

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 DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière :** Sciences Agronomiques
Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

Présenté par :

GACEM Soumia & OULD BEZIOU Meriem

Thème

*Etude de la viscosité de quelques produits
Alimentaires*

Soutenu le : 14 / 09 / 2019

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

HAMID Sonia

MCB

FSNVST/Univ. de Bouira

Présidente

NOURI Allaoua

MAB

FSNVST/Univ. de Bouira

Examineur

REKAB-DJABRI Hamza

MCB

FSNVST/Univ. de Bouira

Promoteur

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier « le bon Dieu »
tout puissant de nous avoir donné courage et volonté pour accomplir
ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos remerciements les plus distingués à Notre
encadreur **Mr REKAB DJABRI Hamza** pour nous avoir proposé
ce sujet, pour son orientation, ses conseils, et son aide à progresser dans
nos recherches grâce à son esprit critique et son soutien tout le long de la réalisation
de ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mme HAMID Sonia**
de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

*Nous tenons à exprimer nos très grandes considérations à **Mr**
NOURI Allaoua,
d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos sentiments de reconnaissances et nos remerciements vont
également à l'encontre de **Mr BOUKHIAR Aissa** pour son orientation,
et son soutien pendant la pratique au niveau de laboratoire de la faculté
M'hamed Bouguera-Boumerdes*

*Un grand merci pour **Mme SIHAM**
pour son soutien et son encouragement.*

*Nos remerciements s'adressent aussi, pour toute personne qui
a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation
de ce modeste travail*

*Nos plus sincères et profondes pensées s'adresse à notre famille
pour simplement avoir été là en toutes circonstances pour nous avoir
toujours compris, soutenus dans nos choix et de nous avoir donné la force de
réaliser ce travail, quelles trouvent ici l'intensité de notre amour et de notre reconnaissan*

Dédicaces

Avec un énorme plaisir et un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie ce travail :

*À mon très cher père
pour sa confiance, ses encouragements, ses sacrifices
et son soutien dans toute ma carrière d'étude
dès le premier pas jusqu'à ce jour-là, qui a toujours été là pour moi et qui m'a appris que la
patience est le Secret du succès,
J'espère qu'il trouve dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour. Que dieu le
protège et les entoures de sa bénédiction*

*A celle qui attendue avec patience les fruits de sa bonne éducation, qui m'a tout donné, qui a
toujours été là pour moi, qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et persévérance, à celle
qui m'acceptera toujours comme je suis sans demande d'échange, à celle qui tient le paradis
sous ses pieds, à mon ange, à ma mère.
Merci *maman*, que Dieu te donne santé et langue vie.*

A la mémoire de mon grand-père, que Dieu l'accueille en son vaste paradis.

*A mes irremplaçables sœurs, *Imane* et *Aya*, les quelles j'ai partagé tous mes secrets et mes
bons et mauvais moments.
je vous souhaite du succès dans vôtres vie.*

*A mon héros, à mon frère unique *Mahdi*, je te souhaite
la réussite dans tes études mon chéri.*

*A ma petite et mon ange, à mon trésor, ma princesse,
ma nièce *Fasnim*. Un grand bisou à toi *Fissou*.*

*A tous ceux qui m'ont soutenue, en exclusivité : *ABD El Latif*.*

*À toutes mes amies :
*Leila-Lacticia-Sarra-Yasmine-Ismaïhan-Marwa**

*A ma très chère et mon binôme *Meriem* et sa famille.*

A ma promotion «Master 2 Agroalimentaire et control de qualité 2019-2020 »

Soumia

| | |
|--------------------------|-----------|
| Introduction..... | 01 |
|--------------------------|-----------|

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les produits alimentaires étudiés

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| I.1. Généralité sur le secteur alimentaire | 03 |
| I.2. Différents type d'industrie alimentaire..... | 03 |
| I.2.1. Industrie des huiles alimentaires..... | 03 |
| I.2.1.1. Huile d'olive | 04 |
| I.2.1.2. Huile de tournesol..... | 06 |
| I.2.2. industrie sucrière | 09 |
| I.2.2.1. sucre liquide (sirop de glucose) | 09 |
| I.2.2.2. Miel de sucre (succédané du miel) | 11 |
| I.2.3. Industrie des émulsions (assaisonnement) | 13 |
| I.2.3.1. Mayonnaise | 13 |
| I.2.3.2. Vinaigrette | 15 |

Chapitre II : propriétés rhéologiques (viscosité)

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Introduction..... | 17 |
| II.1. Définition de la viscosité..... | 17 |
| II.2.Qu'est-ce qu'un fluide ?..... | 18 |
| II.3. Les types de fluides..... | 18 |
| II.3.1. Les fluides newtoniens..... | 18 |
| II.3.2. Les fluides non newtoniens..... | 18 |
| II.4. Objectif de la mesure de la viscosité..... | 20 |
| II.5.les types de la viscosité | 20 |
| II.5.1.viscosité dynamiques | 20 |
| II.5.2.viscosité cinématique | 21 |
| II.6.Facteurs affectant la viscosité | 21 |
| II.6.1.Conditions de mesure | 21 |
| II.6.2.Température | 21 |
| II.6.3.Gradient de vitesse et force de cisaillement | 21 |
| II.6.4.Temps | 22 |
| II.6.5.Composition et additifs..... | 22 |
| II.6.6.Historique de l'échantillon | 22 |

| | |
|--------------------------------------------|----|
| II.7.Nature de régime de l'écoulement..... | 22 |
| II.7.1.Régime laminaire | 22 |
| II.7.2.Régime turbulent | 22 |
| II.8.méthode de Mesure de viscosité | 23 |
| II.8.2.méthode indirecte (manuelle)..... | 26 |

Partie expérimental

Chapitre I : Matériels et méthodes

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| I-1- Echantillonnage..... | 27 |
| I -2- Objectif de choix de ces produits..... | 27 |
| I-3- Objectif d'étude..... | 27 |
| I-4- Techniques de mesure de la viscosité..... | 28 |
| I-4-1-Méthode directe par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB)..... | 28 |
| I-4-2- Méthode indirecte par la chute de bille (Méthode de Stock)..... | 33 |

Chapitre II : Résultats et discussion

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.1. Détermination de la viscosité..... | 40 |
| II.1.1. Détermination de la Viscosité de l'échantillon d'huile d'olive..... | 40 |
| II-1.2. Détermination de la Viscosité de l'échantillon d'huile de tournesol..... | 42 |
| II-1.3. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de sucre de miel..... | 44 |
| II-1.4. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de vinaigrette..... | 45 |
| II-1.5. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de sucre liquide..... | 47 |
| II -1.6. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de mayonnaise..... | 48 |
| II.2. Interprétation des résultats..... | 53 |
| II.3. détermination de Types des fluides (Echantillons) utilisés..... | 55 |
| II.4. Influence de la température sur la viscosité..... | 55 |
| Conclusion..... | 59 |
| Référence bibliographiques | |

