortiquées) pour obtenir une pâte, appelée pâte de cacao ou liqueur de chocolat. Cette liqueur est ensuite passée dans une presse hydraulique où la température et la pression élevées se combinent pour entrainer l'expulsion du beurre de cacao (BC), le tourteau de presse dense qui reste contient une certaine quantité de BC résiduel et peut ensuite être broyé pour donner de la poudre de cacao (Hartel et al., 2018). Elle peut entrer, entre autres, dans les préparations des pâtisseries, du chocolat et des boissons chocolatées (APME, 2018).

L'alcalinisation du cacao est une étape supplémentaire de la chaîne de production du cacao, dans laquelle le matériau est traité avec une solution alcaline, la pression et la température à l'intérieur de récipients fermés sous pression. Ce traitement vise à assombrir la couleur du cacao, à augmenter la solubilité de la poudre et à réduire à la fois l'astringence et l'amertume de la matière naturelle (De Zaan cocoa, 2006 cité in Valverde et al. 2020).

La poudre de cacao naturelle non sucrée est une poudre pulvérisée de haute qualité composée de blocs solides comprimés qui reste après l'extraction et le retrait du beurre de cacao (Allotey-Babington et al. 2019). La poudre de cacao de transformation naturelle (qui est une expression courante pour la poudre de cacao qui n'est pas traitée avec un alcali) est caractérisée par un goût nettement aigre et astringent et une couleur claire, mieux décrite comme étant de couleur havane à brun clair (Kattenberg, 1988).

### b-Poudre de lait écrémé

Le lait écrémé en poudre peut porter la désignation «lait maigre en poudre» (**Codex alimentarius, 1999**).

Le lait en poudre ou lait sec, désigné réglementairement sous le terme de « lait totalement déshydraté » est le produit solide obtenu directement par l'élimination de l'eau du lait totalement ou partiellement écrémé, de la crème ou, d'un mélange de ces produits, et dont la teneur en eau est au plus égale à 5% en poids du produit fini (**Arie et al., 2012 cité in Taleb, 2017**).

Le lait écrémé en poudre peut être stocké pendant environ 18 à 24 mois sans détérioration %considérable à température ambiante (**Er et al. 2019**).

Le tableau II montre la composition de la poudre de lait écrémé

**Tableau 2: composition de la poudre de lait écrémé (Codex alimentarius, 1999).**

Compositions	Teneur
Matière grasse	Max 1.5% m/m
L'eau	Max 5% m/m
Les protéines de lait	Max 34% m/m
Le lactose	50%
Les minéraux	6%

### I.5.3.2 Sucre

Le saccharose, également appelé sucre de table, est un disaccharide composé d'une molécule du glucose et une molécule du fructose, dont le nom normalisé est  $\alpha$ -Dglucopyranosyl-(1 $\leftrightarrow$ 2)- $\beta$ -D-fructofuranoside. Sa formule brute est C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>. C'est un sucre non réducteur. Généralement obtenue à partir de la canne à sucre (environ 70%) ou de la betterave sucrière (30%) et raffiné en un produit final cristallin blanc (**Kent, 2012 ; Jarozs et al. 2020**).

Selon le **Codex alimentarius** les sucre blanc est un saccharose purifié et cristallisé avec une polarisation de 99,7°Z au moins. Le sucre doit être exempt de métaux lourds à des concentrations qui peuvent constituer un risque pour la santé humaine. En plus de cette caractéristique, le sucre présente des propriétés de qualité additionnelles qui sont mentionnées dans le tableau III :

*Tableau 3: facteurs additionnels de composition et de qualité de sucre blanc (Codex alimentarius, 1999).*

Facteurs de composition et de qualité	Les teneurs (% m/m)
Cendres sulfates	S/O
Cendre conductimétries	< 0.04
Teneur en sucre inverti	< 0.04
Teneur en saccharose en plus sucre Inverti	S/O
Perte à la dessiccation	<0.01*
Teneur en amidon	< 60
Ph	S/O

#### **S/O : Sans Objet**

S'applique pas au sucre blanc en pain ou en morceaux ou au sucre candi cristallisé (korizato cristallisé) ou au "rock-sugar".

Le sucre blanc cristallisé est le plus pur, puisqu'il est constitué à 99,9 % de saccharose. Il est recueilli dans les turbines après concentration sous vide et cristallisation des sirops, au stade final de l'extraction en sucrerie. Il se présente sous la forme de cristaux plus ou moins gros (Arzate, 2005 cités in Assiou et Bouzanboua, 2012).

Le sucre granulé est un autre nom pour les cristaux de sucre blanc du processus de purification. Ce sucre pur est naturellement blanc aucun agent de blanchiment n'est ajouté pendant le processus de purification (Kelly et Mak, 1975 cité in Ben Amar et Zerroud, 2016).

Les sucres ne sont pas seulement sucrés, ils présentent également des propriétés nombreuses et diverses qui sont spécifiques aux différents produits alimentaires. Ils apportent texture, sensation en bouche, volume, couleur, saveur, conservation et pouvoir humectant. Ils interagissent également avec les autres ingrédients présents pour donner par exemple de la couleur et de la saveur lors de la transformation (M.cooper, 2017 ; Zaitoun et al. 2018).

#### **I.5.3.3 Matière grasse**

Les matières grasses, ou lipides, sont définies comme une famille de biomolécules qui sont insolubles dans l'eau et solubles dans des solvants organiques comme l'alcool. Ces dernières peuvent conférer des saveurs uniques, elles aident à stabiliser les saveurs mais contribuent aussi à les libérer (Gélinas, 2006). Les lipides sont constitués principalement des triglycérides, ces derniers résultent de l'estérification d'une molécule de glycérol par trois

molécules d'acides gras (AG). Si les trois acides gras sont identiques, le triglycéride formé est homogène. Les triglycérides hétérogènes contiennent des acides gras différents (**Garrett, 2000 cités in Benseghier et Khamed, 2014**).

Les lipides peuvent se présenter sous deux formes : les huiles et les graisses. Ils sont subdivisés en fonction de leur origine en trois grandes classes : d'origine végétale (sont issus des graines oléagineuses ou de fruits oléagineux), d'origine animal (tissus adipeux des animaux) et les graisses élaborées (beurre et margarine) (**Graille, 2003 et Campbell, 2005 cité in Ougergouz et Yekken, 2018**). On différencie entre les huiles et les graisses par leur point de fusion (**Djaouadi, 2016**).

- **La graisse** : est plus ou moins solide à 15°C.

- **L'huile végétale** : c'est une matière grasse, onctueuse et épaisse, souvent liquide à température ambiante 15°C et qui est insoluble dans l'eau. Les huiles les plus importantes de nos jours sont les huiles de soja, colza, olive. (**Boutayeb, 2013**).

L'huile de soja est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée de haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras poly insaturés (AGPI) et notamment acides gras essentiels (AGE), tel l'acide  $\alpha$ -linoléique (**Cossut et al. 2002 cité in Bouhadad et Imrahene, 2018**).

#### **I.5.3.4 Arôme artificiel de noisette**

Un arôme est un produit ou une substance destiné à être ajouté à des denrées alimentaires, dans le but de conférer une odeur et/ou un goût. Cette substance d'addition vise donc à créer des sensations olfactives et gustatives chez l'individu en restaurant une note aromatique ou bien en conférant à une denrée qui n'en a pas particulièrement au départ (**Hane et al. 2013**).

Les arômes artificiels sont des substances aromatisantes fabriquées par voie de synthèse et qui n'existent pas dans la nature. Les scientifiques ont donc identifiés des molécules intéressantes d'un point de vue aromatique : pour renforcer et améliorer le goût des arômes. Les aromaticiens cherchent à reproduire les molécules de synthèse les plus rentables. Ces arômes artificiels sont considérés comme des additifs, à la différence des arômes naturels ou de leurs copies de synthèse (**site8, 2010**).

#### **I.5.3.5 Additifs alimentaires**

Selon le Codex Alimentarius un additif alimentaire c'est toute substance qui n'est pas normalement consommée en tant que denrée alimentaire, ni utilisée normalement comme ingrédient caractéristique d'une denrée alimentaire, qu'elle ait ou non une valeur nutritive, et dont l'addition intentionnelle à une denrée alimentaire dans un but technologique (y compris

organoleptique) à une étape quelconque de la fabrication, de la transformation, de la préparation, du traitement, du conditionnement, de l'emballage, du transport ou de l'entreposage de ladite denrée entraîne, ou peut, selon toute vraisemblance, entraîner (directement ou indirectement) son incorporation ou celle de ses dérivés dans cette denrée ou en affecter d'une autre façon les caractéristiques. Cette expression ne s'applique ni aux contaminants, ni aux substances ajoutées aux denrées alimentaires pour en préserver ou en améliorer les propriétés nutritionnelles.

## II.1 Généralité sur la rhéologie

Le mot rhéologie inventé par Bingham en 1929 à partir du verbe grec « rheo » coulé et de « logos » étude, qui est l'étude des écoulements et des déformations. Devant l'impuissance de la théorie de l'élasticité et de la mécanique des fluides (théories élaborées au 19<sup>e</sup> siècle) à décrire et à expliquer les propriétés de matériaux aux comportements mal définis et intermédiaires entre celui du solide élastique parfait (ou les contraintes sont proportionnelles aux déformations) et celui du fluide newtonien (ou les contraintes sont proportionnelles aux vitesses de déformation), il est apparu nécessaire d'élaborer cette nouvelle discipline. Les études expérimentales s'attachent à mesurer les propriétés de l'écoulement des matériaux tandis que les approches théoriques cherchent les équations constitutives reliant contraintes et déformations (Ziane, A. 2015).

## II.2 Définition de la Rhéologie

La rhéologie est la branche de la mécanique des fluides qui étudie les rapports entre la viscosité, la plasticité et l'élasticité de la matière, ainsi que le comportement de celle-ci sous l'influence des pressions.

La rhéologie est la science qui étudie les déformations et l'écoulement de la matière. Elle a pour objet d'analyser les comportements mécaniques des substances et d'établir leurs lois de comportement. (Ziane, A. 2015).

Les sciences alimentaires font appel à la rhéologie pour déterminer la consistance des différents produits. Elle comprend principalement deux composantes : l'élasticité (la souplesse, la rigidité) et la viscosité (Vignola, 2002).

## II.3 Composantes de rhéologie

Le terme consistance, comprend la dureté, viscosité, plasticité, élasticité, extensibilité, résistance au brisement, etc. C'est aussi l'ensemble des sensations résultantes de la stimulation des récepteurs mécaniques et tactiles, situés essentiellement dans la cavité buccale et qui varient en fonction de la texture du produit (Beau, 1950 et Bourne, 2002).

### II.3.1 Élasticité

Tendance d'un corps à reprendre la forme et les dimensions qu'il avait avant d'être soumis à une contrainte, lorsqu'on supprime cette contrainte (Persoz B. 1969).

### II.3.2 La viscosité

Pour aborder l'étude de la viscosité, nous commençons par le rappel de quelques définitions utiles dans ce travail. La viscosité est la propriété que possède une substance fluide pour absorber une contrainte au cours d'une déformation qui est fonction de la vitesse de

déformation. De la même façon, la contrainte peut être considérée comme la cause qui détermine une vitesse de déformation.

La force de cisaillement  $t$  et la vitesse de cisaillement  $D$  sont reliées par l'équation :

$$t = \eta \cdot D$$

Où  $\eta$  est la viscosité dynamique. Pour les liquides Newtoniens, la viscosité est constante pour toutes les vitesses de cisaillement et ne dépend que de la pression et de la température. Pour les liquides non-Newtoniens, la viscosité varie avec la vitesse de cisaillement. Si la viscosité est mesurée avec des viscosimètres capillaires, sans appliquer de pression, la quantité mesurée obtenue est le rapport viscosité dynamique sur densité, appelé viscosité cinématique  $V$ .

**Eyring et Hirschfelder** définissent la viscosité comme étant la tendance des molécules du fluide à se coller les unes aux autres. De ce fait la viscosité est une propriété qui est directement reliée à la forme et aux dimensions des particules contenues dans la solution. Elle dépend de plusieurs paramètres tels que la température, la pression, le temps et le gradient de vitesse de l'écoulement.

La viscosité d'un liquide ( $\eta$ ) est, par définition, proportionnelle au produit du temps d'écoulement ( $t$ ) d'un volume caractéristique par sa densité ( $\rho$ ) :

$$\eta \sim \rho \cdot t$$

Le cas de figure le plus simple est décrit par la loi de Newton qui identifie la viscosité à la pente de la droite représentant la variation de la contrainte de cisaillement ( $\sigma$ ) en fonction de la vitesse de cisaillement ( $\gamma$ ) :

$$\sigma = \eta \cdot \gamma$$

Un tel liquide est appelé Newtonien, et sa viscosité est indépendante de la vitesse de cisaillement.

### II.3.2.1 Objectif de la mesure de la viscosité

La raison fréquente justifiant des mesures de propriétés rhéologiques peut être trouvée dans le contrôle de qualité des produits liquides qui se doivent d'être uniformes et cohérents d'un lot à un autre. Pour cela, la mesure de la viscosité s'avère être une mesure indirecte du niveau d'homogénéité et de la qualité du produit (**ADDIL, 1993**), car elle conditionne l'écoulement des fluides dans la canalisation et le long des parois. Elle permet de mesurer directement ou indirectement certaines caractéristiques des produits (texture...etc.), Elle conditionne le bon fonctionnement des processus (**GACEM S et OULD BEZIOU M, 2019**)

### II.3.2.2 Différents types de Viscosité

#### A- La Viscosité Dynamique

La viscosité dynamique  $\eta$  est le rapport des contraintes internes aux gradients de vitesse. Il s'agit de la résistance interne d'un fluide par rapport à son écoulement. Elle exprime donc l'intensité des contraintes mises en jeu lorsqu'on cisaille un fluide l'unité pour la viscosité dynamique dans le système international est le « Pascal-seconde » (Pa.s). Fréquemment, on utilise aussi l'unité « milli Pascal-seconde » (mPa.s). D'anciennes unités sont toujours plus ou moins utilisées, comme le poiseuille (Pl) (1 Pl = 1 Pa.s) ou bien le poise (Po) (1 Po = 0.1 Pl = 0.1 Pa.s)

Le terme de viscosité dynamique a la même signification que le mot viscosité absolue, viscosité de cisaillement ou viscosité tout simplement. Un avantage important de la viscosité absolue est que les résultats de la mesure ne dépendent pas des particularités du viscosimètre utilisé. On peut ainsi comparer les données des différentes techniques. Les fluides dits Newtoniens ont une viscosité dynamique constante indépendante du gradient de vitesse.

#### B- La Viscosité Cinématique

La viscosité cinématique notée  $\nu$  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. Elle est donnée en  $\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$ .

La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique  $\eta$  par la masse volumique du fluide  $\rho$ , soit :  $\nu = \eta / \rho$

Elle est exprimée en stokes (St), mais dans la pratique, c'est le centistokes (cSt) qui est le plus souvent utilisé (1 cSt = 1  $\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$ ). (Messaâdi A, 2011)

### II.3.2.3 Facteurs Affectant la Viscosité

**A- La Température :** La température est sans doute le facteur le plus influent, à toucher le comportement rhéologique. L'effet de la température sur la viscosité est essentiel, notamment sur des fluides Une élévation de la température du fluide de 1°C peut varier jusqu'à 10% de la valeur de la viscosité. (Ayouaz et Benmamas , 2017)

**B- Conditions de Mesure :** Les conditions de mesure pendant la détermination de la viscosité peuvent avoir un effet considérable sur les résultats de cette mesure. Par conséquent, il est important de contrôler l'environnement ainsi que les conditions des échantillons à analyser. Certaines variables à l'instar le type de viscosimètre, la combinaison mobile/vitesse, le moyen de mesure (bécher), l'absence ou la présence de protecteur des mobiles, la température de l'échantillon, les techniques de préparation...etc. peuvent affecter non seulement la précision

de la lecture, mais également la valeur finale de la viscosité (GACEM S et OULD BEZIOU Me ,2019).

### C- Gradient de Vitesse et Force de Cisaillement

Le fluide est soumis à une certaine force de cisaillement, il peut en être affecté et le gradient de vitesse décrira ce phénomène. Il faut donc connaître sa viscosité aux forces de cisaillement appliquées (GACEM S et OULD BEZIOU Me ,2019).

### D- Historique de l'Echantillon

L'historique de l'échantillon avant la détermination de la viscosité peut toucher la signification des résultats, tout particulièrement les fluides sensibles à la chaleur ou au temps qui passe. (Ayouaz et Benmamas , 2017)

## II.4 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.4.1 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). .

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

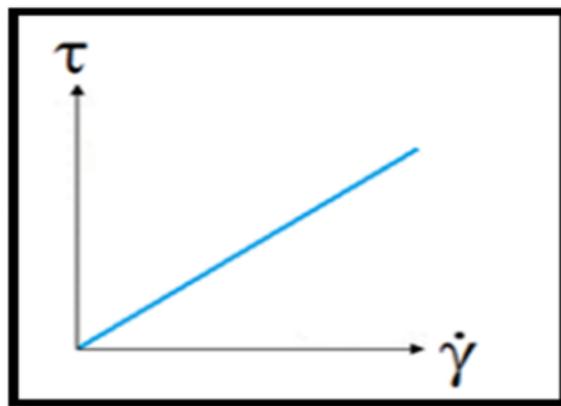


Figure 8: Courbe d'écoulement d'un fluide newtonien (site 9)

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

$$\tau = \eta \gamma$$

$\tau$  est la contrainte de cisaillement, en (Pa)  $\eta$  est la viscosité de l'échantillon, en (Pa.s)  $\gamma$  est le gradient de cisaillement, en (s<sup>-1</sup>).

Cette loi représentation graphique donne la courbe d'écoulement (**Figure 5**).

Le rhéogramme  $\tau = (\gamma)$  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  $\gamma$  par rapport à 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.4.2 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 (Figure 6). 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**).

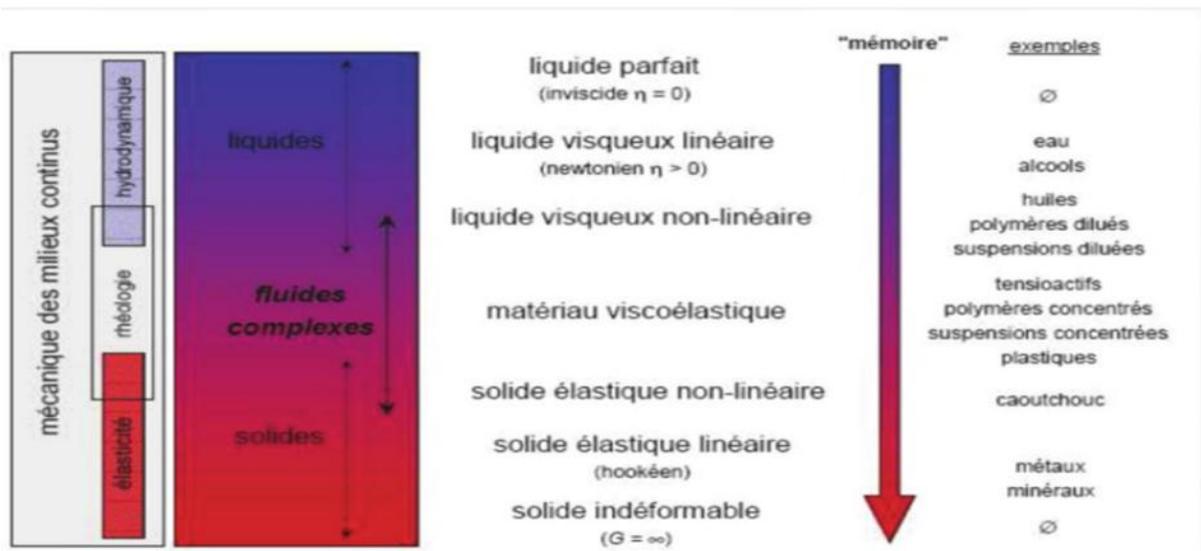


Figure 9: Classification des fluides complexes (site 10)

## II.5 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**).

$$Re = \rho \cdot V_m \cdot D / \eta$$

$V_m$  : la vitesse circulaire moyenne.

$D$  : le diamètre du tuyau, en (m)

$\rho$  : la masse volumique du liquide,

$\eta$  : 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),

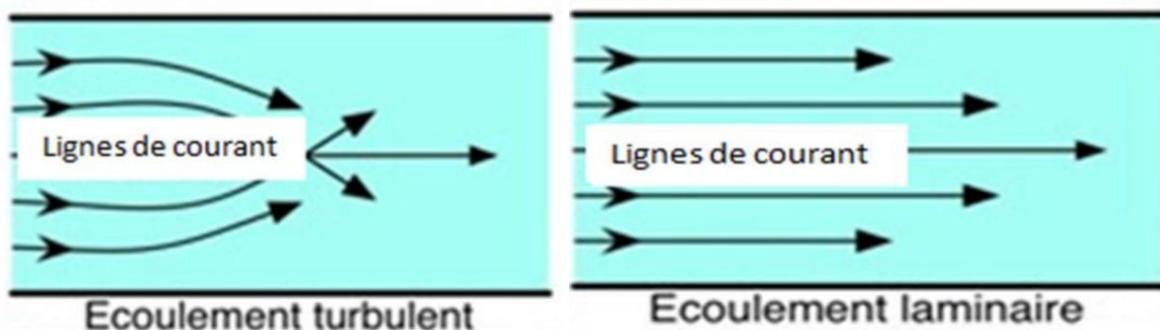
C'est à dire qu'il peut être aussi-bien laminaire que turbulent, en fonction des conditions extérieures (**Larbi, Eldjilani 2022**).

### II.5.1 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.

### II.5.2 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, (**Larbi Y, Eldjilani R, 2022.**)



*Figure 10: Représente l'écoulement laminaire et turbulent (site 11)*

## II.6 Méthode de Mesure de Viscosité

### II.6.1 Rhéomètre

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. (Larbi, Y. Eldjilani, R (2022))

#### II.6.1.1 Typologie de quelque rhéomètre

##### 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 11: Rhéomètre Rotatif HAAKE (Site 12)

### 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  $\theta$  (**Figure 9**) il est fixé sur la partie tournante rhéomètre, le rendant relatif à Son axe a une vitesse angulaire constante  $\Omega$ . L'angle  $\theta$  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  $\Omega$  (**Figure 9**). Cette géométrie est plus adaptée pause.

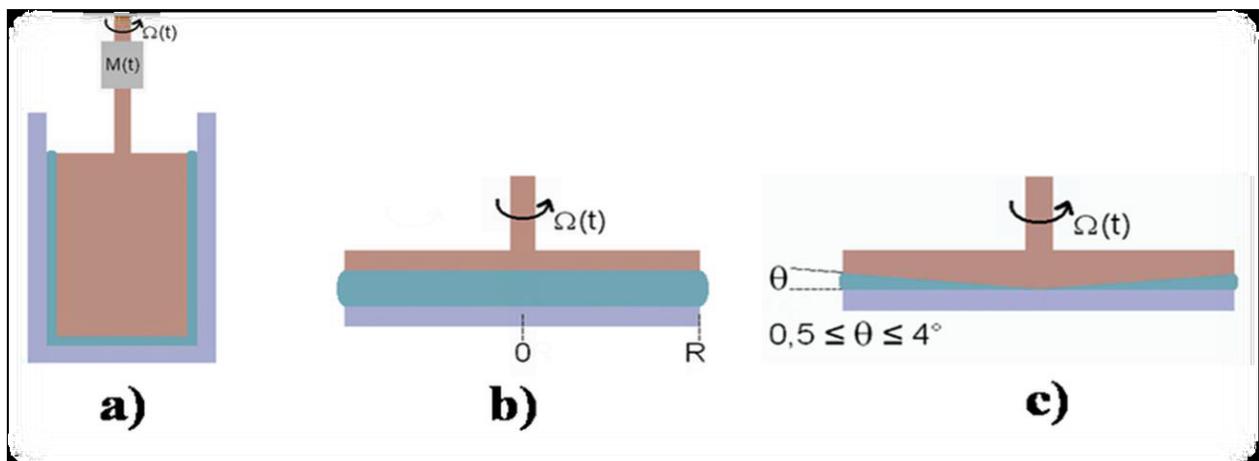


Figure 12: Géométries de rhéomètres : a) Couette, b) plan-plan, c) cône-plan

## II.6.2 Viscosimètre

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

### II.6.2.1 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 (Larbi, Y., Eldjilani, R (2022))

#### II.6.2.1.1 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 13: Viscosimètre Rotatif byko-visc séries (Site 14)*

#### II.6.2.1.2 Viscosimètre à Chut de 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 14: viscosimètre à chute de bille (site 16).*

*Partí pratique*

## I.1 Partie Expérimentale

Cette partie fut la plus importante, car on a pu préparer des différents produits (mayonnaise, chocolat à tartine, miel de sucre) de manière artisanale. Ensuite on a mesuré la viscosité de chaque produit par trois méthodes différentes dans trois laboratoires différents. Par la suite on a effectué une étude détaillée sur les produits préparés, en utilisant un matériel spécial pour ce genre d'expérience. Enfin on a fait une petite comparaison entre nos produits et ceux de la commercialisation. Nos expériences ont été effectuées au niveau de :

- Laboratoire de l'Unité de Recherche Scientifique, Université de M'Hamed Bougara-Boumerdes concernant la méthode de *Rhéomètre*.
- Laboratoire de biophysique de l'Institut de Technologie, Université Mohand Oulhadj, Bouira pour la méthode de *Viscosimètre rotatif*.
- Laboratoire eau et sol, Faculté de Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohand Oulhadj, Bouira pour la méthode *chute de bille*.

### I.1.1 Objectifs de l'étude

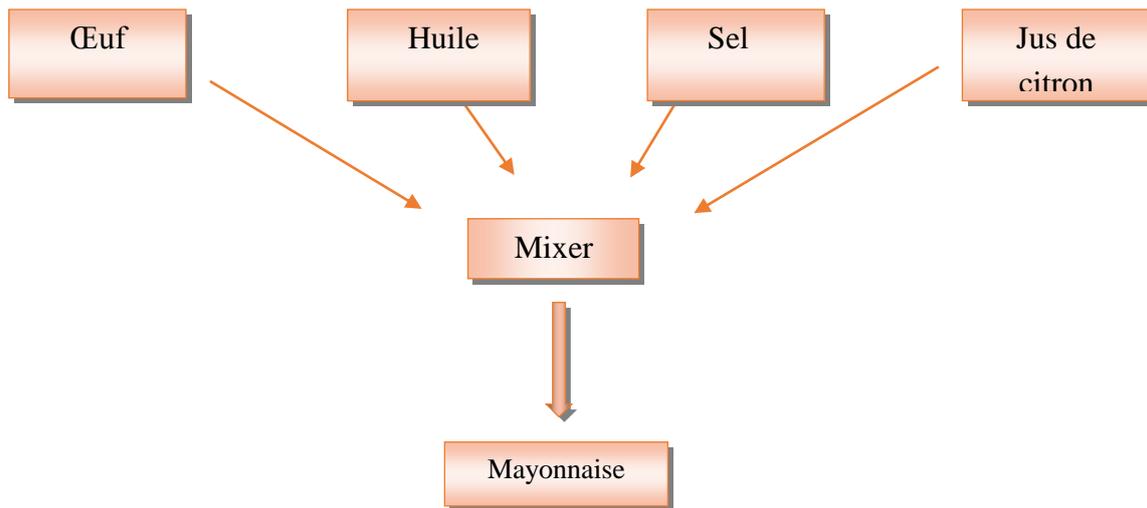
Le but de ce projet est de déterminer la viscosité de chaque produit préparé artisanalement par les méthodes de Viscosimètre rotatif et Rhéomètre dites méthode directes. Et chute de bille dit méthode indirecte basée sur le principe de Stock. Un autre objectif est de comparer les résultats de ces trois méthodes et savoir la quelle est la plus efficace pour faire une mesure de viscosité correcte. En plus faire une comparaison entre les deux enchantions artisanal et commercial. Et enfin déterminer les paramètres influençant sur la viscosité des produits préparés artisanalement.

### I.1.2 Préparation des échantillons

Les trois échantillons ont été préparés d'une manière artisanale un jour avant de faire l'étude pour éviter l'influence de facteurs externes, comme la température, l'air et la lumière. D'autre part si on laisse les échantillons plus de temps ça risque de changer leurs propriétés physico-chimiques.

#### I.1.2.1 Préparation de Mayonnaise

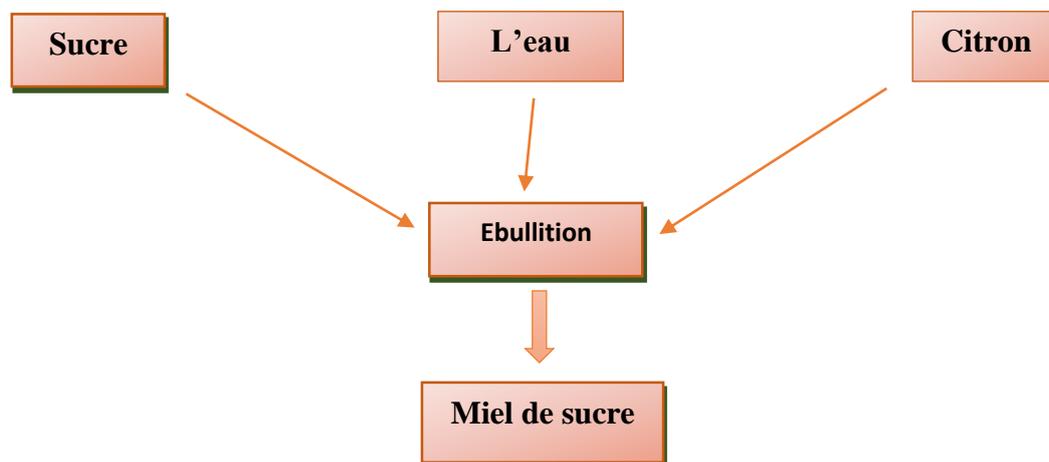
Le principe consiste à préparer la mayonnaise de manière traditionnelle, cette méthode est la plus simple, (la figure 14) nous a permis de suivre cette préparation étape par étape. Dans un récipient, on met un mélange de un œuf entier plus un volume de l'huile végétale (trois fois le volume de l'œuf), ensuite on ajoute du sel (au besoin), et enfin une cuillère à soupe du jus de citron ou du vinaigre, on mixe le mélange par un bras mixeur jusqu'à ce qu'il devient homogène, blanc et crémeux. Et de cette façon on obtient de la mayonnaise traditionnelle.



*Figure 15: Schéma de la préparation traditionnelle de la mayonnaise.*

### I.1.2.2 Préparation du Miel de Sucre

Le plan de préparation consiste à mettre dans un récipient une masse bien définie de sucre cristallisé, laisser fondre le sucre à petit feu, jusqu'à ce qu'il se transforme en caramel. Une fois le sucre devient marron on ajoute un volume d'eau aussi bien défini, ensuite on ajoute un morceau de citron pour éviter la cristallisation du produit, on laisse bouillir le mélange pendant 20 minutes et enfin le miel de sucre est prêt. Les étapes de préparation sont présentées sur la figure.15.



*Figure 16: Schéma de préparation traditionnelle de miel de sucre*

### I.1.2.3 Préparation de Pâte à Tartiner

La figure.16 nous montre les étapes à suivre pour préparer une recette traditionnelle simple de pâte à tartiner. On commence à mettre dans un récipient un verre de sucre cristallisé, on mesure

avec le même verre la poudre de cacao, plus un verre de lait liquide. On mélange bien les ingrédients avec un mixeur pendant environ 10 minutes, puis on ajoute un verre d'huile végétale progressivement jusqu'à ce que le mélange devienne crémeux. Et enfin on obtient notre pâte à tartiner traditionnelle.

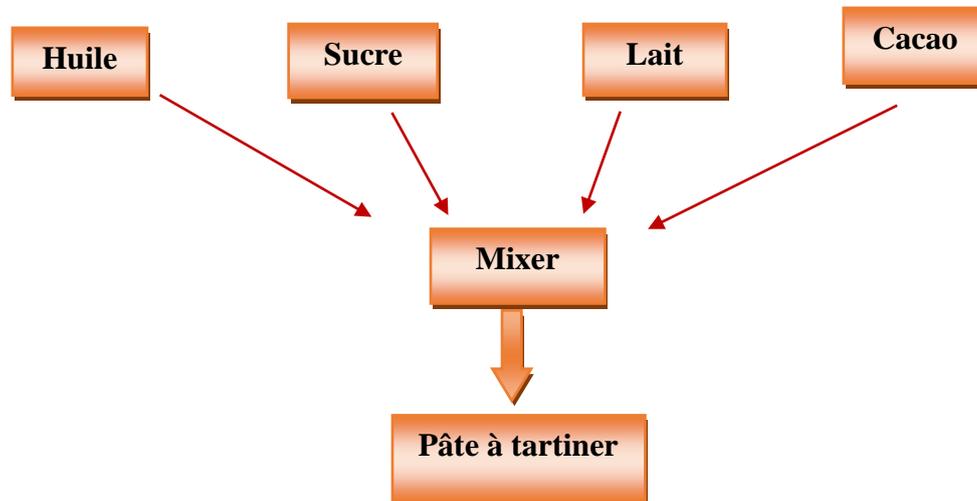


Figure 17: Schéma de préparation traditionnelle de la pâte à tartiné

### I.1.3 Techniques de Mesure de la Viscosité

#### I.1.3.1 Méthode de Rhéomètre (VT550)

##### ▪ Principe de fonctionnement

Le principe consiste à utiliser un appareil rotatif dite Rhéomètre, pour mesurer les propriétés rhéologiques c'est-à-dire étudier la texture ou l'écoulement et la déformation du liquide dans des conditions variées contrairement au viscosimètre. La résistance du liquide à une vitesse appliquée est mesurée par la déviation du faisceau. Touchez librement le transpondeur (jusqu'à 1 degré) puis on le fait pivoter pour éliminer le bourrage, Vitesse, moment, taux de cisaillement, contrainte de cisaillement, viscosité, etc...