Liste des figures

| Figure | Titre | Page |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| Figure 1 | Image correspondante à la plante et huile d'olive | 04 |
| Figure 2 | procédé d'extraction d'huile d'olive continue a trois phases | 05 |
| Figure 3 | Image correspondante à la plante et huile de tournesol | 06 |
| Figure 4 | Image correspondante au sucre liquide (sirop de glucose) | 09 |
| Figure 5 | Image correspondante au miel de sucre (succédanée du miel) | 11 |
| Figure 6 | Image correspondante au Mayonnaise et ses composants essentiels | 13 |
| Figure 7 | Image correspondante à la sauce vinaigrette | 15 |
| Figure 8 | Fluide newtonien | 19 |
| Figure 9 | Fluide non newtonien. | 20 |
| Figure 10 | types d'écoulement (laminaire, turbulent) | 22 |
| Figure 11 | viscosimètre d'Hoppler | 24 |
| Figure 12 | viscosimètre d'Oswald | 24 |
| Figure 13 | Viscosimètre Hubbelohde | 24 |
| Figure 14 | viscosimètre fungilab | 25 |
| Figure 15 | viscosimètre Brookfield | 25 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 16 | viscosimètre vibrant | 25 |
| Figure 17 | L'appareil vu de face (viscosimètre FUNGILAB) | 28 |
| Figure 18 | Tiges accompagnant le viscosimètre FUNGILAB | 29 |
| Figure 19 | préparation de produit pour la mesure (méthode directe) | 30 |
| Figure 20 | Choix de tige idéale | 31 |
| Figure 21 | Lecture de résultat de viscosité | 32 |
| Figure 22 | Chauffage de produit par un bain marie | 32 |
| Figure 23 | Chauffage de produit par une plaque chauffante | 32 |
| Figure 24 | Contrôle de température par un thermomètre | 33 |
| Figure 25 | Les trois forces appliquées à la bille | 34 |
| Figure 26 | Préparation de produit pour la mesure (méthode de stock) | 36 |
| Figure 27 | Chute de bille dans le liquide | 37 |
| Figure 28 | Influence de la température sur la viscosité d'huile de tournesol | 55 |
| Figure 29 | Influence de la température sur la viscosité d'huile d'olive | 56 |
| Figure 30 | Influence de la température sur la viscosité d l'huile de tournesol | 56 |
| Figure 31 | Influence de la température sur la viscosité de sucre de miel | 56 |
| Figure 32 | Influence de la température sur la viscosité de la vinaigrette | 57 |
| Figure 33 | Influence de la température sur la viscosité de sucre de miel | 57 |
| Figure 34 | Influence de la température sur la viscosité de sucre liquide | 57 |

Liste des tableaux

| Tableau | Titre | page |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tableau 1 | Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (Huile d'olive) | 40 |
| Tableau 2 | valeurs de la viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (Huile d'olive) | 42 |
| Tableau 3 | Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (Huile de tournesol) | 42 |
| Tableau 4 | valeurs de la viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (Huile de tournesol) | 43 |
| Tableau 5 | Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (Sucre de miel) | 44 |
| Tableau 6 | valeurs de la viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (Sucre de miel) | 45 |
| Tableau 7 | Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (vinaigrette) | 46 |
| Tableau 8 | valeurs de la viscosité obtenues par la méthode chute de bille (vinaigrette) | 47 |
| Tableau 9 | Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (sucre liquide) | 47 |
| Tableau 10 | valeurs de la viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (sucre liquide) | 48 |
| Tableau 11 | les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (Mayonnaise) | 48 |
| Tableau 12 | les calculs de l'incertitude des mesures pour huile d'olive | 51 |
| Tableau 13 | Les calculs de l'incertitude des mesures pour huile de tournesol | 51 |
| Tableau 14 | Les calculs de l'incertitude des mesures pour sucre de miel | 52 |
| Tableau 15 | Les calculs de l'incertitude des mesures pour la vinaigrette | 52 |
| Tableau 16 | Les calculs de l'incertitude des mesures pour le sucre liquide | 52 |

Liste des abréviations

| | |
|--------|-----------------------------------|
| AG | Acides gras |
| cm | Centimètre |
| cP | Centpoise |
| cts | centistokes |
| C° | Degré Celsius |
| D | Diamètre |
| DE | Dextrose équivalent |
| FAO | Food and agriculture organisation |
| F_a | Poussé d'Archimède |
| F_f | Force de stocks |
| h | Hauteur |
| g | Accélération de la pesanteur |
| kg | Kilogramme |
| m | Mètre |
| ml | Millilitre |
| mn | minute |
| mPa .s | Milli pascale. seconde |
| P | poids |
| Pa.s | Pascale. seconde |
| PL | poiseuille |
| Po | poise |
| r | Rayon de la bille |
| Re | Nombre de Reynolds |
| rpm | Rotation par minute |
| S | Seconde |
| SP | Tige sélectionnée |
| t | temps |
| T/mn | Tour par minute |
| T° | Température |
| v | Vitesse |
| V_m | Vitesse circulatoire moyenne |

| | |
|--------------|-----------------------------|
| x | Hauteur d'éprouvette |
| ρ | Masse volumique |
| ρ_b | Masse volumique de bille |
| ρ_l | Masse volumique de liquide |
| % | Pourcentage |
| $\Delta\eta$ | Incertitude de la viscosité |
| π | 3,14 |

Le domaine de l'industrie agroalimentaire est l'un des secteurs qui évolue de jour en jour, c'est un utilisateur important des produits agricoles. Son principal défi aujourd'hui et 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**).

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**).

La texture est une propriété organoleptique majeure des produits alimentaires. Évaluée en analyse sensorielle, pour l'industriel, la connaissance des propriétés structurales des produits, devient donc nécessaire pour créer, modifier et produire des aliments avec des propriétés de texture maîtrisée (**SCHER, 2006**). Donc dans la perception la plus immédiate, cette industrie apparaît comme ayant pour but de transformer la matière en vue de lui conférer des propriétés (physiques, chimiques, biologiques) (**DOUMBIA, 1991**).

Parmi les propriétés physiques existantes, on trouve ce qu'on appelle les propriétés rhéologiques. Ces propriétés nous aident à comprendre les fluides sur lesquels nous travaillons de sorte que nous puissions avoir comment ils se comportent, ou comment les forcer à se comporter de la façon désirée (**BADAoui, 2012**).

La viscosité est l'un des principaux paramètres rhéologiques mesurés lors de l'étude de l'écoulement de fluides. Dans cette étude nous nous intéressons principalement aux produits alimentaires dans l'état fluide. Les mesures de la viscosité sont en générale liées à la qualité et aux performances d'un produit fini (huile, sauces, miel...) (**CARRE et al, 1994**).

Nombreuses méthodes de mesure de la viscosité des liquides ont été soigneusement décrites. Chacune adaptée à des cas et matériaux, dans notre étude nous allons mettre en évidence une méthode de mesure directe par un viscosimètre rotatif « FUNGILAB », et d'autre méthode indirecte par un principe de chute d'une bille « méthode de stock ».

Notre étude a pour objectif de déterminer la viscosité de quelques produits alimentaires, tels que : huiles, mayonnaise, vinaigrette, sucre de miel, sucre liquide , par deux méthodes différents (par le viscosimètre « FUNGILAB » et par la méthode des Stock), et de confirmer la fiabilité de cette dernière méthode utilisé par nos étudiants de deuxièmes année dans notre faculté SNV.