La température et les valeurs de temps sont affichées numériquement et envoyées à une imprimante connectée via RS232. La substance à mesurer doit se trouver dans la plage de mesure du système de capteur. Le rotor tourne suit la valeur de la vitesse est signalée au programme (n tr/min). On voulait mesurer la viscosité cinématique des produits qu'on a préparé, cette viscosité qui s'oppose à la résistance au mouvement de rotation (viscosité) est similaire au moment de torsion (Md) appliqué à l'axe de rotation du Viscosimètre. De moment que l'appareil de mesure est connecté à l'ordinateur, alors les valeurs mesurées des paramètres sont déterminés via un logiciel de calcul. Ces paramètres sont :

- ✓ Viscosité  $\eta$  en milli pascal seconde (mPa.s)

- ✓ Taux de Cisaillement en  $1/s$  ( $s^{-1}$ )
- ✓ Contrainte de Cisaillement  $\tau$  en Pascale (pa). [Khaleufi N. 2016]
- **Mode Opérateur**

Dans cette méthode, on a mesuré la viscosité en utilisant le rhéomètre en plusieurs étapes, Le rhéomètre est connecté à un ordinateur et à un thermomètre automatique (chauffage automatique des échantillons)

✓ Le choix de la géométrie approprié en fonction de la nature du matériau (solide, liquide, poudre...) et en l'installant à sa place.

✓ Régler les informations nécessaires sur l'écran de l'ordinateur comme l'indique la figure 17 (réglage de la température et du nombre de cycles...)



**Figure 18: Présentation du matériel utilisé dans l'expérience : (a) Le rhéomètre plus un thermomètre, (b) Le géomètre cône-plan (VT550), (c) Le logiciel utilisé pour les calculs.**

On pose une goutte de l'échantillon à mesurer sur la surface et on laisse agir comme le montre la figure 18, on fait démarrer le Rhéomètre et commence la mesure de la viscosité du produit.

Les résultats sont donnés sous forme de différentes courbes de viscosité en fonction d'écoulement de liquide.



**Figure 19: Fonctionnement de Rhéomètre (VT550) et mesure de la viscosité de l'échantillon.**

On a fait la même manipulation avec tous les échantillons à différentes températures (température ambiante  $28^{\circ}\text{C}$  et  $40^{\circ}\text{C}$ ). Les échantillons sont chauffés automatiquement, et la température est surveillée à l'aide d'un thermomètre relié à l'appareil. Au cours de mesure on a été obligé d'éliminer certains échantillons à  $40^{\circ}\text{C}$ , en raison des effets négatifs qui reviennent à l'échantillon (pour éviter la destruction des propriétés organoleptiques et physiques).

### **I.1.3.2 Méthode de Viscosimètre Rotatif (NUMERIQUE).**

#### **▪ Principe de fonctionnement :**

Un viscosimètre rotatif peut être utilisé pour mesurer avec précision la viscosité des liquides. Cet appareil mesure la résistance mécanique d'un liquide contre le mouvement de rotation d'un cylindre. Les viscosimètres sont généralement livrés avec des tiges de différents types et vitesses, permettant une large gamme de mesures de viscosité. (**Site 18**).

Dans cette méthode, on a utilisé le viscosimètre rotatif numérique série (ATAGO), qui est un appareil facile à manipuler et qui donne des résultats exactes et directs en milli PascalSeconde. La vitesse utilisée est comprise entre 0,5 et 250 tr/min, le nombre de vitesses

est de 20. Il fonctionne à l'aide de trois sondes (A1, A2, A3) et trois béchers deux petits et un grand selon l'échantillon à étudier.

▪ **Matériel utilisant**

- ✓ Béchiers (Small + large)
- ✓ Thermomètre
- ✓ Plaque chauffante
- ✓ Spatule
- ✓ Les trois sondes (A1, A2 et A3)

▪ **Mode opératoire :**

On fixe le viscosimètre au support et on pousse l'appareil horizontalement avec les trois vis. La figure 19 nous montre bien comment marche l'appareil. Par la suite on sélectionne la sonde appropriée et on le fixe au viscosimètre.



**Figure 20: Présentation du matériel utilisé viscosimètre rotatif numérique (ATAGO), les béchers et les 3 sondes.**

Insérez et centrez la sonde sélectionnée dans le liquide à tester (à l'intérieur du bécher). On assure que la profondeur d'immersion correspond au haut de la sonde.



**Figure 21: Mesure de la viscosité des échantillons utilisés (mayonnaise, l'huile d'olive, miel de sucre et chocolat commerciales)**

Pour mesurer la viscosité, on a besoin de régler la vitesse de rotation de la sonde, puis on fait démarrer le moteur le laisser se stabiliser pendant quelques minutes (de 20 à 30 secondes). Ensuite on appuie sur le bouton en arrière de l'appareil pour lire la valeur du couple C sur le cadran (arrêtez le moteur, maintenir le bouton enfoncé c'est nécessaire pour une lecture précise). On fait arrêter le moteur, on change la sonde c'est nécessaire (liquide différent) et répéter l'expérience à différentes températures. Ensuite prélever la valeur de la viscosité mesurée sur l'afficheur comme l'indique (la figure a.21).



a

b

**Figure 22: Présentation du matériel : a) afficheur, b) plaque chauffante.**

**Note 1 :** On mesure la viscosité des échantillons à différentes températures (28C°, 40C°). Une fois chauffé à 40C°, on fait éloigner les échantillons (mayonnaise et miel) de la plaque chauffante (figure b.21) pour éviter la destruction de leurs propriétés physico-chimiques.

**Note 2:** On a eu des difficultés au cours de la mesure de la viscosité de chocolat commercial (témoin) à une température de 28C° à 40C° indiqué sur la figure 22, en raison de sa texture épaisse (l'incapacité de la tige à tourner et à enregistrer les résultats).



**Figure 23: Mesure de la viscosité de chocolat commerciale, et l'erreur mentionnée par l'afficheur.**

### I.1.3.3 Méthode de chute de bille (méthode de stock)

#### ▪ Principe de fonctionnement

Un viscosimètre à chute de bille basé sur le principe de mesure Hopper. Le concept de base consiste à mesurer le temps de chute d'une bille sous son propre poids dans un tube à angle variable rempli de l'échantillon à tester. On fait pivoter le tube de 180 degrés et commencer immédiatement un nouveau test. Trois mesures sont

effectuées pour déterminer le temps moyen de la chute de bille. Convertir le temps de mesure en viscosité en utilisant la formule de conversion. La plage de la mesure de viscosité est de 0,5 à 70 000 mPa.s. La précision est de (0,5 à 2,0)% selon la sélection de billes. On fait varier l'angle de tube de 50, 60, 70 et 80 degrés. Le temps de chute est de 30 à 300 secondes. Longueur du tube de mesure est de 100 mm, Capacité du tube échantillon est de 40ml. (site19).

Pour calculer la viscosité nous avons utilisé la loi suivante :

$$\eta = \frac{2[(\rho_{bille} - \rho_{liquide})]t}{9gr^2h} \quad (\text{II.1})$$

Où :

$\eta$  : le coefficient de viscosité dynamique du liquide en Pa.s.

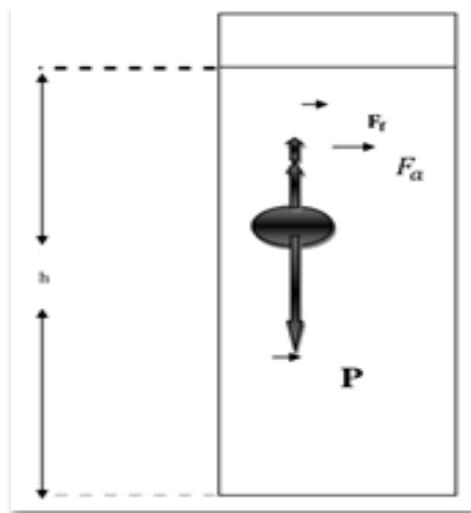
$h$  : La hauteur de la chute en m

$r$  : Le rayon de la bille en m.

$g$  : est l'accélération de la pesanteur en  $\text{m.s}^{-1}$ .

$\rho_{bille}$  : la masse volumique de bille en  $\text{kg.m}^{-3}$

$\rho_{liquide}$  : la masse volumique de liquide en  $\text{kg.m}^{-3}$



**Figure 24: les trois forces appliquées à la bille. [GACEM S, OULD BEZIOUM, 2019].**

Les trois forces appliquées à la bille, lors de la chute, sont les suivantes (voir la Figure 23).

- L'équation de la poussée d'Archimède :

$$|\vec{F}_a| = \frac{4\pi r^3 g \rho_{liquide}}{3} \quad (\text{II.2})$$

- L'équation de la force de viscosité (force de stocks) :

$$|\vec{F}_f| = 6\pi\eta r v \quad (\text{II.3})$$

- La formule de poids :

$$|\vec{P}| = \frac{4\pi r^3 g \rho_{bille}}{3} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$(\rho_{liquide})$  et  $(\rho_{bille})$  : sont les masses volumiques, respectivement du liquide et de la bille en Kg/m<sup>3</sup>.

$\eta$  : le coefficient de viscosité dynamique du liquide en Pa.s.

$h$  : La hauteur de chute en m.

$V$  : La vitesse de la bille en m/s.

$r$  : Le rayon de la bille en m.

$g$  : est l'accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>.

En appliquant le principe fondamental de la dynamique sur la bille, on aura :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{m d\vec{v}}{dt} \quad (\text{II.5})$$

$$\vec{F}_a + \vec{F}_f + \vec{P} = \frac{m d\vec{v}}{dt} \quad (\text{II.6})$$

Par projection on obtient :

$$\frac{4\pi r^3 g \rho_{liquide}}{3} + \frac{4\pi r^3 g \rho_{bille}}{3} + 6\pi \eta r v = \frac{m d\vec{v}}{dt} \quad (\text{II.7})$$

Au bout de quelque centimètre, le mouvement de la bille devient rectiligne uniforme, ce qui implique que  $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$  et l'équation (II.7) permet d'exprimer la viscosité dynamique par la formule :

$$\eta = \frac{2gr^2[(\rho_{bille} - \rho_{liquide})]t}{9V} \quad \text{ou} \quad = \frac{2gr^2[(\rho_{bille} - \rho_{liquide})]t}{9h} \quad (\text{II.8})$$

Pour déterminer la viscosité dynamique  $\eta$  expérimentalement il faut tout d'abord mesurer le temps  $t$  de la chute de bille d'une distance  $h$  et calculer la vitesse  $V = h/t$  et remplacer la valeur obtenue de  $V$  dans la relation (II.8) [Matthieu B, 2005].

- **Matériel et produits**

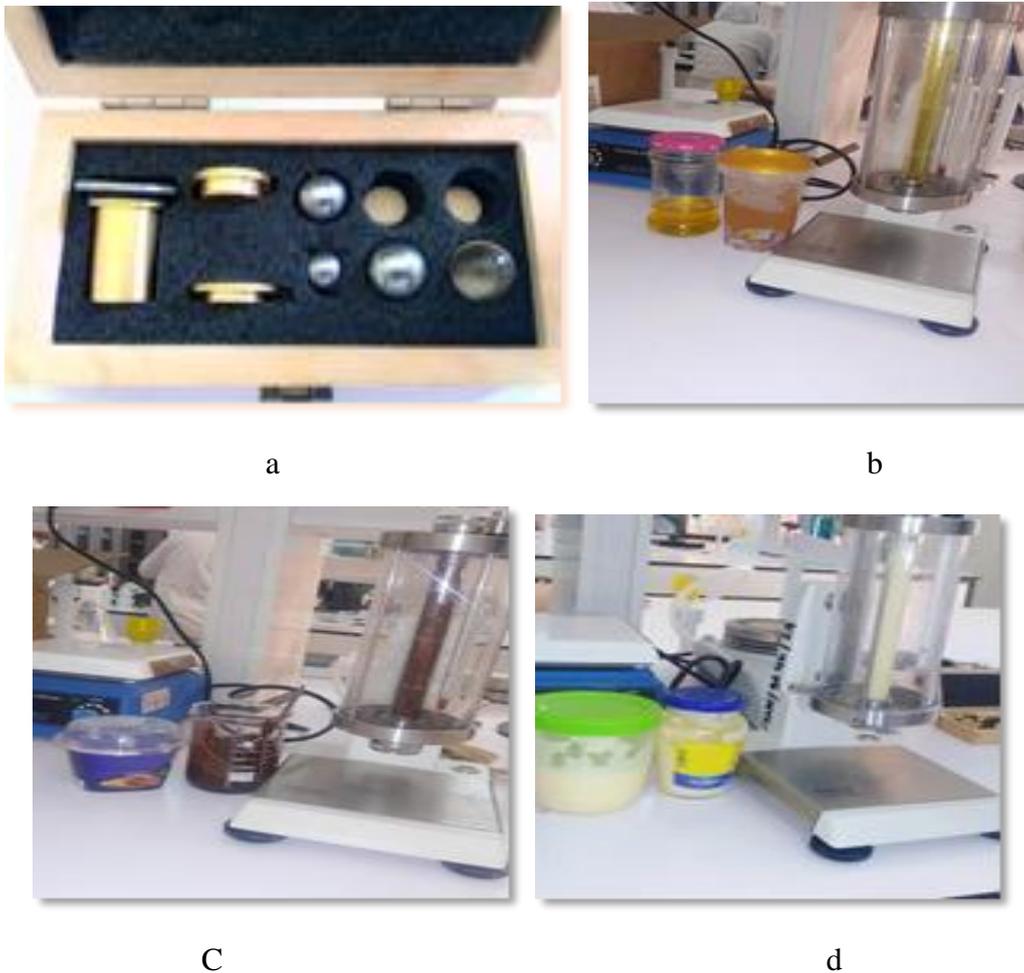
Le matériel et les produits utilisés dans cette méthode est présenté dans la (figure 24).

- ✓ Bicher 100ml
- ✓ Thermomètre
- ✓ Chronomètre
- ✓ Spatule
- ✓ Une règle
- ✓ Balance
- ✓ Les billes en fer

- ✓ Papier torchon
- ✓ L'eau de robinet
- ✓ Savon

- **Mode opératoire**

La première des choses est de faire le montage et l'installation de la machine. Ensuite on place les échantillons à étudiés (Huile, miel de sucre) à l'intérieur de l'appareil. On lance la bille en fer appropriée en fonction de la densité de l'échantillon, puis on lance le chronomètre après avoir lancé la bille, il faut qu'elle atteigne la première ligne de tube, on fait arrêter le chronomètre quand la bille atteint la deuxième ligne comme (la figure 24 b, c et d). On répète cette mesure trois ou quatre fois, puis on calcule le temps moyen de la chute de bille. Enfin, on pèse chaque échantillon à l'intérieur du tube et on calcule son volume pour calculer manuellement la viscosité.



**Figure 25:** Présentation des matériels et produits utilisés pour mesurer la viscosité : a) bille, b) miel et huile, c) chocolat et d) mayonnaise.

**Note :** Dans la méthode de chute de bille, on voit qu'il est impossible de mesurer la viscosité de la mayonnaise et le chocolat, car on est en présence de deux mélanges hétérogènes. Autrement dit, on ne peut voir la bille.

On répète la même manipulation maintenant à différentes températures (ambiante et 40 °C). Sauf pour l'huile d'olive et la mayonnaise, il faut faire éloigner ces produit juste la température attient 40 °C, pour éviter la détérioration de ces produits.

## II.1 Introduction

Ce chapitre se base sur la simulation des données expérimentales qu'on a pu obtenir avec le minimum de matériel et dans des conditions vraiment difficiles. Mais comme même on a pu préparer quelques produits traditionnellement, comme la mayonnaise, le miel et le chocolat. Dans cette partie de travail on va essayer de déterminer la viscosité de ces produits par les trois méthodes Rhéomètre, Viscosimètre rotatif et chute de bille, les calculs et les graphes ont été obtenus via l'ordinateur connecté aux rhéomètres pour la première méthode, la deuxième méthode on a récupéré les valeurs via un afficheur connecté à l'appareil. Par contre la troisième méthode celle de la chute de bille, les calculs ont été fait manuellement. On rappelle que ces méthodes ont été effectuées dans trois laboratoires différents déjà cités précédemment. Par la suite on va essayer de faire une petite étude sur les paramètres influençant sur la viscosité de ces produits.

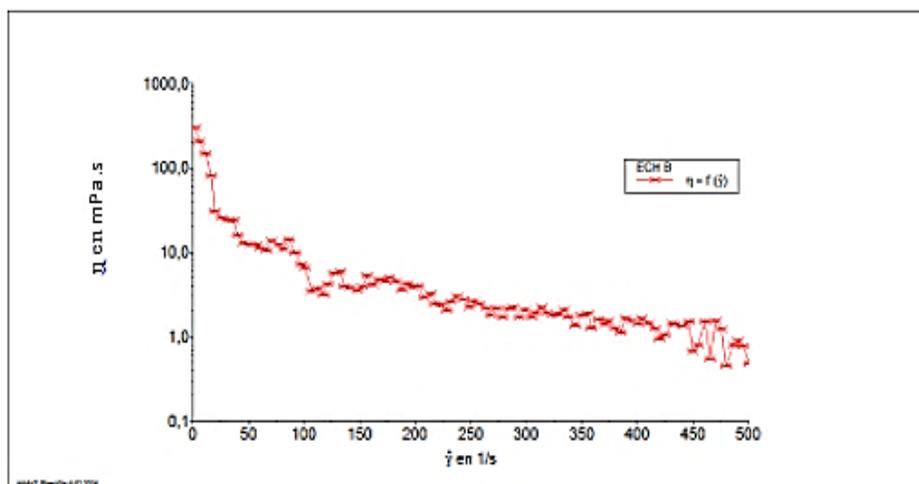
## II.2 Techniques et détail de calculs

### II.2.1 Méthode de Rhéomètre

Cette méthode consiste à étudier les propriétés rhéologiques entre texture, écoulement et déformation des liquides. Pour commencer on rappelle que la viscosité dépend fortement de la température, la pression et surtout la composition chimique de l'échantillon.

#### II.2.1.1 Viscosité de l'huile d'olive

La figure (26) nous montre que la viscosité de l'huile d'olive diminue fortement de (297,413mPa.s) jusqu'à (30,366 mPa.s). En se basant sur les valeurs numériques indiquées, on peut donc se rendre compte qu'à 20°C le taux de cisaillement est très élevé (100 1/s) et l'huile d'olive est très visqueuse que l'eau. On observe d'après la figure (26) que la viscosité continu à diminuer progressivement jusqu'à (3,223 mPa .s).



**Figure 26:** Variation de la viscosité d'huile d'olive en fonction de taux de cisailent à 20°C Viscosité de miel de sucre

La figure (a.27) représente le changement de la viscosité de miel de sucre (témoin+ artisanal) en fonction de taux de cisaillement à 20°C. A partir du graphe, on déduit que :

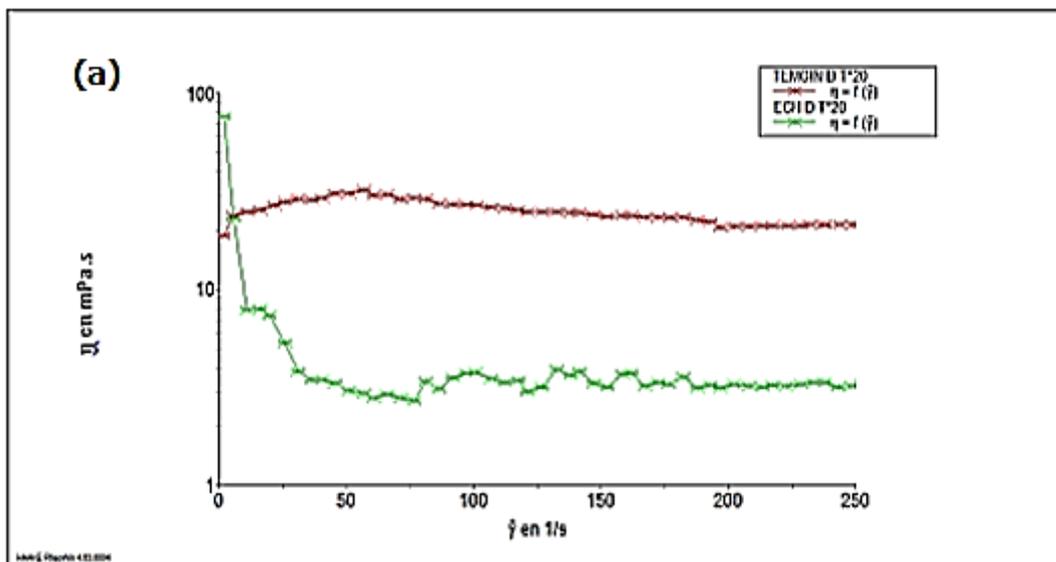
✓ La valeur de la viscosité de miel de sucre témoin a augmenté de (18,756mPa.s) quand le taux de cisaillement est nul en (32,289mPa.s) et diminué progressivement de (21,119mPa .s) en vitesse de taux de cisaillement (250 1/S).

✓ La valeur de la viscosité de miel de sucre artisanal est diminué rapidement de puis (75,916mPa.s) jusqu'à (20,936 mPa.s) dans (50 1/S) de taux de cisaillement et reste la diminution de la viscosité avec l'augmentation du taux de cisaillement.

La figure (b.27) représente les changements de la viscosité de deux échantillons de miel de sucre (témoin+ artisanal) en fonction de taux de cisaillement à température à 40°C. A partir du graphe on observe deux points :

✓ La valeur de viscosité de échantillonna de miel de sucre (artisanal) étudié diminue fortement dans la valeur (257,655 mPa.s) jusqu'à (64,803 mPa.s) quand le taux de cisaillement est (11,1162 1 /S).

✓ La valeur de la viscosité de miel de sucre (témoin) peu affecté au taux de cisaillement de puis la valeur de viscosité (10,535mPa.s) jusqu'à (5,615mPa.s) quand taux de cisaillement (66,0096 1 /s) .ensuite, la valeur de viscosité est fixée à cette valeur.



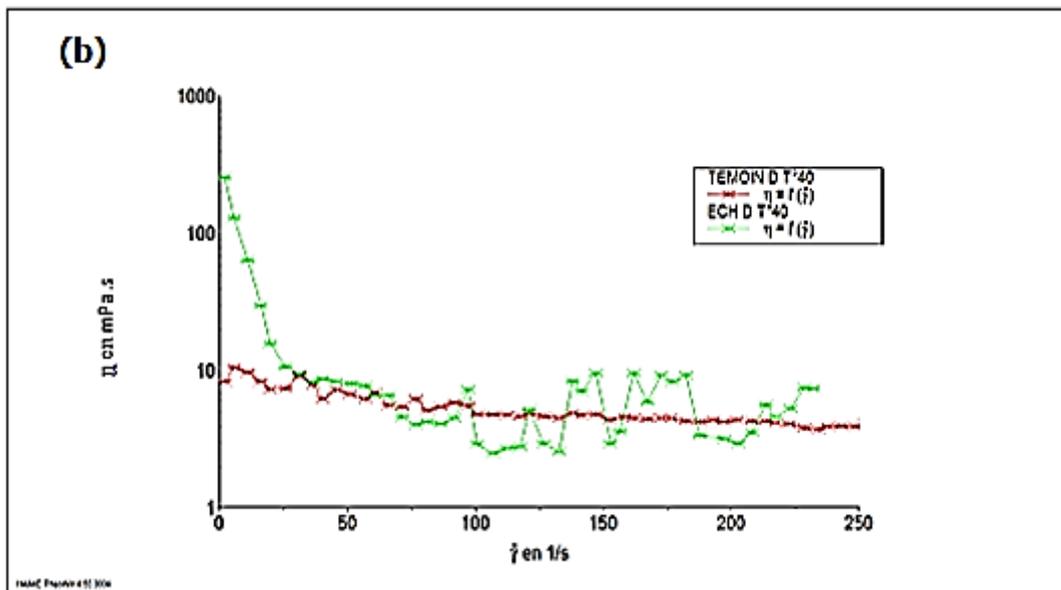


Figure 27: Variation de la viscosité de miel de sucre témoin + artisanal :

### II.2.1.2 Viscosité de mayonnaise

L'évolution des changements de la viscosité de deux échantillons de la mayonnaise (témoin+ artisanal) en fonction de taux de cisaillement à température ambiante (20C°).

A partir de la figure (28) on remarque une diminution rapide de valeur de viscosité pour les deux échantillons (témoin et artisanal) par rapport au taux de cisaillement, et on observe que :

\* La valeur de viscosité de mayonnaise artisanal diminué fortement (303,666mPa.S) jusqu'à (49,306mPa .s) quand le taux de cisaillement (11 ,116 1/s).

\* La valeur de viscosité de mayonnaise témoin (35,888mPa.s) jusqu'à (14,551mPa .s) quand le taux de cisaillement (1,006 1/s).

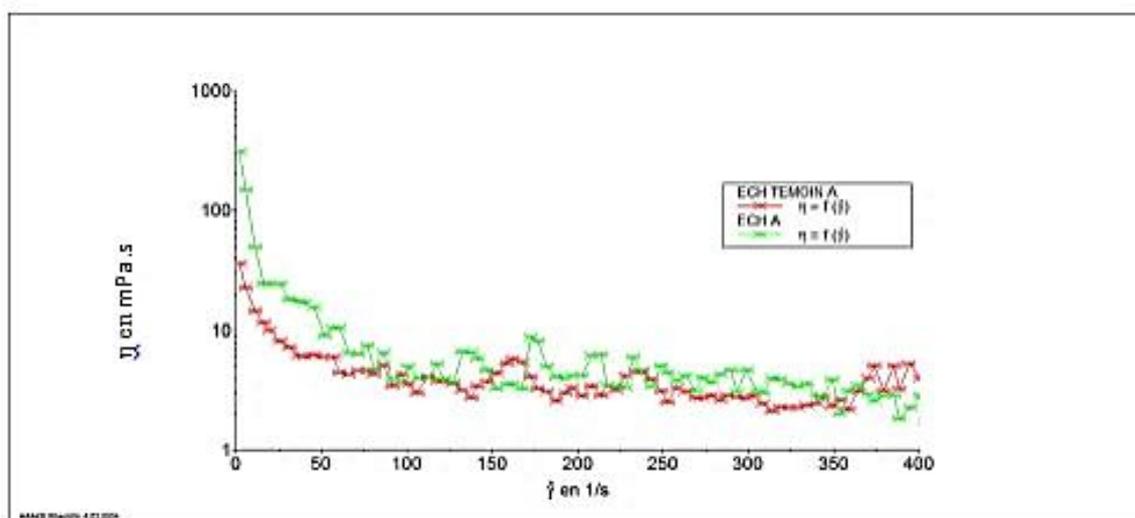


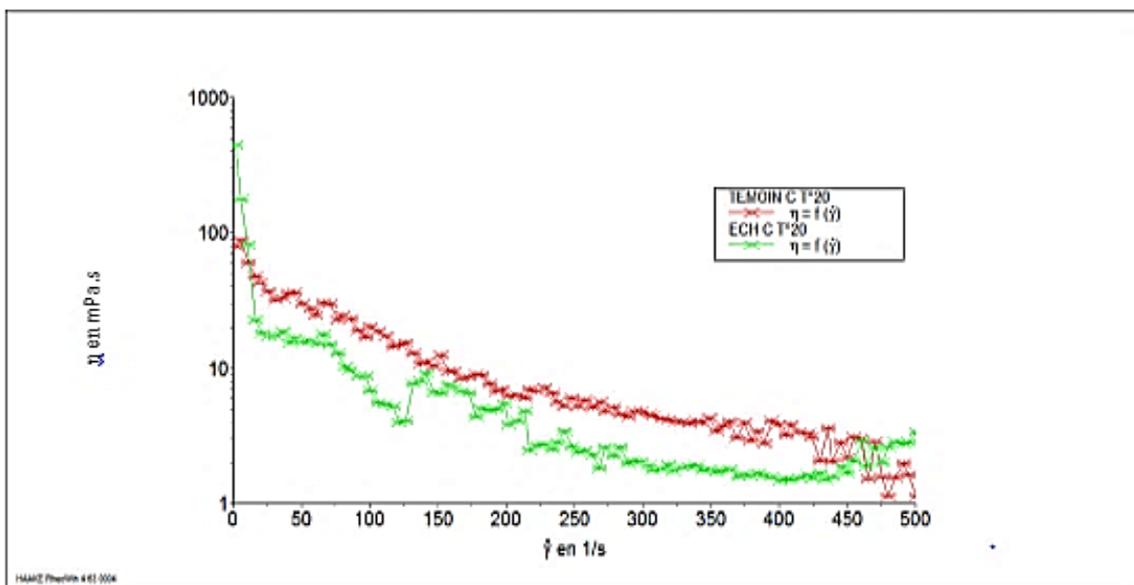
Figure 28: Variation de la viscosité de la mayonnaise (témoin et artisanal) à 20°C

### II.2.1.3 Viscosité de chocolat

La figure(29) montre l'évolution de changement de la viscosité de deux échantillons de chocolat à tartiné (témoin+ artisanal) en fonction de taux de cisaillement à température ambiante (20°C). A partir du graphe, on remarque les points suivants :

\* Au travers de la courbe on remarque la valeur de viscosité de chocolat a tartiné (artisanal) étudié diminue fortement dans la valeur (442,615 mPa.s) jusqu'à (81,609 mPa.s) quand le taux de cisaillement (11,0016 1/S).

\*D'un autre point on remarque la valeur de viscosité de chocolat à tartiné témoin (78,596mPa.s) diminué jusqu'à (47,642mPa.s) avec un taux de cisaillement de (16,216 1/S).



**Figure 29: Evaluation de la viscosité de chocolat à tartiné (témoin et artisanal) à 20°C**

La figure (30) résulte les différentes valeurs de la viscosité de notre produit, deux échantillons de chocolat à tartiné (témoin+ artisanal) en fonction de taux de cisaillement à température T=40C°. Les valeurs des viscosités de chocolat a tartiné commercial et artisanal diminué au même rythme.

\* La valeur de viscosité de chocolat artisanal diminué fortement (946,882 mPa.s) jusqu'à (50,630 mPa .s) quand le taux de cisaillement (16,216 1/ s).

\* La valeur de viscosité de chocolat a tartiné témoin (140,222 mPa.s) jusqu'à (mPa .s) Jusqu'à (28,0059 1/s) quand le taux de cisaillement (16,216 1/ s).

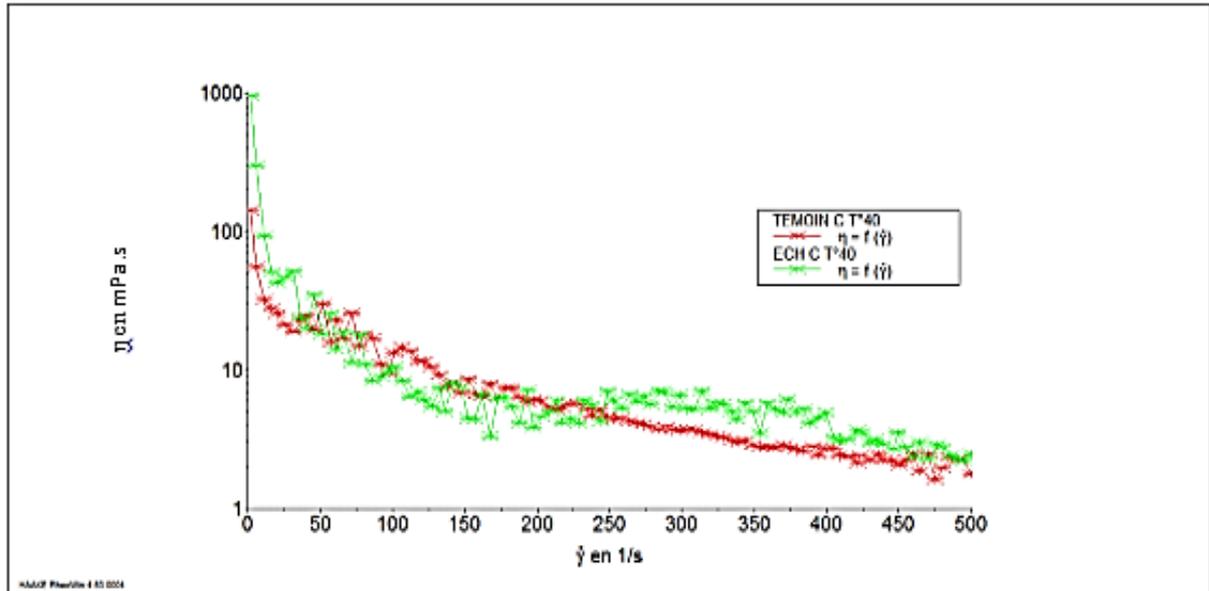


Figure 30: Evaluation de la viscosité de chocolat à tartiné commerciale et artisanal à 40°C

### II.2.2 Interprétation

D'après les résultats obtenus, et à partir des graphes de la variation de la viscosité de différents produits alimentaires en fonction de taux de cisaillement sous l'influence de la température, on conclut qu'il existe une relation entre la viscosité et le taux de cisaillement à différent température (ambient et 40c°). On note qu'au fur et à mesure que le taux de cisaillement augmente, la valeur de viscosité de la plupart des échantillons diminue avec le temps et sous l'effet de la température. Par conséquent, on dit qu'il existe une relation positive entre la viscosité et le taux de cisaillement.