Pour cela notre travail a été réparti comme suit :

- Une première partie, bibliographique, qui s'articule autour de deux chapitres, dans lesquelles nous rapportons des généralités sur les produits alimentaires utilisés pour cette étude, et sur la propriété rhéologique étudiée (la viscosité a en particulier).
- Nous avons devisé la deuxième partie, en deux chapitres:
 - ❖ Dans le premier nous décrivons les modes opératoires et leurs principes réalisés pour la détermination du caractère physique (la viscosité).
 - ❖ Dans le 2eme chapitre de cette partie, nous discutons les différents résultats obtenus.

En fin, nous terminerons ce travail avec une conclusion et quelques perspectives.

I.1. Généralité sur le secteur alimentaire

Le secteur agroalimentaire (IAA) est une étape importante dans la chaîne alimentaire quel que soit le niveau de transformation. Ce secteur vise essentiellement à transformer des matières premières d'origine agricole ou de la pêche en aliments industriels destinés essentiellement à l'alimentation humaine ou animale (**BOUKELLAM, 1996**).

- ❖ Selon le ministère de l'agriculture et de la pêche (2002), dans la chaîne alimentaire, la fonction des IAA est essentielle, elle consiste de : (**TAIBI, 2005**).
- ❖ La production de produit alimentaire de qualité en termes de conservation, d'hygiène, de sécurité et de critères organoleptiques, répondant aux attentes du consommateur.
- ❖ La fabrication et la commercialisation des nouveaux produits issus des recherches et de l'innovation.
- ❖ La préparation, le conditionnement, et l'expédition des produits vers les centres de distribution.
- ❖ Des actions de promotion, d'information du consommateur (**TAIBI, 2005**).

Le système d'assurance de la qualité permettant l'application et la vérification des mesures de contrôle nécessaire à chaque étape de la chaîne alimentaire afin de maintenir la qualité et la sécurité des aliments produits, la conformité avec la réglementation et les exigences des clients (**COULOMB, 2002**).

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'autres mélanges (yaourt, ketchup, moutarde...) (**AYOUAZ et BENMAMAS, 2017**).

I.2. Différents types d'industrie alimentaire

I.2.1. Industrie des huiles alimentaires

Les huiles et les graisses alimentaires sont préparées à partir de graines ou de fruits oléagineux, germes ou pépins de production végétale diverse et de tissus adipeux d'animaux terrestres ou marins. On différencie généralement les huiles des graisses par leur point de

fusion. Les huiles sont des corps gras liquides à la température de 15°C alors que les graisses sont plus ou moins solides à cette température (**BARKA , 2016**).

Les huiles alimentaires sont les huiles végétales utilisées en cuisine comme huiles de cuisson ou pour des fritures .Ce sont donc, des aliments importants qui apportent chacune des nutriments très bénéfiques à la santé humaine (**AYOUAZ et BENMAMAS , 2017**).

Les huiles alimentaires d'origine végétale sont obtenues par extraction des grains oléagineux (sésame, soja, colza, tournesol, arachide, ...etc) ou de fruits oléagineux comme l'huile de coprah, olive, palme) (**UZZAN, 1984**).

Il existe une panoplie d'huiles alimentaires d'origine végétale très utilisées et très appréciées par le consommateur parmi elles :

I.2.1.1. Huile d'olive



Figure 1 : Image correspondante aux fruits et huile d'olive (**Anonyme 5**).

I.2.1.1.1. Définition

Selon Codex « C'est L'huile provenant uniquement de l'olivier (*Olea europaea L.*) à l'exclusion des huiles obtenues par solvants ou par procédés de réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature » (**ROEHLLY , 2002**).

I.2.1.1.2. Catégories

Selon des critères chimiques et organoleptiques, Il existe différentes catégories :

- ❖ **Huile d'olive vierge**: son acidité libre est de 2% au maximum.
- ❖ **Huile d'olive vierge extra** : son acidité libre est au maximum 0,8%.
- ❖ **Huile d'olive vierge courante** : son acidité libre est de 3,3 % au maximum.
- ❖ **Huile d'olive vierge lampante** : son acidité libre est supérieure à 3,3 %.

- ❖ **Huile d'olive raffinée** : son acidité libre est au maximum 0,3%
- ❖ **Huile d'olive** : constituée par le coupage d'huile d'olive raffinée et vierge, son acidité libre est au maximum de 1 % (**BOUNCER et DJADOUNE, 2012**).

I.2.1.1.3. Composition

L'huile d'olive est composée, d'une fraction saponifiable (98% de l'huile d'olive) (**AZZEZ et al., 2006**), constituée de triglycérides et acides gras. La composition en acides gras et triglycérides de l'huile d'olive dépend de la variété, du degré de maturité des olives et du climat (**MOUSSOUNI et ZAIDI, 2017**). Et d'une fraction insaponifiable, représente 2 % du poids total de l'huile (composants mineurs: Stérol, phénol .Dialcools tri terpénique, Vitamine : A.D.E.K, cires, matières volatiles, Métaux lourds, Cuivre) (**SERVILI et al., 2002**).

I.2.1.1.4 Procédé d'extraction

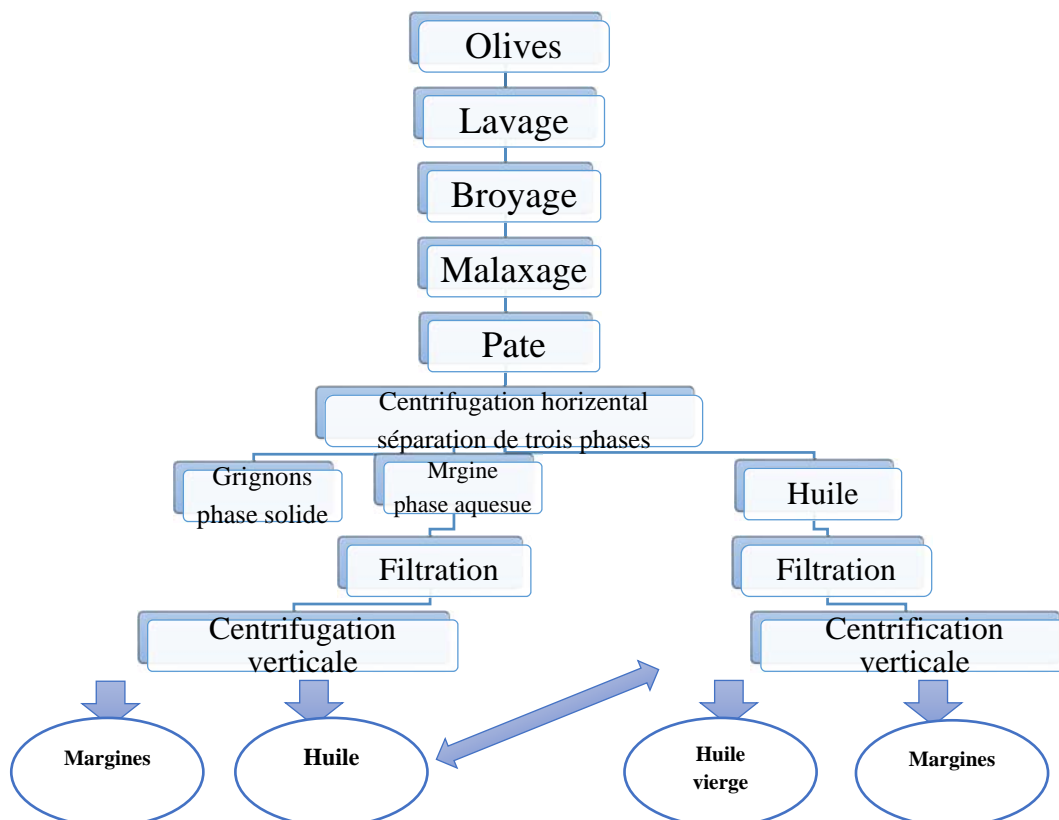


Figure 2 : Procédé d'extraction d'huile d'olive continue a trois phases (**BOUNCER et DJADOUNE, 2012**).

I.2.1.1.5. Conservation

- ❖ L'huile d'olive Conservée à l'abri de la lumière.
- ❖ La température idéale pour conserver l'huile d'olive est d'environ 18 °C.
- ❖ Ne la placez jamais au réfrigérateur, pour éviter qu'elle ne se fige.
- ❖ La durée de conservation est de 18 mois (**BOURACHOUCHE et BOUDEI , 2017**).

I.2.1.1.6. Utilisation et importance

Sont utilisées principalement dans le domaine alimentaire, comme huiles de table, huile de friture, pour la fabrication de la margarine et des graisses émulsionnables, ainsi pour la fabrication des produits cosmétiques (**CHEFLET ,1997**). Également pour la santé car elles apportent les acides gras nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme (**UZZA , 1992**).

I.2.1.2. Huile de tournesol



Figure 3 : Image correspondante aux grains et huile de tournesol (**Anonyme 5**).

I.2.1.2.1. Définition

L'huile de graine de tournesol est obtenue à partir de *Helianthus annuus* (plante oléagineuse annuelle dont le nom scientifique est *Helianthus annuus*). L'appellation Tournesol provient de sa tendance à se tourner vers le soleil pendant la journée. En grec *Heli* signifie soleil et *anthos* signifie fleur) (**BOUNCER et DJADOUNE , 2012**).

Cette huile, de première pression à froid, est de saveur douce, d'odeur légère et agréable, sa couleur varie entre le jaune pâle et le jaune orangé. C'est une très bonne huile de table dont le goût discret (**COSSUT et al, 2002**).

I.2.1.2.2. Composition

L'huile de tournesol est majoritairement constituée de triglycérides ou triacylglycérols (95 à 99% d'huile), contenant les acides gras. Les 1 à 5% restants renferment des composés dits « mineurs » en raison de leur faible teneur, tels que des hydrocarbures, des alcools aliphatiques et triterpéniques, des tocophérols et des stérols (ROCHE, 2005). Ces substances diverses regroupées sous le terme de « fraction insaponifiable ». (BOURACHOUCHE et BOUDEI, 2017).

✓ **Composition en acides gras :**

AG mono insaturé : 26% à 32% d'acide oléique (oméga-9).

AG poly insaturés : 64% à 66% d'acide linoléique (oméga-6).

AG saturé : 5% à 6% d'acide palmitique, à 5% d'acide stéarique (CAMPBELL, 1983).

I.2.1.2.3. Extraction de l'huile de tournesol

✓ **Préparation des graines**

La préparation des graines ou des fruits joue un rôle très important dans la qualité de l'huile. Elles sont tout d'abord triées, puis subissent un dépoussiérage par un courant d'air (15 - 90 mn à 90 - 100°C) suivi d'un tamisage et d'un brossage, puis elles sont broyées dans le but de réduire les graines entières en fractions de granulométrie optimale (BOUNCER et DJADOUNE, 2012).

✓ **Extraction**

L'huile contenue dans une graine de tournesol est extraite selon deux méthodes :

- Extraction mécanique par pression.
- Extraction chimique par solvant.

Extraction mécanique par pression : C'est une opération qui consiste à presser la matière première dans des presses à vis en continu. A la fin on obtient d'une part "l'huile brute" et d'autre part, un résidu solide ou "tourteau" qui contient 10 à 20% d'huile (CAMPBELL, 1983).

Extraction chimique par solvant : Le solvant le plus utilisé est l'hexane. Le principe de cette opération consiste à faire circuler à contre-courant dans l'extracteur le tourteau avec l'hexane. Le mélange ainsi obtenu (huile – hexane) et débarrassée du solvant au moyen d'une distillation. On répète cette opération sur le tourteau afin de lui enlever le maximum de l'huile. A la fin, le solvant est récupéré pour de nouvelles utilisations, alors que le tourteau est valorisé en tant que nourriture pour les animaux (**MOUSSOUNI et ZAIDI, 2017**).

✓ **Raffinage**

- **Dégommage** : Permet d'enlever les composés qui perturbent le goût, permet aussi d'améliorer la stabilité de l'huile.

- **Neutralisation** (supprimer les acides gras libres) : Une fois neutralisé, l'huile est lavée à l'eau pour éliminer les traces de savon (**POUZET, 1992**).

- **Filtration ou Centrifugation** (supprimer des cires).

- Finalement, l'eau est injectée sous forme de gaz dans l'huile maintenue sous vide à une température entre (220 à 275°C) entre 1h30 et 3 h pour une meilleure conservation (**RODRIGUEZ et JUAN, 1999**).

I.2.1.2.4. Utilisations et importance

Le principal domaine d'application des huiles de tournesol est l'alimentation humaine comme huile de salade, huile de cuisine (cooking oil) ou pour la fabrication de margarine (**DEBRUYNE, 2001**).

Sa richesse en acide linoléique, acide gras essentiel, exerce une action sur la peau, les muqueuses, le système endocrinien et nerveux. Son activité est surtout remarquable en cas d'hypercholestérolémie et d'athérosclérose, et de manière générale dans toutes les maladies cardio-vasculaires (**COSSUT et al., 2002**).

I.2.1.2.5. Conservation

Se conservent jusqu'à 18 mois, pour garder une huile de haut qualité.

Un emballage plastique mais de préférence en verre pour limiter le contact de l'huile avec la lumière (**EVARD et al., 1986**).

I.2.2. Industrie sucrière

L'objectif des sucreries est de partir d'une matière première la plus pure possible et de produire, avec un rendement optimum, un sucre de qualité. La sucrerie est donc principalement une industrie de séparation et de purification. Un grand nombre d'opérations unitaires de séparation sont ainsi mises en œuvre (AGVENI et BOVROVINA,2012).

I.2.2.1. Sucre liquide (sirop de glucose)



Figure 4 : Image correspondante au sucre liquide (sirop de glucose) (Anonyme 5).