D'après la Réf (**Venugopal, Abhilash, 2010**) concluent que la réduction de la viscosité est : Une augmentation du taux de cisaillement est causée par le changement induit Enchevêtrement de réseaux fluides. De même, d'autres auteurs rapportent des cas de perte de viscosité avec l'augmentation du taux de cisaillement. (**NTIA, 2000**). (**Adekunlé, 2002**). (**Sopade et al. 2003**).

Concernant la mayonnaise, (**Graille 2003**) précise que la mayonnaise est un plastique de Bingham, c'est-à-dire qu'elle se comporte comme un solide à faible cisaillement et ne coule pas. À des forces de cisaillement plus élevées, appelées limite d'élasticité, il commence à se comporter comme un liquide. En pratique, cela signifie que la force appliquée est inférieure au seuil d'écoulement, donc la mayonnaise ne coulera pas lorsqu'elle sera coupée au couteau. Selon (**Cheftel et al 1986**) corps en plastique ou corps de Bingham. Pour les objets qui ne coulent pas sous l'influence du poids, la charge doit dépasser un certain seuil de débit avant que le

chargement puisse commencer. La mayonnaise à 65 % d'huile est aperçue comme « maigre » et coule facilement (Graille, 2003).

### II.2.3 Méthode de Viscosimètre Rotatif Numérique (ATAGO)

#### II.2.3.1 Miel de sucre commercial et artisanal

Les différentes valeurs prélevées de la viscosité de miel de sucre (artisanal, témoin), sont rassemblées dans le **Tableau.4** pour différentes températures (27°C et 40°C), dans des conditions précises du temps et lieu du travail, en analysant nos résultats, on peut noter les remarques suivantes :

\* La valeur de la viscosité de miel de sucre témoin à 20°C elle est dans l'ordre de (20,945 mPa.s) tandis que à 40°C diminué jusqu'à (13,891 mPa.s) à 100tr/min.

\* La valeur de la viscosité de miel de sucre artisanal à 20°C elle est dans l'ordre de (80,629 mPa.s) à 250tr/min tandis qu'à 40°C augment jusqu'à (200,96 mPa.s) à 250tr/min.

\* D'après ces résultats nous remarquons que la viscosité change lorsque la température change, donc cette dernière a une influence sur cette caractéristique des fluides.

**Tableau 4: Les valeurs de viscosité obtenues par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO**

	<i>Commercial</i>		<i>Artisanal</i>	
Température (°C)	27	40	27	40
Viscosité (mPa.s)	20,945	13,891	80.629	200.960
Rpm (tour /S)	100	100	100	250
Bécher	Small	Larg.	Small	Larg.
Sonde	A1	A2	A2	A2

#### II.2.3.2 Chocolat à Tartiné

Le **Tableau.5** résulte les différentes valeurs mesurées de la viscosité de chocolat à tartine (artisanal, témoin) à des différentes températures (27°C et 40°C), et des différentes tournes (2.5 tr /min et 1.5tr/min), Nous remarquons les valeurs suivant

\* Dans le chocolat à tartine témoin (commercial), Nous avons remarqué le viscosimètre n'indique aucune valeur de la viscosité (il munitonne une erreur de fonctionnement) dans les deux températures (27°C et 40°C).

\* Dans le chocolat a tartine (artisanal), Nous avons remarqué a la température 27°C la viscosité égale à (523,155 mPa.s) a 2,5 tr/min après elle augment jusqu'à (1159,590 mPa.s) a 1,5tr/min dans la température 40°C.

\* Nous observe que l'augmentation de la température il augmente la viscosité de chocolat à tartiner par une différence de (636,435 mPa.s).

**Tableau 5: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO**  
(Chocolat à tartiner témoin et artisanal).

	<i>Commercial</i>		<i>Artisanal</i>	
<b>Température (°C)</b>	27	40	27	40
<b>Viscosité (mPa.s)</b>	/	/	523.155	1159.54
<b>Rpm (tour /S)</b>	/	/	2.50	1.50
<b>Bécher</b>	Small	Small	Small	Small
<b>Sonde</b>	A3	A3	A3	A3

### II.2.3.3 Huile d'olive

Le Tableau.6 rassemble les valeurs de la viscosité d'huile d'olive à la température ambiante (27 °C), où on a une valeur de (300 ,412 mPa.s) à 250tr/min. Ces valeurs sont en bon accord avec ceux trouvés dans la Réf (**khalili. S et al ,2022**), une valeur de (38 mPa.s) à 100 tr/min dans la température (39,1°C). On remarque que notre valeur est supérieure par rapport leur résultat a avec une différence majeur qui dépasse (200mPa.s). On observe qui la température augment la valeur de la viscosité diminué.

**Tableau 6: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO. (Huile d'olive)**

<b>Température °C</b>	27
<b>Viscosité (mPa.s)</b>	300 ,412
<b>Rpm (tourne /s)</b>	250
<b>Becher</b>	Small
<b>Sonde</b>	A3

### II.2.3.4 La Mayonnaise

Le tableau.7 représente les résultats des différentes valeurs mesurées de la viscosité de la mayonnaise (artisanal, témoin) dans la température ambiante (27 C°), et dans des conditions précises du temps et lieu du travail (les tourne, les béchers et les sondes utiliser), Nous remarquons les valeurs suivant

\* Pour la mayonnaise artisanale nous avons trouvé (40,829 mPa.s) en 250tr/min quant à la mayonnaise témoin (commercial) en a trouvé (340,157mPa.s) en 50tr/min.

\* D'après ces résultats nous remarquons que la valeur de la mayonnaise commercial est supérieure par rapport à la valeur de mayonnaise artisanal avec une différence majeure de (299,328 mPa.s), et ça due aux ingrédients du produit, ou on trouve que le mayonnaise commercial est plus visqueux que le mayonnaise commercial bien fabriqué .

**Tableau 7: la valeur de viscosité obtenue par méthode de viscosimètre rotatif ATAGO  
(Mayonnaise traditionnel et témoin)**

<i>Mayonnaise</i>	<i>artisanal</i>	<i>commercial</i>
Température C°	27	27
Viscosité (mPa .s)	40,829	340,157
Rpm (tourne /s)	250	50
Bécher	Larg	small
Sonde	A2	A1

### II.2.3.5 Interprétation

D'après les résultats obtenus dans les tableaux de la viscosité des produits différents (huile d'olive, chocolat à tartiner, miel de sucre et la mayonnaise) à l'influence de la température (27C, 40C°), nous concluons :

La raison pour laquelle la température l'augmentation et la viscosité diminue est que lorsque la température augmente, le mouvement des molécules devient plus actif et la force d'attraction entre les molécules devient relativement faible. Lorsque la force d'attraction diminue la viscosité diminue. (Khalili S et al ,2022)

Pour le huile d'olive, Selon Rao (1999), les huiles végétales un comportement newtonien selon Millet et al (2010), un corps newtonien est un fluide à viscosité constant (indépendant de la vitesse cisaillement ou contrainte appliquée) auquel cas seule la température a un effet viscosité.

Cela est dû au module moléculaire interne élevé et la viscosité relativement élevée d'huile est due aux longues chaînes de glycérides. Généralement à mesure que le niveau d'instauration augmente, la viscosité d'huile diminue. (Kroun D et al ,2004).

Pour le miel de sucre ,Divers études que le sucre liquide comme un fluide newtonien (PAUL et al., 2003) et (MILLET, 2010), fluide newtonien la viscosité ne change pas lorsque la vitesse du rhéomètre change. Cette valeur varie par contre, pour la température.

Pour le chocolat à tartiner et la mayonnaise c'est des fluides non newtoniens. Dans ce cas, la viscosité n'est pas constante. à n'importe quelle valeur de couple de taux de cisaillement .La contrainte de cisaillement est appelée ainsi car elle correspond à la valeur de la viscosité apparente. La catégorie non newtonienne distingue les préados fluides selon leur comportement lors de l'écoulement et nomme chacun en fonction de ses propriétés rhéologiques. (Kheloufi N, 2016).

#### II.2.4 Méthode Chute de Bille

La mesure de la viscosité à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille est facile, mais L'inconvénient est qu'il donne des valeurs de la viscosité imprécises à cause les outils utilisés dans le calcul (par exemple, un chronomètre pour calculer le temps ou une balance pour mesurer le poids...) pour cette raison, nous avons calculé l'inaptitude de mesure de la viscosité selon la loi suivante et mentionnait dans les tableaux (8,9,10).

Les équations utilisées dans les calculs de l'incertitude sont les suivantes :

$$\text{D'après l'équation (II.1) de chapitre II, qui est : } \eta = \frac{2gr^2[(\rho_{\text{bille}} - \rho_{\text{liquide}})]t}{9h}$$

et donc l'incertitude  $\Delta\eta$  sera comme suite :

$$\ln\eta = 2 \ln r + \ln g + \ln(\rho_b - \rho_l) + \ln t - \ln h \quad (\text{III.1})$$

$$d\ln\eta = 2 d \ln r + d \ln g + d \ln(\rho_b - \rho_l) + d \ln t - d \ln h \quad (\text{III.2})$$

$$d\ln\eta / \eta = 2 dr/r + d \rho_b - \rho_l - d \rho_b - \rho_l + dt/t - dh/h \quad (\text{III.3})$$

$$\Delta\eta / \eta = 2 \left| \frac{\Delta r}{r} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_b}{\rho_b} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_l}{\rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{\rho t / \rho_{\text{moy}}} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h} \right| \quad (\text{III.4})$$

$$\ln \eta = 2 \ln r + \ln g + \ln(\rho_b - \rho_l) + \ln t - \ln x \quad (\text{III.5})$$

$$\Delta \eta = [2 \left| \frac{\Delta r}{r} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_b}{\rho_b} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_l}{\rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{\rho t / \rho_{\text{moy}}} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h} \right| ] \eta \quad (\text{III.6})$$

Tout d'abord on doit déterminer le temps moyen et l'incertitude sur le temps.

$$\Delta t = 0,001s$$

Et pour le calcul la viscosité on a utilisé l'équation (II.1), c'est-à-dire en fonction du temps.

### II.2.4.1 L'Huile d'Olive

Le Tableau.8 résulte la valeur de la viscosité d'huile d'olive avec l'inaptitude de calcul, à la température (27°C), et dans des conditions précises du temps et lieu du travail, on a comparé ces résultats avec celles de la méthode (viscosimètre rotatif) :

A la température ambiante, on a obtenu deux valeur de viscosité différentes par deux méthodes différentes (par viscosimètre rotatif et par chute de bille), la première valeur elle est dans l'ordre de (300,412 mPa.s) et la deuxième valeur égale (151.12 Pa.s), on remarque que la deuxième valeur est supérieure par rapport à la première ( par viscosimètre rotatif ) avec une différence majeur de 49%.

On comme données les masses volumiques de la bille et de l'huile d'olive.

$$\rho \text{ bille (acier)} = 8,50.10^3 \text{ Kg.m}^{-3}$$

$$\rho \text{ liquide} = 9,02.10^2 \text{ kg.m}^{-3}$$

**Tableau 8: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille de l'huile d'olive.**

Température	Temps				temps moyen	Viscosité (Pa .S)	$\Delta\eta$ (Pa .S)
	15	17 .93	16 .19	14.86			
27°C	15	17 .93	16 .19	14.86	16.22	151.12	2.88

### II.2.4.2 Miel de Sucre traditionnel

Le Tableau 9 représente les résultats de la viscosité du miel de sucre artisanal à différents conditions de températures (27°C et 40°C) avec les valeurs de l'inaptitude de chaque viscosité. D'après nos résultats on constate les points suivants :

\* La valeur de la viscosité à la température 40°C sous-estime la valeur à la température 27°C dans lequel la première valeur égale (78.41 Pa.s) et la deuxième valeur égale (22.43 Pa.s).

\* Notons que plus que la température augment la viscosité diminue.

Les valeurs des masses volumiques de la bille et de miel de sucre sont données par :

$$\rho \text{ bille (acier)} = 8,50.10^3 \text{ Kg.m}^{-3}$$

$$\rho \text{ liquide} = 14,20.10^2 \text{ kg.m}^{-3}$$

**Tableau 9: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille**  
(Miel de sucre traditionnel)

Température	Tempe				Temps moyen	Viscosité (Pa .S)	$\Delta\eta$ (Pa .S)
27°C	10.89	10.93	10.47	10.78	10.76	78,41	1,49
40°C	4.73	4.94	4.52	5.06	4.81	22,43	0.43

### II.2.4.3 Miel de Sucre commercial

Le Tableau 10 représente les résultats obtenus de la viscosité du miel de sucre commercial à températures (27°C et 40°C) avec les valeurs de l'inaptitude de chaque viscosité. D'après nos résultats on observe les points suivants :

\* La valeur de la viscosité à la température 27°C la valeur à la température 40°C dans lequel la première valeur égale (131.09 Pa.s) et la deuxième égale (11.95 Pa.s).

\* D'après ces résultats on remarque que la viscosité change avec la variation de la température, donc cette dernière a une influence sur les caractéristiques des fluides et son effet est inversement proportionnel à l'augmentation de la température, il est connu que cette dernière a un effet majeur et classée parmi les facteurs influençant sur la viscosité. Les valeurs des masses volumiques de la bille et de miel sont données par :

$$\rho \text{ bille (acier)} = 8,50.10^3 \text{ Kg.m}^{-3}$$

$$\rho \text{ liquide} = 14,20.10^2 \text{ kg.m}^{-3}$$

**Tableau 10: Evaluation de la viscosité obtenue par la méthode de chute de bille**  
(Miel de sucre commercial)

Température	Temps (s)				Temps moyen	Viscosité (Pa .S)	$\Delta\eta$ (Pa .S)
27°C	61.55	65.14	62.60	60.04	62.32	131.09	2.50
40°C	6.98	5.24	4.69	5.84	5.68	11.95	0.23

**Note :** Dans le cas de la mayonnaise et du chocolat, on a rencontré des problèmes de mesure de la viscosité car, les échantillons ont une texture épaisse, surtout le chocolat à tartine cela fait la chute de la bille très lentement. Notamment l'inhomogénéité du produit nous a empêchés de suivre la chute de la bille et donc on a trouvé des difficultés à mesurer le temps.

#### II.2.4.4 Interprétation

Pour la méthode chute de bille, l'erreur de calcul de la viscosité dynamique par les méthodes de vision dépend de divers paramètres. La proportionnalité à l'une de ces valeurs n'implique pas qu'elles puissent varier à l'infini en fonction de la valeur parce que les paramètres sont liés et que l'effet sur la viscosité est également lié. En d'autres termes, si l'un peut augmenter l'erreur, l'autre il la diminue. Donc le calcul de la viscosité optimaux et une minimisation d'erreurs incluent d'ajuster les paramètres qui permettent des calculs optimaux avec des bons paramètres.

Diverses études ont modélisé le problème d'un corps chuté dans un fluide visqueux. Plus ou moins, de différentes manières. La forme du l'écoulement de liquide autour de la bille dépend de la vitesse  $v$  et de la taille de la bille, ainsi que sa masse volumique  $\rho$  et la viscosité  $\eta$  du fluide d'intérêt. (Kheloufi N, 2016).

Pour les aliments étudiés, divers facteurs peuvent affecter les prophéties rhéologiques La viscosité, la température agissant sur le liquide, les gradients de vitesse, les forces de cisaillement, etc. affectent le moment où le liquide est soumis aux forces de cisaillement. Il comprend également les conditions de mesure. Il comprend également le type de viscosimètre et la précision du dispositif mobile. La vitesse et les conditions d'échantillonnage peuvent jouer un rôle important d'après (Tabilo. M et Barbosa. Canovas, 2005).