I.2.2.1. 1. Définition

Le sirop de glucose est un glucide pur fabriqué à partir d'amidon de maïs ou de fécula de pommes de terre, il a un pouvoir sucrant moins élevé que celui du sucre, a une texture assez visqueuse et se présente sous la forme d'un sirop épais et incolore (BELTI et HADDAR, 2016).

Il existe plusieurs types de sirop de glucose, définie par le DE (Dextrose Équivalent) qui est le résultat d'une hydrolyse totale de l'amidon, indique le pouvoir de rétention d'eau d'un sirop de glucose

Plus le DE est élevé, plus le sirop moins visqueux (humide) et inversement.

- le sirop de glucose a DE plus bas (30) à une texture assez visqueuse, pâteuse et collante.

- le sirop de glucose a DE élève (autour de 70) est plus fluide (VAN, 2006).

I.2.2.1.2. Fabrication de sucre liquide (Fabrication de sirop de glucose à base de grain de maïs)

✓ Transformation de graine de maïs en amidon

- **Mouture humide:** le maïs trempe dans l'eau quelques jours à une température de 40°C.

- **Tamissage:** dans un moulin.
- **Nettoyage et filtrage.**
- **Séchage:** pour devenir l'amidon natif (**MATHLOUTHI,2004**).

✓ Hydrolyse de l'amidon

C'est la transformation la plus importante, Sous l'action de la chaleur et d'enzymes choisies avec soins, l'amidon subit une hydrolyse qui produit de plus petites chaînes de glucose, on parle de saccharification de l'amidon, qui engendre des produits plus ou moins hydrolysés contenant une vaste gamme de pouvoir sucrant (**MATHLOUTHI, BARBARA,2001**).

I.2.2.1.3. Utilisations

- ❖ Pâtisserie : éclairs - madeleine-macaron.
- ❖ Confiserie : bonbons-nougats-ruits confits.
- ❖ Aussi leur utilisation conjointe avec d'autre sucre (permet de bénéficier des propriétés de chacun) (**AISSIOU et BOUZANBOUA,2012**).

I.2.2.1.4. Importance

- ❖ Permet d'empêcher la cristallisation de sucre (Anti cristallisation de sucre) dans les bonbons et confitures.
- ❖ Evite la cristallisation de l'eau de la congélation (Anti cristallisation de l'eau) dans les crèmes glacés.
- ❖ Améliore le moelleux des gâteaux (Madeleines- cookies).
- ❖ Evite le dessèchement de la pâte d'amande et des fruits confits.
- ❖ Assure une meilleure stabilité et une plus longue conservation aux produits qui en contiennent (**AISSAOUI et BOUZANBOUA, 2012**).

I.2.2.1.5. Conservation

Conservation dans un placard, il ne doit pas être exposé à la chaleur, ne pas placer le flacon au réfrigérateur (**EMILIE, 2006**).

I.2.2.2. Miel de sucre (Succédanée du miel)



Figure 5 : Image correspondante au miel de sucre (succédanée du miel) (Anonyme 5).

I.2.2.2. 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 (BAHIRINA et HADDAR, 2016).

I.2.2.2.2. Fabrication de sucre de miel

✓ Fabrication de sucre blanc (Saccharose)

Le saccharose est un composé organique mieux connu comme sucre de table, il est inodore, blanc, est une poudre cristalline qui a un goût sucré (BAHIRENA, CHEFAI, 2018).

Le sucre blanc utilisé dans la fabrication de miel de sucre est extrait de canne de sucre qui doit être traité immédiatement afin de ne pas perdre trop de son teneur en saccharose selon les étapes suivantes :

- **Réception et préparation de plante :** Élimination des poussières et lavage dans un fort courant d'eau (DECLoux, 2002).

-**Extraction de jus :** L'extraction de jus de canne à sucre (vesou) se fait par broyage dans une série de moulins successifs pour avoir un jus liquide de couleur brune est aussi un résidu fibreux (AZRATE, 2005).

-**Épuration de jus :** Le vesou est épuré par tamisage pour enlever les impuretés (ROMMAIN et al., 2007).

-**Évaporation :** La solution sucrée résulte par l'étape d'épuration (13% de sucre et 87 % d'eau) doit être concentré par évaporation de l'eau.

Après cette étape, le sirop est de couleur jaune brun plus concentré contient 60% à 70% de saccharose (RAGEOT et RENE, 2004).

- **Cristallisation** : Cette étape consiste à chauffer le sirop à une température de 80°C dans une cuve vide pour qu'il se concentre le plus en plus jusqu'à la formation des cristaux.

Les cristaux obtenus sont lavés par pulvérisation, ils contiennent 99.9% de saccharose **(RAGEOT et RENE, 2004)**.

-**Turbinage** : La masse cuite subit une centrifugation pour séparer les cristaux de saccharose de l'eau amère qui les enrobe **(HUGOTE, 1986)**.

-**Séchage** : Le sucre cristallisé blanc séché par un air chaud puis un refroidissement **(DELOUX, 2003)**.

✓ **Fabrication de sucre de miel**

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.

I.2.2.2.3. Utilisations

- ❖ Les boissons
- ❖ Boulangerie
- ❖ Confiserie **(BELTI et HADDAR, 2016)**.

I.2.2.2.4. 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.2.2.2.5. 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 **(EMILIE, 2006)**.

I.2.3. Industrie des émulsions (Assaisonnement)

I.2.3.1. Mayonnaise



Figure 6 : Image correspondant au Mayonnaise et ses composants essentiels
(Anonyme 5).

I.2.3.1.1. Définition et composition

La mayonnaise est une émulsion constituée essentiellement d'huile de consommation d'origine végétale, de vinaigre et de jaune d'œuf comme ingrédients obligatoires. D'autres produits auxiliaires dont la mission est d'influencer les caractéristiques physiques et organoleptiques peuvent être ajoutés, tels : eau, sucre, sel, épices, arômes et condiments etc... (GRAILLE, 2003).

I.2.3.1.2. Rôle des composants

Matières premières

❖ 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 (PALMA et al., 2012).

D'un autre côté, il contribue à assurer une certaine propreté microbologique (FERIEL et al.,2008).

Autres ingrédients et additifs

❖ Sucre : modifier le goût lors de la dégustation.

❖ Sel : la stabilité et le goût de la mayonnaise.

❖ 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.2.3.1.3. Fabrication 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...**(ARDITTY,2014)**.

- ✓ 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.2.3.1.4. Conservation

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

Conservée à des basses températures (réfrigérateur) durant le stockage et aussi après l'ouverture **(FERIEL et al.,2012)**.

I.2.3.2. Vinaigrette



Figure 7 : Image correspondante à la sauce vinaigrette (Anonyme 5).

I.2.3.2.1. Définition

Est une sauce condimentaire fluide à base d'huile végétale, de vinaigre de fermentation d'origine agricole. Eventuellement complétée d'autres ingrédients, la vinaigrette peut être aromatisé (AYOUAZ et BENMAMAS ,2017).

I.2.3.2.2. Composition

La vinaigrette Composé essentiellement de :

✓ Vinaigre

Définition

Selon (FAO ,1987), le vinaigre est un liquide adapté pour la consommation humaine ; produit à partir du matériel approprié d'origine agricole, renfermant dans sa composition de l'amidon et/ou des sucres, il contient une quantité indiquée d'acide acétique obtenu par le processus du double fermentation, alcoolique et acétique (TESFAYE, 2002).

Composition du vinaigre

Le principal constituant du vinaigre est l'acide acétique.et des autres composants secondaire tel que l'acide tartrique, l'acide succinique et les matières azotées, et d'autres composés : (Alcool résiduel 0,5%, Acétate d'éthyle, composés volatils, butylène, glycol, acétone) (BENHAMED, 2007).

Fabrication de vinaigre

Le vinaigre résulte d'une double fermentation alcoolique et acétique. Ces dernières permettent de transformer un aliment en modifiant dans un sens favorable ses propriétés

La fermentation alcoolique : la fermentation alcoolique se déroule en milieu anaérobie (BENAOUN, 2007), les sucres fermentescibles initiaux présents dans la matière première sont transformés en alcool par les levures à une température ambiante pendant quelque jour (BOUKHIAR, 2009).

La fermentation acétique : transformation d'alcool produit en acide acétique à une température de 25 à 30°C en présence d'oxygène

Cette fermentation se matérialise par l'apparition d'un voile léger qui va s'enfoncer petit à petit et se transforme en une masse gélatineuse appelée « mère de vinaigre » (GUIRAD, 2003).

- ✓ **L'huile**
- ✓ **Poivre**, Améliorer le goût
- ✓ **Sel**, Contribue à la saveur et à la stabilité de la vinaigrette
- ✓ **Moutard**, Permettra de stabiliser l'émulsion huile et vinaigre et parfume la vinaigrette (BENHAMED, 2007).

I.2.3.2.3. Fabrication de vinaigrette

Pour obtenir la sauce de vinaigrette, ces ingrédients sont combinés et mélangés dans un mélangeur.

I.2.3.2.4. Conservation

Nous pouvons conserver la vinaigrette plusieurs jours à condition qu'elles reposent au frais à l'abri de la lumière et de chaleur dans un bocal hermétique. Avant de la consommer, il faudra l'émulsionner à nouveau (MARIELLE, 1998).

Introduction

Les aliments sont des matériaux vivants, subissant constamment des modifications de forme, de taille, et de structure. Ils sont sensibles à plusieurs facteurs comme l'humidité, la température, l'oxygène, ...etc. Le produit alimentaire est donc étudié principalement sous des aspects nutritionnels, d'une part, et biochimiques, d'autre part, puisque la majeure partie des transformations qui se déroulent dans l'aliment au cours des opérations technologiques ou de conservation sont des opérations à caractère biochimique. **(HASSANI et IKNI, 2017).**

Cependant, lors de la préparation, de la transformation ou de la formulation des matières premières, de nombreuses techniques sont employées et de nombreuses interactions ont lieu entre les constituants qui viennent modifier profondément et de façon irréversible la texture de ces matériaux. Alors Le produit alimentaire est aussi un matériau sur lequel il peut être intéressant de mesurer des propriétés physiques ou chimiques. Pour mesurer ces propriétés physiques, on a coutume d'utiliser des méthodes rhéologiques **(SCHER, 2006).**

Le terme rhéologie a été utilisé pour la 1^{ère} fois en 1929 par Eugène Cook Bingham. Il provient des deux racines grecques : " rhéo " qui signifie " couler " et "logos" qui signifie "l'étude". La rhéologie est l'étude des changements de forme et de l'écoulement de la matière, et plus précisément de la viscosité des matériaux sous l'action de différentes contraintes. **(DARWICH, 2002).**

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).**

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons principalement à la viscosité, qui est définie comme étant la friction interne d'un fluide, causée par les interactions moléculaires, qui le rend résistant à l'écoulement.

II.1. Définition de la viscosité

La viscosité (du latin viscum, gui) est un paramètre important de la qualité de la pluparts des produits finis. C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un corps à s'opposer au cisaillement **(AYYOUAZ et BENMAMAS, 2017)**, peut être aussi défini comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière.

On considère idéalement un liquide au repos comme un ensemble de couches moléculaires parallèles. Soumise à une contrainte tangentielle, une des couches du liquide se déplace par rapport à celle qui lui est sous-jacente en raison du frottement permanent sur les molécules de la seconde couche, le mouvement est transmis partiellement à cette dernière, en même temps que la vitesse de déplacement de la première couche diminue. Cet effet de retard, provoqué par la friction interne des molécules de la couche sous-jacente sur celle de la couche supérieure, est appelé la viscosité (SCHER, 2006).

La viscosité se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse.

On peut donc dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide (CARRE et al., 1994).

II.2. Qu'est-ce qu'un fluide ?

Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres (ELGUERRI, 2015), Un fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler (FASSI F, 2018 ; HAMDADOU, 2017).

Un fluide est défini comme une substance qui se déforme continuellement sous l'action d'une tension de cisaillement. La viscosité d'un fluide représente la mesure des frictions internes. Autrement dit, la viscosité est la mesure de la résistance du fluide au cisaillement, et nous allons l'examiner sous cet aspect (COMOLET, 1982).

II.3. Les types de fluides

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

II.3.1. Les fluides newtoniens: sont considérés comme fluide newtoniens, l'ensemble des matériaux fluides dont la loi de comportement est conforme à la loi de Newton qui établit une proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et le gradient de vitesse de cisaillement (DRISSA, 2011 ; SOURDELET, 2018).

Un fluide est dit newtonien dans le cas où les contraintes sont par définition des fonctions linéaires du taux de déformation du milieu. (MOUMEN, 2010).

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

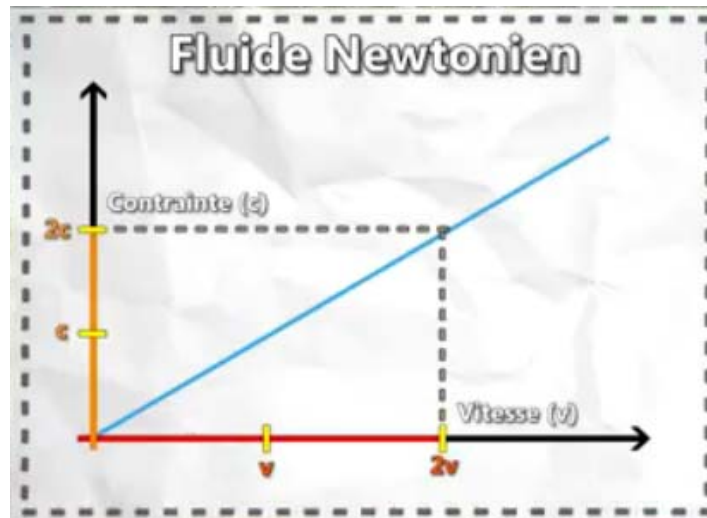


Figure 8 : Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide newtonien) (SOURDELET, 2018).

II.3.2. Les fluides non newtoniens : Les fluides non newtoniens ont la particularité d'avoir une viscosité variable en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent. La viscosité diminue lorsque le gradient de vitesse augmente.