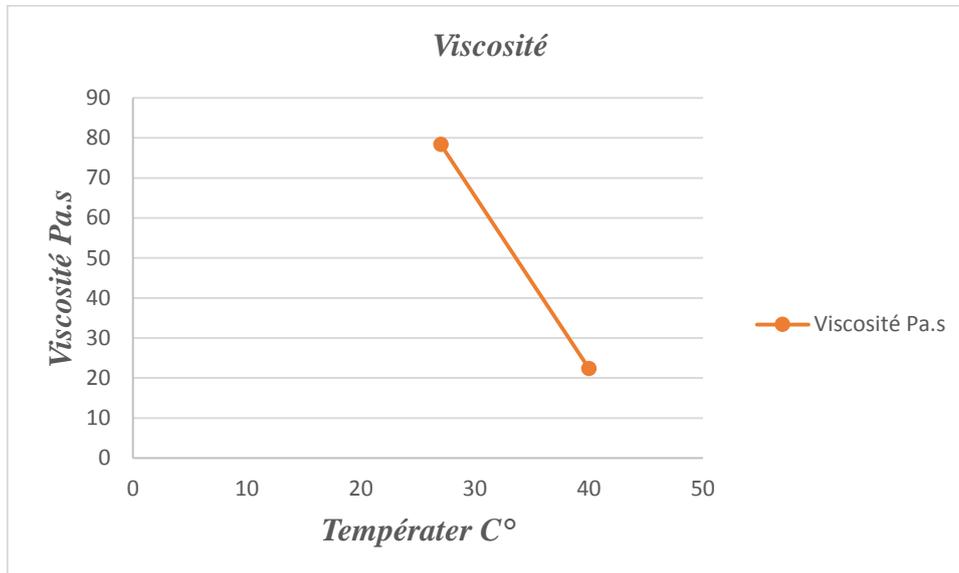
### II.3 Influence de la température sur la viscosité (miel de sucre artisanal, miel de sucre commercial, chocolat à tartiner) :

La température est le facteur les plus important influençant à la viscosité, nous avons donc mis en évidence ce facteur important et nous le mettons les résultats de la viscosité avec l'effet de la température comme l'indiquent les figures (30, 31, 32).

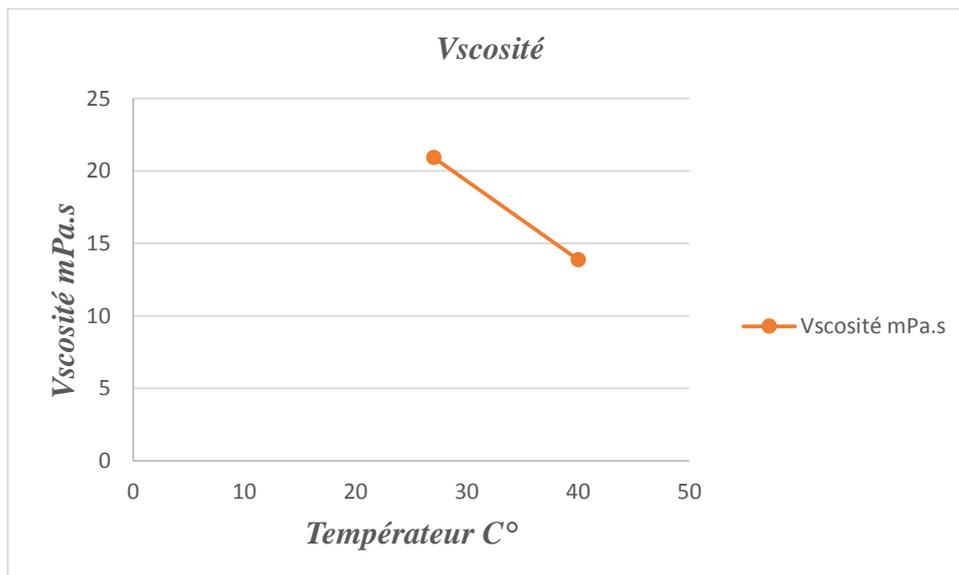
Ces courbes représentent les changements de viscosité avec la variation de la température dans ces produits (miel de sucre artisanal et commercial, chocolat à tartiner artisanal). Nous notons les points suivants :

\* La valeur de viscosité du miel de sucre artisanal diminué avec l'augmentation de la température(Figure 31), comme que la valeur de viscosité du miel de sucre commercial diminue avec l'augmentation de la température(Figure 32). A travers les résultats de la viscosité des deux liquides à température ambiante (27°C) on a remarqué que le miel de sucre commercial est plus visqueux que le miel de sucre artisanal car il contient une concentration plus élevée de sucre contrairement au miel de sucre artisanal et quand on fait augmenter la température ses molécules sont cohésives, est sa viscosité est faible.

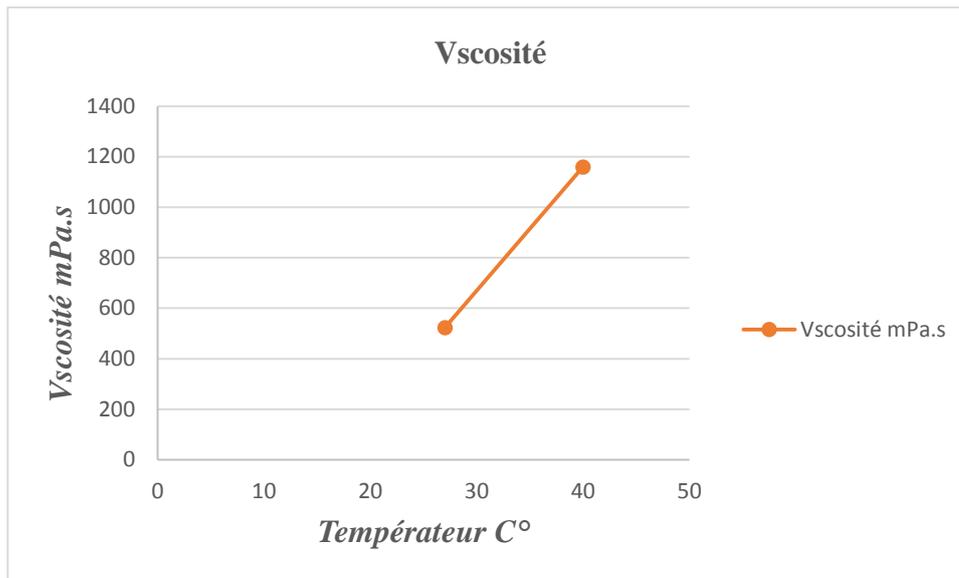
\* La figure.33 représente les variations de viscosité avec la variation de température (27°C et 40°C) du chocolat à tartiner artisanal, on remarque que lorsque la température augmente, la valeur de la viscosité augmente (relation directe).



**Figure 31: Influence de la température sur la viscosité de Miel de sucre artisanal**



**Figure 32: Influence de la température sur la viscosité de Miel de sucre témoin (Commercial)**



*Figure 33: Influence de la température sur la viscosité de chocolat à tartiner artisanal*

*conclusion générale*

## Conclusion

A travers notre étude des propriétés rhéologiques a l'instar la viscosité de certains produits alimentaires (huile d'olive, mayonnaise, miel de sucre, chocolat a tartiné).

Nous avons étudié la viscosité des produits que nous fabriquons traditionnellement (artisanal), et des produits commerciaux du même type (huile d'olive, mayonnaise, chocolat a tartiné, miel de sucre), afin de comparer cette caractéristique (la viscosité), entre les deux catégories (artisanal, commercial) et l'effet de la température pour, cela nous avons utilisé trois méthodes différentes

Deux directes méthodes :

- Utilisation d'un Rhéomètre (VT550) : L'une des caractéristiques du dispositif rhéomètre est qu'il donne la valeur de la viscosité en termes de taux de cisaillement sous forme de courbes, et il mesure la viscosité de tous les produits fluides, notre étude a été réalisée au niveau de l'Université de M'hamed Bougara -Boumerdes.

- Utilisation d'un Viscosimètre rotatif (ATAGO) : il affiche la valeur de la viscosité directement sur l'écran, mais l'un de ses inconvénients majeur c'est qu'il ne mesure pas les produits a texture dense, notre étude a été faite au niveau de notre université IT Bouira.

La deuxième méthode est indirecte : méthode Stock (chute de bille): qui a été réalisée en au niveau de notre université SNVST - Bouira.

Nous avons fait une comparaison entre la valeur de la viscosité des échantillons artisanal et commerciaux obtenus en utilisant les deux méthodes (directe et indirecte ).

Notre étude nous a permis d'enregistré les résultats suivants:

Dans l'échantillon **d'huile d'olive**, nous avons obtenu des résultats (300, 412mpa.s-151,12 pa.s) par la méthode directe et indirecte, respectivement, à une température de 27C

- L'échantillon de **miel de sucre** et en utilisant les deux méthodes, les deux catégories de ce produit (traditionnel et commercial) leurs résultats sont (80,624 mpa.s\_200,96mpa.s). tandis que les résultats de l'échantillon commercial sont (20,945 mPa.s\_13,891 mPa.s) à la température de 27c° et 40c °, respectivement

- pour les échantillons, **chocolat a tartiné et mayonnaise**, nous n'avons pas pu réaliser la méthode chute de bille en raison de la difficulté de voir la bille tombe et donc, si non en utilisant la méthode directe a une température de 27C<sup>0</sup>, nous avons obtenu les résultats (40,829 mpa.s et 340,157mpa.s) pour la mayonnaise traditionnelle et commercial, respectivement.

- Concernant le chocolat a tartiné nous avons trouvé les résultats (523 ,155mpa .s \_1159,54mpa s), pour l'échantillon artisanal à une température de 27c et 40c, respectivement - à travers cette étude, nous concluons que la viscosité diminue avec l'augmentation de la température

À travers les résultats obtenus, nous concluons que les échantillons commerciaux sont plus visqueux que les échantillons artisanaux, et cela est dû aux composants et les produits chimiques ajoutés et à leur texture épaisse.

Au terme de notre expérience, nous pouvons dire que le meilleur moyen de mesurer la viscosité est le rhéomètre, car il ne porte pas des inconvénients, et nous avons pu mesuré la viscosité de tous les échantillons utilisés, ainsi que la fiabilité des résultats trouvé.

## **Référence Bibliographe :**

### *A*

**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. Exigence partielle pour l'obtention de garde de maitre en science appliquées. Université du Québec a Chicoutimi. P46-50.

**AGVENI Sofiane, BOCROVINA M, 2012.** Suivi de procédé de fabrication du sucre liquide inverti au niveau de la raffinerie CEVITAL de Bejaïa. Mémoire de Master en Chimie. Université A-Mira. Bejaïa. P 8-9.

**Aissou D., Bouzanboua. (2012).** Contrôle de qualité du sucre blanc de CEVITAL. Mémoire d'ingénieur d'état en science alimentaire. Université Abderrahmane Mira. Bejaia.89p.

**APME,2018 .** Fabrication du beurre/poudre de cacao. Fiche technique.12p.

**Arif, S., Nurrul, A.M.S., Che, A.A., Wan, A.F, 2019.** Chocolate spread emulsion: effects of varying oil types on physio-chemical properties, sensory, qualities and storage stability. Journal of agrobiotechnology, 10, 32-42.

**Arnold A, (2014).** Fiche pédagogique «Mayonnaise». Site web:

**AYOUAZ Sabrina, BENMAMAS Fatima, 2017.** Etude de la viscosité de quelques produits de CEVITAL. Mémoire de Master en Sciences Alimentaires. Université Abderrahmane Mira.

**Ayouaz Sabrina, Benmamas Fatima, 2017.** Etude de la viscosité de quelques produits de Cevital. Mémoire de Master. Université A. Mira. Bejaïa. P2

### *B*

**Beau M ,1950.** Études rhéologiques sur le beurre.Le Lait 30issue 299-300: 593-608P.

**Bourne M, 2002.** Food texture and viscosity, concept and measurement, Academic press

**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.

**BOSKOU, D. (1996).** Olive oil: Chemistry and Technology. AOCS Press, Champaign.

**Ben Amar L, Zerroud B, 2016.** Extraction du sucre alimentaire à partir des dattes algériennes. Mémoire de master. Université Echahad hamma Lakhder. Eloued.75p. guide de la transformation agroalimentaire et des produits alimentaire, 1-26.

**Benseghier K., Khamed O, 2014.** Huiles alimentaires de graines Pinus pinea extraction et caractérisation physique-chimique. Mémoire de fins d'études. Université Kasdi Merbah. Ouargla. 127p.

**Bouhadad, F., Imrahene, N. (2018).** Effet de rapport frites/volume sur la qualité de l'huile (Labelle) pendant des fritures répétées. Thèse de master. Université de Mouloud Maamri. Tizi-Ouzou.94p

**BELTI Abdellah, HADDAR Samir, 2016.** Etude et programmation d'une nouvelle ligne deséchage de sucre avec un API S7-300. Mémoire de Master en Electronique. Université A.Mira.Bejaïa. P1.

## Ƨ

**CAUSERET D, 1994.** Techniques de fractionnement du jaune d'œuf. In: Tapon JL, Bourgeois CM. L'œuf et les ovo produits. Editions : Tec & Doc Lavoisier. Paris. P 199- 209.

**COI. (2015).** L'huile d'olive, consommation importations et exportation.

**Codex Alimentarius. (1999).** Norme codes pour les laits en poudre et la crème en poudre. Codex Stan 207-1999. 6p.

**Codex Alimentarius. (1999).** Norme codex pour les sucres. Codes Stan 212-1999. 5p. Taleb, A. (2017). Contrôle et qualité d'un lait déshydraté. Mémoire de master. Université Aboubekr Belkaid. Tlemcen.60p.

## Ƨ

**Drissa Ouattaria, 2011.** étude des propriétés rhéologiques de résidus miniers densifiés. Mémoire présente en vue de l'obtention du Diplôme de maitre en sciences appliquées. Université de Montréal.

**DOUMBIA, (1991).** Contrôle de qualité dans les industries agroalimentaire du district de BAMAKO et ENVIRON. Thèse de doctorat (diplôme d'état). Ecole nationale de médecine et de pharmacie. Mali. P 2-4.

**Djaoudi A, 2016.** Etude de l'effet de température sur les teneurs en oméga-3 et -6 dans les graines alimentaires et l'huile d'olive par la voltammétrie impulsionnelle différentielle. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah. Ouargla.179p.

## £

**Er, B., Sert, D., Mercan, E. (2019).** Production of skim milk powder by spray drying from transglutaminase treated milk concentrates: effects on physico-chemical, powder flow, thermal and microstructural characteristics. International dairy journal, 99,104544.

**ELKETROUSSI Mohamed Abdelhakim ,2018.** Effet du type de jaune d'œuf sur la qualité organoleptique et microbiologique de la Mayonnaise. Mémoire de Master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

## ƒ

**FABIAN, F. W., WETHERINGTON, M C, 1950.** Spoilage in salad and French dressing due to yeasts. Food Res. 15, 135-137.

**FERIAL M, ABOU-SALEM, AZZA A, ABOU-ARAB, 2008.** Chemical, microbiological and sensory evaluation of mayonnaise prepared from ostrich eggs. Grasas y Aceites, 59 (4). P 352-360.

## ƒ

**Guzman, R.E., Gomez C, J.D., Chocron, F.S, 2020.** Potential use of sesame (sesamum indicum L.) oil and sesame oil cake in the development of spreadable cocoa cream. American journal of Food science and nutrition, 2,1-11.

**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.

**GACEM Soumia, OULD BEZIOU Meriem, 2019.** Etude de la viscosité de quelques produits Alimentaires .Mémoire de master en Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité .Université AMO Bouira.

**GRAILLE J, 2003.** Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec et doc, Lavoisier.  
Paris. P 182 -183.

**GAUTIER B, LAURENT B, OHIER,M, TOUSSAIN, 2012.** Une stratégie publique pour les industries alimentaires. Rapport conseil général de l'alimentation de l'agriculture et des espaces Ruraux. France. P4.

**Gélinas, P, 2006.** Reformulation des produits pour réduire ou éliminer les Gras trans : un guide de la transformation agroalimentaire et des produits alimentaire,1-26

## *H*

**Hane Y, Huaux C, Tilli J, 2013.** Aromes et colorants alimentaires : quelles sont leur effet sur la santé, et la vision des couleurs influent-elle la perception du gout des aliments ?.50p Jyothi DPT, 2003. The chocolate story: No clear norms on storage. The Hindu Group ofKarabulut (2007) ET Saunders et al., (2008)

**H. Eyring, J. Hirschfelder, J. Phys.Chem, 41 (1937) 249**

**HASSANI L, IKNI Z, 2017.** Essai d'analyse du secteur agroalimentaire de la wilaya de Bejaia : comment freiner les importations et encourage les exportations ? Mémoire de master. Université A-Mira. Bejaia.