Les fluides non newtoniens regroupent tous les fluides qui n'ont pas un comportement newtonien (GIBOUIN, 2015).

On distingue :

- **Fluides rhéofluidifiants (pseudo plastiques)** : La viscosité de ces fluides diminue si la contrainte augmente.
- **Fluides à seuil ou plastiques ou fluides de Bingham** : Ces fluides ne s'écoulent que si la contrainte appliquée est supérieure à une valeur seuil.
- **Fluides rhéoépaississants** : Ces fluides voient leur viscosité s'accroître lorsque la contrainte augmente.
- **Fluides thixotropes** : Les fluides thixotropes sont des fluides ayant une mémoire à courte et à grande échelle. Le comportement à un instant d'un fluide thixotrope est fonction des contraintes subies dans un passé récent (mémoire à courte échelle). Lorsque la contrainte disparaît, le fluide recouvre ses propriétés d'origine (mémoire à grande échelle) (SALLOUM, 2008).

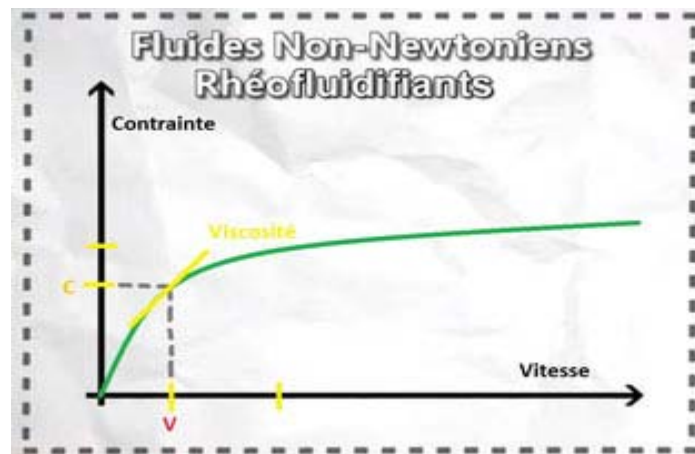


Figure 9 : Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide non-newtonien) (SOURDELET, 2018).

II.4. 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 (HARCHELLE, 1997).

II.5. Les types de la viscosité

Il existe trois types de viscosité :

II.5.1. Viscosité dynamiques

La viscosité dynamique η 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 (MESSADI, 2011).

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 au 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) (DARWICH, 2012 ; ADRIEN, 2017)

(Et celle-ci que n'intéressent dans notre étude).

II.5.2. Viscosité cinématique

La viscosité cinématique notée ν est déterminée en mesurant le temps qu'il faut à un fluide donné pour s'écouler dans un tube capillaire de section S par la force de gravité (MOUAS, 2012). Elle est donnée en ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique η par la masse volumique du fluide ρ , soit :

$$\nu = \eta / \rho$$

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

II.6. Facteurs affectant la viscosité

Il existe différentes variables qui affectent les propriétés rhéologiques des produits :

II.6.1. 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 (bêcher), 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 (DEALY et WANG, 2013).

II.6.2. 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 (TABILOU et al., 2013).

II.6.3. 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 (MESSADI, 2011).

II.6.4 Temps

Pour des fluides thixotropes et rhéopectiques et lors d'un quelconque mouvement du fluide, plus le temps passe, plus le fluide verra sa viscosité évoluer.

II.6.5. Composition et additifs

La composition de l'échantillon est un facteur déterminant, si sa composition est modifiée, un changement important dans la viscosité peut être observée (DEALY, WANG, 2013).

II.6.6. Historique de l'échantillon

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 (MUNIZAGA, BARBOSA, 2005).

II.7. Nature de régime de l'écoulement

II.7.1. Régime laminaire :

L'écoulement est laminaire, c'est-à-dire que sa vitesse ne présente pas de fluctuation,

Un écoulement est dit laminaire lorsqu'il est régulier (qu'il ne présente pas trop de variations spatiales ou temporelles (ABADIER, 2005).

Dans ce cas toutes les particules se déplacent dans une direction parallèle au sens général de l'écoulement, ce qui veut dire que tous les vectrices vitesses individuels sont parallèles entre eux et parallèles au vecteur vitesse moyenne (BARKA, 2016).

II.7.2. Régime turbulent

Lors de l'étude du frottement en conduite que cette zone de régime de transition entre le régime laminaire et le régime turbulent dépend des conditions de rugosité de la paroi de la conduite. (BOUGROURA, 2006).

Dans ce cas, Les vecteurs vitesses peuvent prendre toutes les directions, ce qui se traduit par l'apparition de tourbillons, mais la résultante de ces vitesses reste malgré tout dirigée dans le sens global de l'écoulement (BARKA, 2016).

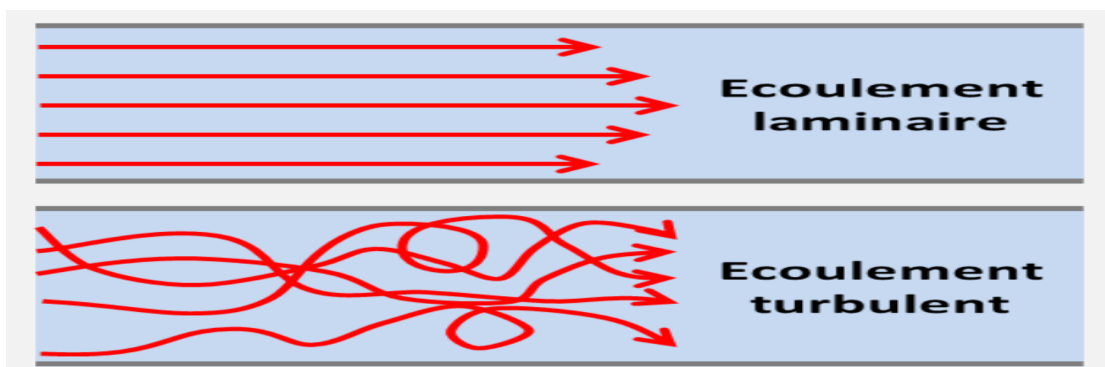


Figure10 :Types d'écoulement (laminaire, turbulent) (ABADIER,2005).

❖ **Le nombre de Reynolds**

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 (BADAOU F, 2012)

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

- V_m : la vitesse circulatoire moyenne.
- D : le diamètre du tuyau.
- ρ : la masse volumique du liquide
- η : la viscosité du liquide.

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

II.8. Méthode de Mesure de viscosité

En vue de comprendre les comportements d'un fluide complexe, les mesures de la viscosité classiquement faites en utilisant un viscosimètre, il s'agit de méthodes de mesure rapides et pratiques.

II.8.1. Méthode directe par un viscosimètre

Il existe plusieurs types de viscosimètre comme : Le viscosimètre à corps chutant, le viscosimètre à corps vibrants et le viscosimètre à tube capillaire.

II.8.1.1. Les viscosimètres à corps chutant

Sont généralement utilisés pour effectuer des mesures relatives en mesurant le temps de chute libre d'un corps solide dans un liquide sous l'influence de la gravité. Les viscosimètres les plus courants sont ceux à bille chutant verticalement ou à bille roulant sur un plan incliné

(Ex : Viscosimètre d'Hoppler) (SANDRINE, 2008).