**Hartel, R.W., Vontlbe, J., Hofberger, R. 2018.** Confectionery and technology. Springer international publishing.536p

## *J*

**Jarosz S, Sokolowska P, Szuska L, 2020.** Synthesis of fine chemicals with high added value from sucrose: towards sucrose based macrocycles. Tetrahedron letters, 62,1511888.

**JACOLOT, B. (1997).** Intérêt nutritionnel de la consommation de l' huile d' olive. OCL, 1997, Vol 4, N° 5, p.373-4, Septembre- Octobre 1997.

## *K*

**Kattenberg, H.R. (1988).** Cocoa powder. European patent specification, EP 0187415B1.7p

**.Kent, J.A. (2012).** Handboock of industrial chemistry and biotechnology, éd: 12. Springer US, 1562p.

**KEYS, A., MENOTTI A., KARVONEM M. J., BLACKBURN H., BUZINA R., DIODORDEVIC B. S., DONTAS A. S., FIDANZA F., KEYS M. H., KROMHOUT D., NEDUKOVIC S., PUNSAR S., SECCARECCIA F., TOSHIMA H(1986).** The diet and15 year death rate in seven countries study. Am. J. Epidemiol. 124, 903-915.

**khalili S et al, 2022, Etude** l'effet de la Température sur les Propretés d'huile d'olive .Mémoire de master biochimie applique .Université d'Ahmed Draya\_Adrar.

**Khaloufi N ,2016.** Elaboration d'une méthodologie optique pour la caractérisation rhéologique d'un matériau : Application à la mesure de la viscosité d'un fluide .Thèse de Doctorat en sciences Physiques. Université de Mohamed Boudiaf d'Oran.

**Kroun D et al ,2004.**Etude Comparative de Quelques huiles d'Olive dans les Région de l'est Alger .Mémoire de l'étude supérieur en biologie .Université Mohamed assidik ben Yahia . Jijel.

## *L*

**Larbi Y, Eldjilani R, 2022.**Analyse Rhéologique de l'Effet de saccharose sur l'Efficacité de Miel Nature, Mémoire de Master en Génie Chimique. Université Ahmed Draïa. Adrar.

## *M*

**Messaâdi A, 2011.**Etude des Modèles de Corrélacion de volume et de Viscosité dans les Systèmes Binaires en Maitre -Es-Science de chimie. Université de Tunis el Manar.

**MIHOV R, NIKOVSKA K, NENOV N, SLAVCHEV A, 2012.** Evaluation of mayonnaise likefood emulsions with extracts of herbs and spices. Emir. J. Food Agric., 24 (3). P 191-199.. [https://www.enil.fr/images/doc/pralim/11.Fiche\\_p%C3%A9dagogique\\_Mayonnaise.pdf](https://www.enil.fr/images/doc/pralim/11.Fiche_p%C3%A9dagogique_Mayonnaise.pdf).

**MA, L., BARBOSA-CANOVAS, G. V ,1995.** Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *J. Food Eng.* 25 (3), 409-425

**M.cooper, J. 2017.** The challenges of reformulation for sugars reduction, 31, 38-41.

**Macht, M., Dettmer, D. (2006).** Everyday mood and emotions after eating a chocolate bar or an apple. *Appetite* 46, 332-336.

**Matthieu B, 2005 .**Développement et étude d'un viscosimètre absolu à chaud de bille. Thèse doctorant .université JOSEPH Fourier \_GRENOBLE1



**Ougergouz A, Yekken S 2018.** Effet de substitution des huiles hydrogénées par les huiles inter-estérifiées sur la qualité de la margarine. Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira. Bejaia. 81p



**Perso B,1969.** La Rhéologie : recueil de travaux des sessions de perfectionnement, Institut national des sciences appliquées, Lyon, Masson.Paris



**Racolta, E., Muste, S., Musresan, A.E., Muresan, V, 2014.** Characterization of confectionery spreadable creams based on roasted sunflower kernels and cocoa and caroub powder. *Bulletin UASUM food science and technology*, 71,62-67.

**Reeve P, Amigoni S, 2008.** La rhéologie ; Un outil précieux pour la formulation cosmétique, *l'actualité Chimique* p 323-324.

**ROSSELL, J. B. (2001).** *Frying: Improving quality.* Woodhead Publishing Limited, CRC Press, Boca Raton. Boston. New York Washington, DC.

**Rao (1999), Millet et al (2010).** Suivi de procédé de fabrication du sucre liquide inversé au niveau de la raffinerie CEVITAL de Bejaïa. Mémoire de Master en Chimie. Université A-Mira. Bejaïa .

### §

**SHEN, R., LUO S., DONG J, 2011.** Application of oat dextrin for fat substitute in mayonnaise. Food Chem. 126, 65-71

**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.

**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]

### ℑ

**TISCORNIA, E., FIORINA, N., EVANGELISTI, F. (1982).** Chemical composition of olive oil and variations induced by refining. Riv. Ital. Sost. Grasse. 59: 519-555.

**Tabilo-M et Barbosa-Ca'novas, 2005.** Gipsy Tabilo-Munizaga A., Gustavo V., Barbosa-Ca'novas B.,(2005).Rhéology for the food industry. journal of food engineering: 147-156P

### ℓ

**VELLEITS. (2010).** Enrichissement nutritionnel de l’huile d’olive : Entre Tradition et Innovation. Mémoire de doctorat. Université d’Avignon et des Pays de Vaucluse, p 160.

**Vignola CL, MICHEL JC, PAQUIN P, 2002.** Science et technologie du lait: transformation du lait. Edition : Lvoisier, Paris.

**Valverde, D., Behrends, B., Perez-Esteve, E., Kuhnert, N., Barat, J.M. (2020).** Functional changes induced by extrusion during cocoa alkalization. International food research, 136,109469.

### ℓ

**Zaitoun M, Ghanem M., Harphoush S, 2018.** Sugars: types and their functional properties in food and human health. International journal of public health research, 6,93-99.

**Ziane A, 2015.** Caractérisation rhéologique des polymères à basse et haute température (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou).

## Site web:

Site 1

[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://bv.cdeacf.ca/RA\\_PDF/51081.pdf&ved=2ahUKEwinveKH4Mr9AhWlg\\_0HHaf6CncQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw1aG426FPguHOuqC5\\_Ecbx8](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://bv.cdeacf.ca/RA_PDF/51081.pdf&ved=2ahUKEwinveKH4Mr9AhWlg_0HHaf6CncQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw1aG426FPguHOuqC5_Ecbx8)

Site 2

<https://images.app.goo.gl/9DwWbD5kGqFaLedh8>

Site 3

[Fiche](#) technique mayonnaise full fat. Site web : H:\fiche techniques\F-QHSE-961 Fiche technique mayonnaise full-fat.DOC

Site 4

<https://images.app.goo.gl/DD7uhs9jLSTKv13e6>

Site 5

<https://images.app.goo.gl/TgZPNXcE3VHwsLiq9>

Site 6

[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://elearn.univ-tlemcen.dz/mod/resource/view.php%3Fid%3D23161&ved=2ahUKEwiH7Kr0-tv9AhUCIP0HHUiBBxYQFnoECBQQAQ&usg=AOvVaw3p9c0G-8T8bt\\_ZCwF2EqfY](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://elearn.univ-tlemcen.dz/mod/resource/view.php%3Fid%3D23161&ved=2ahUKEwiH7Kr0-tv9AhUCIP0HHUiBBxYQFnoECBQQAQ&usg=AOvVaw3p9c0G-8T8bt_ZCwF2EqfY)

Site 7

<https://images.app.goo.gl/sUXbqjdjvvrN4Vknq6>

Site 8

<http://tpearomes2010.e-monsite.com/pages/ii-la-synthesechimique/les-aromes-artificiels.html>  
(Les aromes). Consulter le 02.04.2020

Site 9

[www.researchgate.net/2015](http://www.researchgate.net/2015)

Site 10

<http://l3m.gp.l3m.univmrs.fr/2014>

Site 11

(hydrodynamismebiomimetisme.E-monsite.com)

Site 12

(<https://images.app.goo.gl/BVCQveAJWWy5ungf8>)

Site 13

([www.researchgate.net/2013](http://www.researchgate.net/2013)).

Site 14

<https://images.app.goo.gl/fvBmMwgiZ1znTsdj7>

Site 15

(<https://images.app.goo.gl/nGhJ6U9bo7DL69d5A>

Site 16

(KF40,BROOKFIEL<https://images.app.goo.gl/Jwp7xWPWAu13CiaU7>)

Site 17

VISCOLIT(<https://images.app.goo.gl/7NY4zy9LLZrjudXz6>)

Site 18

<https://cloup.fr/appareils-de-mesure/viscosimetres/viscosimetre-a-chute-de-bille/Tp2908-Ac80>

Site 19

<https://linkilab.fr/portfolio/viscosimetre-a-rotation/>

. (2020, 07 02). Récupéré sur LinkiLab: <https://linkilab.fr/portfolio/viscosimetre-a-rotation/>

Annexe

*Annexe 1 : Détermination de la viscosité de la mayonnaise commercial a T=20C° par le rhéomètre.*

<b>GP en 1/s</b>	<b>Eta en Pas</b>
1,9482	297,412964
5,6154	205,128754
11,173499	145,603455
16,215899	80,154671
19,825798	30,366493
25,785	8,367656
31,2285	5,961862
36,6147	43,957756
40,224602	15,961873
45,610798	2,784867
51,6273	27,36692
57,0135	2,34997
60,623398	19,373709
66,009598	2,635981
71,395805	14,647079
77,412292	12,205038
81,022202	5,798411
86,408401	14,216674
91,794601	9,8947
97,180794	3,222859
100,790695	3,625335
106,807198	3,4537
112,193398	3,737653
117,636894	3,150542
121,189499	8,169519
127,206001	6,620443
132,592194	1,929073
136,202103	3,909191
141,588303	1,867951
147,604797	6,54247
152,990997	3,95788
156,600906	5,31108
161,987091	2,073128
167,430588	4,728527
173,389801	4,576047
176,999695	5,072551

182,38591	1,564595
187,829407	3,575798
193,215591	4,2686
197,398499	3,799117
202,841995	4,023131
208,228195	2,899607
213,614395	3,225625
217,797302	2,444658
223,240799	2,400636
228,626999	2,062486
232,236893	2,599845
237,623093	3,002234
243,639587	2,77812
249,025803	2,256874
252,635696	2,658532
258,021881	2,414214
264,038391	2,201044
267,648285	1,813798
273,034485	2,198623
284,437195	2,14107
288,047089	2,229011
293,433289	1,701852
298,819519	2,113717
304,835999	1,689564
308,445892	1,923644
313,832123	2,22329
318,645294	1,927598
323,401184	1,813166
328,844696	1,851938
334,230896	2,118835
337,84079	1,74082
343,799988	1,371553
349,816498	1,795627
355,202698	1,881067
358,812592	1,265675
365,4021	1,6238
370,215302	1,40529
373,825195	1,545321
379,841705	1,255154
385,227905	1,111135
389,410797	1,67114

394,854279	1,568781
400,813477	1,415222
403,850372	1,645857
409,809601	1,456335
415,82608	1,238595
420,009003	0,940408
424,822205	1,052629
431,411682	1,46811
433,818298	1,399803
441,038086	1,33349
446,424286	1,531772
449,461182	0,665864
454,847412	0,79187
460,80658	1,529275
465,619812	0,549332
470,432983	1,553463
475,246185	1,215538
480,059418	0,456693
486,648895	0,79733
490,258789	0,901483
495,014679	0,783855
500,458191	0,486754

*Annexe 2 : Détermination de la viscosité de la mayonnaise artisanal a T=20C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en mPa.s
1,9482	78,595619
5,6154	88,000854
11,1162	59,480755
16,215899	47,642132
19,825798	42,565754
25,785	36,777195
31,2285	31,870886
36,6147	32,790108
40,224602	35,946659
45,610798	36,355869
50,996998	30,093536
57,0135	27,711332
60,623398	24,769644
66,009598	30,419214
71,395805	30,000921
76,781998	22,525595
80,391899	24,760702
86,408401	23,117197
91,794601	19,012228
97,180794	16,884199
100,790695	20,12924
106,2342	18,802984
112,193398	17,261444
117,636894	14,525037
121,189499	14,946344
126,633003	15,293171
132,019196	12,955843
138,03569	10,828069
141,588303	11,244575
147,031799	10,307566
152,417999	12,386333
157,804199	9,515717
161,987091	9,495572
167,430588	8,355462
172,816803	8,618606

178,202988	9,002542
182,38591	8,958258
187,829407	7,688891
193,215591	6,709085
196,8255	7,001532
202,2117	6,221302
208,228195	6,350725
213,614395	5,995101
217,224289	7,000876
222,610489	6,808034
228,626999	7,237728
234,013199	6,491172
237,623093	5,638341
243,009308	5,2198
248,395493	6,073299
252,635696	5,193091
258,021881	5,806252
263,408112	5,106221
269,424591	5,650932
273,034485	4,798734
278,420715	5,10587
283,806915	4,61659
289,823395	4,394676
293,433289	4,791276
298,819519	4,780611
304,205688	4,575852
307,815613	4,431744
313,832123	4,252529
318,645294	4,16099
324,604492	4,057799
328,844696	4,005477
334,230896	3,920104
339,617096	4,114104
343,22699	3,974513
349,243469	4,324547
353,99939	3,430853
359,442871	3,785525
363,625793	4,005161
369,011993	3,083802
375,028503	3,976178
379,211395	2,93662

384,024597	3,411813
389,410797	2,783744
394,223999	4,065049
399,610199	3,862214
405,05368	3,230386
408,606293	3,845316
414,622803	3,390841
421,21228	3,346056
423,618896	3,117566
430,208374	2,086989
435,651917	3,574643
439,204498	2,032356
445,220978	2,806067
450,607178	2,197169
454,847412	3,106273
459,660614	3,020751
465,619812	1,52094
470,432983	2,885002
475,246185	1,588987
480,059418	1,123611
484,815308	1,564802
491,462067	1,979115
495,014679	1,620437
500,458191	1,129964

*Annexe 3 : Détermination de la viscosité de huile d'olive a  $T=20C^{\circ}$  par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en Pas
1,9482	140,221725
5,6154	55,155468
11,173499	32,39093
16,215899	28,00585
19,825798	25,451687
25,785	21,324026
31,2285	18,832796
36,6147	22,572901
40,224602	24,526779
45,610798	19,455919
51,6273	30,096861
57,0135	15,839406
60,623398	23,191046
66,009598	16,949354
71,395805	26,004047
76,781998	14,933969
80,391899	18,180937
86,408401	16,955296
91,794601	11,050977
97,180794	9,561149
100,790695	13,27563
106,2342	14,593608
112,193398	13,632354
117,636894	11,581569
121,189499	11,687149
126,633003	10,525218
132,019196	9,173212
138,03569	7,575867
141,588303	8,209153
147,031799	6,828319
152,417999	8,596229
157,804199	6,692978
161,987091	6,477182
167,430588	7,939768
172,816803	6,182038
178,202988	7,381694
181,812897	7,455247
187,829407	6,419762

193,215591	5,772515
196,8255	6,223584
202,2117	5,963157
208,228195	5,356335
213,614395	5,147968
217,224289	5,350783
222,610489	5,682481
227,996704	5,731399
234,013199	5,271754
237,623093	4,708381
243,009308	5,155358
249,025803	4,632532
252,635696	4,401041
258,021881	4,524965
263,408112	4,221055
268,794281	4,155892
273,034485	4,046741
278,420715	3,943457
283,806915	3,752128
289,193085	3,946983
293,433289	3,741703
298,819519	3,674258
304,205688	3,740758
308,445892	3,723181
313,832123	3,526217
318,645294	3,407425
324,604492	3,312708
328,844696	3,280576
334,230896	3,134001
339,617096	3,017693
343,22699	3,107623
349,243469	2,87971
353,99939	2,782039
359,442871	2,797997
363,625793	2,732315
370,215302	2,88108
375,028503	2,779149
379,211395	2,675078
384,024597	2,600771
390,614075	2,797441
394,223999	2,436381

399,610199	2,721402
405,05368	2,719195
408,606293	2,418759
414,622803	2,400447
421,21228	2,127431
423,618896	2,41519
430,208374	2,244726
435,651917	2,460313
439,204498	2,25025
445,220978	2,239382
450,607178	2,069741
454,847412	2,234068
459,660614	2,487009
464,416473	1,873319
470,432983	2,45595
475,246185	1,614616
480,059418	1,946384
484,815308	2,347203
491,462067	2,223407
495,014679	2,21448
500,458191	1,776652

*Annexe 4 : Détermination de la viscosité chocola a tartiner commercial a T=20C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en mPa.s
1,8909	442,614594
5,5581	176,876984
11,0016	81,609947
16,215899	22,640745
21,6021	12,243255
25,785	14,373473
31,2285	27,134827
36,6147	18,771149
42,000896	15,411098
45,610798	21,706701
50,996998	7,574564
56,383202	15,954751
62,3997	5,075024
66,009598	17,766508
71,395805	4,849865
76,781998	8,928657
82,225494	10,347885
85,778099	4,645242
91,794601	5,686609
97,180794	8,827052
100,790695	6,870872
106,2342	5,552449
111,620399	5,362461
117,636894	5,191739
121,189499	3,977077
126,633003	4,122148
132,019196	7,749782
137,405396	8,079159
141,588303	9,167706
147,031799	6,66264
152,417999	3,550368
157,804199	7,542005
161,414093	7,222417
167,430588	3,751644
172,816803	6,514297

178,202988	4,393866
181,812897	5,072247
187,829407	2,899546
193,215591	4,989038
198,601807	5,440736
202,2117	3,85497
208,228195	4,111259
213,614395	4,781419
217,224289	2,499168
222,610489	2,688822
227,996704	2,716881
234,013199	2,535498
237,623093	2,826493
243,009308	3,436905
248,395493	2,668889
252,635696	2,389924
258,021881	2,488394
263,408112	2,292185
268,794281	1,838432
272,404205	2,62529
278,420715	2,256082
283,806915	2,624038
289,193085	1,973491
292,803009	2,079897
298,819519	2,049665
304,205688	1,927577
307,815613	1,758
313,832123	1,807463
318,645294	1,960362
322,828186	1,751706
328,844696	1,867812
334,230896	1,894977
339,617096	1,921281
343,799988	1,77644
349,243469	1,808538
353,99939	1,720342
357,609314	1,756498
364,198792	1,791604
370,215302	1,583889
373,825195	1,652377
379,211395	1,605964

385,227905	1,684769
388,207489	1,595642
394,223999	1,584531
400,813477	1,480339
405,05368	1,53787
408,606293	1,498949
414,622803	1,54854
421,21228	1,644112
424,822205	1,527745
430,208374	1,678489
433,818298	1,516119
439,204498	1,568836
446,424286	1,898149
449,461182	1,69563
454,847412	2,073399
460,80658	2,915063
464,416473	1,877065
470,432983	2,607598
475,246185	2,028338
480,059418	2,595179
484,815308	2,871197
491,462067	2,775718
495,014679	2,829613
500,458191	3,386416

*Annexe 5 : Détermination de la viscosité chocola a tartiner commercial a T=40C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en mPa.s
1,8909	442,614594
5,5581	176,876984
11,0016	81,609947
16,215899	22,640745
21,6021	12,243255
25,785	14,373473
31,2285	27,134827
36,6147	18,771149
42,000896	15,411098
45,610798	21,706701
50,996998	7,574564
56,383202	15,954751
62,3997	5,075024
66,009598	17,766508
71,395805	4,849865
76,781998	8,928657
82,225494	10,347885
85,778099	4,645242
91,794601	5,686609
97,180794	8,827052
100,790695	6,870872
106,2342	5,552449
111,620399	5,362461
117,636894	5,191739
121,189499	3,977077
126,633003	4,122148
132,019196	7,749782
137,405396	8,079159
141,588303	9,167706
147,031799	6,66264
152,417999	3,550368
157,804199	7,542005
161,414093	7,222417
167,430588	3,751644
172,816803	6,514297
178,202988	4,393866
181,812897	5,072247

187,829407	2,899546
193,215591	4,989038
198,601807	5,440736
202,2117	3,85497
208,228195	4,111259
213,614395	4,781419
217,224289	2,499168
222,610489	2,688822
227,996704	2,716881
234,013199	2,535498
237,623093	2,826493
243,009308	3,436905
248,395493	2,668889
252,635696	2,389924
258,021881	2,488394
263,408112	2,292185
268,794281	1,838432
272,404205	2,62529
278,420715	2,256082
283,806915	2,624038
289,193085	1,973491
292,803009	2,079897
298,819519	2,049665
304,205688	1,927577
307,815613	1,758
313,832123	1,807463
318,645294	1,960362
322,828186	1,751706
328,844696	1,867812
334,230896	1,894977
339,617096	1,921281
343,799988	1,77644
349,243469	1,808538
353,99939	1,720342
357,609314	1,756498
364,198792	1,791604
370,215302	1,583889
373,825195	1,652377
379,211395	1,605964
385,227905	1,684769
388,207489	1,595642

394,223999	1,584531
400,813477	1,480339
405,05368	1,53787
408,606293	1,498949
414,622803	1,54854
421,21228	1,644112
424,822205	1,527745
430,208374	1,678489
433,818298	1,516119
439,204498	1,568836
446,424286	1,898149
449,461182	1,69563
454,847412	2,073399
460,80658	2,915063
464,416473	1,877065
470,432983	2,607598
475,246185	2,028338
480,059418	2,595179
484,815308	2,871197
491,462067	2,775718
495,014679	2,829613
500,458191	3,386416

*Annexe 6 : Détermination de la viscosité chocolat a tariner artisanal a T=20C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en mPa.s
1,8909	257,65506
5,6154	130,761841
11,1162	64,802719
16,215899	2,03874
19,825798	5,792453
25,785	7,760326
31,2285	27,524857
36,6147	13,353653
40,224602	8,694678
45,610798	8,278302
51,6273	8,021338
57,0135	7,751848
60,623398	6,601412
66,009598	6,69539
71,395805	4,606153
76,781998	9,064626
81,022202	4,273643
86,408401	4,087797
91,794601	4,549287
97,180794	7,287242
100,790695	2,917531
106,807198	2,492529
112,193398	2,729572
117,636894	2,795551
121,189499	5,19748
126,633003	2,954206
132,592194	2,598343
138,03569	8,407825
141,588303	7,115418
147,031799	9,538343
152,990997	2,93429
156,600906	3,622201
161,987091	9,592244
167,430588	5,975611
172,816803	9,242851
176,999695	8,375607
182,38591	9,330326

187,829407	3,371996
0	0
197,398499	11,203429
202,841995	2,959446
208,228195	3,576461
213,614395	5,677426
217,224289	4,573798
223,240799	5,323489
228,626999	7,557374
232,236893	7,394949

*Annexe 7 : Détermination de la viscosité chocolat a tariner artisanal a T=40C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en Pas
1,8909	8,281771
5,6154	10,535314
11,1162	9,704755
16,215899	8,262261
19,825798	7,284448
25,785	7,490401
31,2285	9,249243
36,6147	7,888635
40,224602	6,272281
45,610798	7,324581
50,996998	6,721573
57,0135	6,256413
60,623398	6,974535
66,009598	5,614638
71,395805	5,483515
76,781998	6,277252
81,022202	5,111192
86,408401	5,457108
91,794601	5,819296
97,180794	5,532574
100,790695	4,833779
106,807198	4,789565
112,193398	4,730225
117,636894	4,674044
121,189499	4,881611

126,633003	4,658027
132,592194	4,527416
138,03569	4,878304
141,588303	4,731323
147,031799	4,816509
152,417999	4,39515
158,434509	4,634596
161,987091	4,554437
167,430588	4,447933
172,816803	4,510673
176,426697	4,526866
182,38591	4,350336
187,829407	4,214995
193,215591	4,394676
196,8255	4,269874
202,2117	4,37126
208,228195	4,345233
213,614395	4,300834
217,224289	4,17329
222,610489	4,095764
228,626999	3,828157
234,013199	3,73261
237,623093	3,924871
243,009308	3,952441
248,395493	3,929781
252,635696	4,159982
258,021881	4,100118
263,408112	4,102151
269,424591	4,068671
273,034485	4,148707
278,420715	4,16219
283,806915	4,187424
289,193085	4,26587
293,433289	4,239805
298,819519	4,256549
304,205688	4,278421
307,815613	4,296079
313,832123	4,380049
318,645294	4,384876
324,604492	4,374062
328,844696	4,375865

334,230896	4,393849
339,617096	4,380522
343,22699	4,349658
349,243469	4,409245
353,99939	4,487635
359,442871	4,52133
363,625793	4,450179
370,215302	4,629468
375,028503	4,542215
379,211395	4,721535
384,024597	4,694074
389,410797	4,825752
394,223999	4,62118
399,610199	4,68952
405,05368	4,841284
408,606293	4,692732
414,622803	4,800893
420,009003	4,871895
423,618896	4,961818
430,208374	5,019289
435,651917	4,808793
439,204498	5,031369
445,220978	4,900847
450,607178	4,942664
454,847412	5,225576
459,660614	5,08758
465,619812	4,985097
470,432983	5,152318
475,246185	5,213634
481,835724	5,055665
484,815308	5,189688
490,258789	5,373407
495,014679	5,374507
500,458191	5,256942

*Annexe 8 : Détermination de la viscosité miel de sucre artisanal a T=40C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en Pas
1,9482	18,755774
5,6154	23,859386
11,1162	24,731474
16,215899	25,430597
21,6021	26,902941
25,785	28,004654
31,2285	28,806377
36,6147	28,703224
40,224602	29,112036
45,610798	30,900578
50,996998	30,673571
57,0135	32,289192
60,623398	30,02207
66,009598	30,577372
71,395805	28,928589
76,781998	29,142771
81,022202	28,841724
86,408401	27,507046
91,794601	27,011393
97,180794	27,000399
101,420998	26,84947
106,807198	26,24486
112,193398	25,806868
117,636894	25,485373
121,189499	24,910574
127,206001	24,812979
132,592194	24,920471
138,03569	24,530178
141,588303	24,516855
147,031799	23,964203
152,417999	23,494076
158,434509	23,864876
161,987091	23,706703
167,430588	23,247723
172,816803	23,328634
176,999695	23,160717

182,38591	23,201794
187,829407	22,510851
193,215591	22,11747
196,8255	20,765907
202,841995	20,930578
208,228195	21,007528
213,614395	21,088747
217,224289	21,138796
223,240799	21,04454
228,626999	21,127165
232,236893	21,300749
237,623093	21,249954
243,639587	21,375097
249,025803	21,366941
252,635696	21,061632
258,021881	21,397488
264,038391	21,147152
269,424591	21,131256
273,034485	21,11953
0	0
0	0

*Annexe 9 : Détermination de la viscosité miel de sucre commercial a T=40C° par le rhéomètre.*

GP en 1/s	Eta en Pas
1,9482	75,916229
5,6154	22,9298
11,1162	7,826416
16,215899	7,940355
19,825798	11,321612
25,785	38,329262
31,2285	29,809309
36,6147	3,469099
40,224602	5,450396
45,610798	21,325214
50,996998	3,03665
57,0135	20,936094
60,623398	4,793199
66,009598	14,919648
71,395805	2,778314
76,781998	6,707822
81,022202	3,393144
86,408401	3,101087
91,794601	3,525697
97,180794	3,742097
100,790695	3,780706
106,807198	3,486282
112,193398	3,34993
117,636894	3,431576
121,189499	3,015113
126,633003	3,187794
132,592194	3,884391
138,03569	3,655576
141,588303	3,821926
147,031799	3,325403
152,417999	3,185057
158,434509	3,690105
161,987091	3,716592
167,430588	3,211241
172,816803	3,352799
176,426697	3,264472
182,38591	3,577579

187,829407	3,149667
193,215591	3,25098
196,8255	3,129472
202,2117	3,26984
208,228195	3,200431
213,614395	3,184898
217,224289	3,228092
222,610489	3,220333
228,626999	3,272579
234,013199	3,368272
237,623093	3,339069
243,009308	3,171977
248,395493	3,222281
252,635696	3,312833
258,021881	3,257166
263,408112	3,335888
269,424591	3,293686
273,034485	3,23102
278,420715	3,318503
283,806915	3,206476
289,193085	3,261074
293,433289	3,338476
298,819519	3,243362
304,205688	3,346091
307,815613	3,295544
313,832123	3,27672
318,645294	3,314595
322,828186	3,363275
328,844696	3,317615
334,230896	3,425536
337,84079	3,502242
343,799988	3,395986
349,816498	3,491774
353,426422	3,475801
359,442871	3,480553
365,4021	3,547598
369,011993	3,635492
373,825195	3,528173
379,841705	3,696751
384,024597	3,529618
389,410797	3,73549

394,854279	3,666365
399,610199	3,762065
403,850372	3,817355
409,809601	3,719385
413,419495	3,695326
420,009003	3,745063
424,822205	3,784548
429,005096	3,844989
435,651917	4,002002
441,038086	3,99258
445,220978	4,017601
450,607178	4,023638
456,623688	3,997296
459,660614	3,91032
465,619812	4,140545
470,432983	3,794887
475,246185	3,855307
480,059418	3,523064
486,648895	3,242954
490,258789	3,187133
496,848267	3,235917
500,458191	3,435092

## Résumé :

Les sciences alimentaires font appel à la rhéologie pour déterminer la consistance des différents produits. Elle comprend principalement deux composantes : l'élasticité et la viscosité.

Notre travail consiste à étudié les propriétés rhéologiques, a l'instar la viscosité, de certains produits alimentaires commerciaux (huile d'olive, chocolat à tartiner, mayonnaise, miel de sucre ) et nous les avons préparés de manière artisanale avec des ingrédients simples en utilisant trois différentes méthodes.

✓ La première méthode a été faite en utilisant un rhéomètre (VT550) au niveau du laboratoire de l'Unité de Recherche Scientifique à l'Université de M'hamed Bougara - Boumerdes.

✓ La deuxième méthode a été réalisée de viscosimètres (ATAGO) au niveau du laboratoire de l'Institut de Technologie IT -Bouira.

✓ Et la dernière méthode est indirecte (manuelle) nous avons utilisé un viscosimètre a chute de bille (STOCK), et cette méthode avait été réalisée au laboratoire de notre faculté SNVST-Bouira.

Le but de cette étude est d'étudier la viscosité de ces produits en :

✓ Faire une comparaison entre les résultats des trois méthodes utilisé et voir la fiabilité de chaque méthode.

✓ Faire une comparaison de la viscosité entre les produits commerciaux et artisanaux.

✓ Etude l'effet de la température sur la viscosité des produits.

**Mots clés :** viscosité, rhéologie, chute de la bille, produits commerciaux, produits artisanal.

**Abstract:**

Food sciences use rheology to determine the consistency of different products. It mainly comprises two components: elasticity and viscosity.

In our work consists in studying the rheological properties, and in particular we have studied the viscosity of certain commercial food products (olive oil, chocolate spread, mayonnaise, sugar honey) and we have prepared them in an artisanal way with ingredients simple. For this study, we used three methods:

The first method was made using a rheometer (VT550) at the level of the laboratory of the Scientific Research Unit at the University of M'hamed Bougara -Boumerdes.

The second method was carried out with viscometers (ATAGO) at the level of the laboratory of the IT Institute of Technology -Bouira.

And the last method is indirect (manual) using the falling ball viscometer (HÖPPLER), and this method was in the laboratory of our SNVST-Bouira faculty .

The purpose of this study is to study the viscosity of these products by:

- ✓ Comparing the results of the three methods.
- ✓ Comparison of the viscosity of commercial and artisanal products.
- ✓ Study the effect of temperature on the viscosity of products.

**Keywords:** viscosity, rheology, ball drop, commercial products, artisanal products.

## الملخص

يستخدم علم الغذاء علم الريولوجيا لتحديد اتساق المنتجات المختلفة. يتكون بشكل أساسي من مكونين: المرونة واللزوجة -تناولنا في عملنا هذا دراسة للخصائص الريولوجية و بصفة. خاصة درسنا اللزوجة لبعض المنتجات الغذائية التجارية (زيت الزيتون، شكولاتة الطلاء، المايونيز، سكر العسل) ونفسها حضرناها بطريقة منزلية بمكونات بسيطة ومن أجل هذه الدراسة إستعملنا ثلاث طرق:

✓ الطريقة الاولى تمت بواسطة الريوماتر (VT550) على مستوى مخبر وحدة البحث العلمي بجامعة أمحمد بوثررة-

بومرداس.

✓ الطريقة الثانية بواسطة مقياس اللزوجة (ATAGO) على مستوى مخبر معهد التكنولوجيا IT -البويرة.

✓ آخر طريقة هي غير مباشرة(يدوية) بإستعمال جهاز سقوط الكرة (HÖPPLER) وهذه الطريقة كانت في مخبر

كليتنا SNVST-بويرة.

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة اللزوجة لتلك المنتجات مع:

✓ مقارنة نتائج الطرق الثلاثة.

✓ مقارنة بين لزوجة المنتجات التجارية والمنزلية.

✓ مراقبة تأثير درجة الحرارة على لزوجة المنتجات.

**كلمات مفتاحية:** اللزوجة، الريولوجيا، سقوط الكرة، منتجات تجارية، منتجات منزلية