Figure 11: viscosimètre d'Hoppler.

II.8.1.2. Les viscosimètres à tube capillaire

Ont comme avantages la simplicité de construction et l'utilisation sous pression atmosphérique. Le principe de ces viscosimètres est basé sur l'application de l'équation de Poiseuille qui permet de calculer la viscosité d'un liquide qui s'écoule dans un tube circulaire de faible section à partir de son champ de vitesse, de la section du canal et d'autres paramètres connus de viscosimètre. Ce type permet d'étudier les systèmes newtoniens (Ex : viscosimètre d'Oswald, viscosimètre Hubbelohde) (ADDIL, 1993).

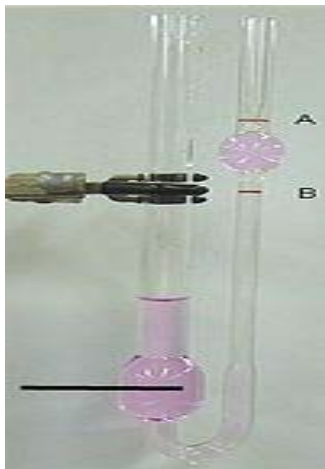


Figure 12:
viscosimètre d'Oswald



Figure 13:
Viscosimètre Hubbelohde

II.8.1.3. Les viscosimètres rotatifs

Contrairement aux viscosimètres précédents, les appareils à mobile tournant (appelés aussi à géométrie variable) permettent de faire varier le taux (ou la tension) de cisaillement et ainsi d'étudier les systèmes newtoniens et non newtoniens.

Ces viscosimètres possèdent un ensemble de tiges de différentes géométries, de façon à obtenir la meilleure précision dans l'intervalle de viscosités du produit (ex : viscosimètre Brookfield, viscosimètre Funfilab) (ADDIL, 1993).



Figure 14 :
viscosimètre fungilab.



Figure 15:
viscosimètre Brookfield

II.8.1.4. Les viscosimètres à corps vibrants

Consistent à caractériser les déformations d'un corps solide (fil, lame) immergé dans un liquide. La viscosité du liquide sera calculée à partir des déformations apportées sur le solide par un courant électrique alternatif en présence d'un champ magnétique (SANDRINE, 2008).



Figure 16 : viscosimètre vibrant.

II.8.2. Méthode indirecte (manuelle)

II.8.2.1. Méthode de stock (chute de bille) : Cet ensemble « Chute d'une bille dans un fluide » a été conçu spécialement pour l'étude d'une « Chute verticale avec Frottements ». (Mentionné ultérieurement).

Notre étude a été effectuée au niveau de laboratoire biophysique de l'université de M'HAMED BOUGARA-Boumerdes et au niveau de laboratoire biophysique de notre université SNVST-Bouira.

Elle est basée sur l'étude d'une propriété rhéologique (la viscosité) de quelques produits alimentaires de l'unité « BALI » et d'autres produits des unités différentes.

I.3. Objectif d'étude

- ✓ Détermination de la viscosité par deux différentes méthodes :

Une méthode directe (automatique).

Une méthode indirecte (manuelle).

- ✓ Calcule l'incertitude de mesure pour la méthode indirecte.
- ✓ Comparaison entre les résultats de ces deux méthodes afin de confirmer la fiabilité de la méthode indirecte.
- ✓ L'influence de la température sur la viscosité.
- ✓ Détermination des types des fluides (échantillons utilisés).

I.1. Matériel biologiques

Les échantillons utilisés dans ce travail sont des différents types de produits finis:

- ❖ Les produits pris directement de l'industrie BALI (ELA), typiquement, la mayonnaise, la vinaigrette.
- ❖ Des produits commercialisés achetés d'un marché à BOUIRA tels que: sucre liquide, miel de sucre, huile de tournesol, huile d'olive.

I.2. Objectif de choix des produits

- ❖ La texture fluide et l'homogénéité des produits s'adaptent aux méthodes utilisées.
- ❖ La transparence des produits qui facilite l'observation de la chute de bille lors de la méthode indirecte utilisée.

I.4. Techniques de mesure de la viscosité

Vu le nombre des paramètres physico-chimiques dont dépend la viscosité d'un liquide, on peut la mesurer au moyen de plusieurs techniques expérimentales. Pour cela, il existe plusieurs critères de sélection de la technique à employer. Ceux-ci, se basent essentiellement sur la nature du liquide et sur son gradient de vitesse. Outre les aspects financiers, les domaines de température (SANDRINE T, 2008).

En se basant sur le principe d'écoulement du fluide, nous distinguons plusieurs types de méthodes, tel que la directe par le viscosimètre rotatif, viscosimètre à cylindre rotatifs et viscosimètre capillaire, et l'indirecte par la méthode de chute de bille.

Nous nous intéresserons à la méthode directe par le viscosimètre rotatif et à la méthode de chute de bille (méthode de stock).

I.4.1. Méthode directe par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB)

Les viscosimètres les plus utilisés pour mesurer la viscosité absolue des fluides sont les viscosimètres rotatifs.

Dans notre étude, la viscosité est mesurée par le biais d'un viscosimètre rotatif de la série VISCO BASIC « FUNGILAB ».

Les séries VISCO BASIC sont idéales pour effectuer des mesures de viscosité rapide est précises

➤ Description d'un viscosimètre FUNGILAB



Figure 17 : L'appareil vu de face (viscosimètre FUNGILAB).

Le viscosimètre FUNGILAB fonctionne grâce à un simple système qui permet d'utilisateur de manipuler l'appareil très facilement.

Les viscosimètres rotatifs en générale sont équipés de plusieurs types de tige et d'une gamme étendue de vitesse qui permettant d'avoir une vaste plage de mesures de viscosité. Tous les tiges sont fabriquées en acier inoxydable et sont facilement identifiable par leur lettre et numéro (ADDIL E, 1993).



Figure 18 : Tiges accompagnant le viscosimètre « FUNGILAB ».

➤ Principe de fonctionnement

Les viscosimètres agissent par la rotation l'une des tiges qui accompagnent le viscosimètre, qui est immergé dans le fluide à analyser et mesure la résistance de cette substance à une vitesse sélectionnée.

Le cylindre ou disque (Tige) giratoire, est accouplée par un ressort moteur qui tourne à une vitesse déterminée. L'angle de déviation qui est mesuré électroniquement, donne la mesure de la force de torsion.

Les calculs effectués dans les viscosimètres à partir des mesures de la force de torsion, de la vitesse de l'axe et de ses caractéristiques, donnent une lecture directe de la viscosité en centipoise (mPa.s) (ADDIL E, 1993).

➤ Caractéristiques principales

- Lecture directe des paramètres de mesure sur écran à cristaux éclairé.
- Affichage des paramètres :
 - Vitesse programmée (rpm).
 - Tige sélectionnée SP.
 - Lecture de la viscosité cP (mpa.s).

- Proportion a fond d'échelle (%).
- Auto-contrôle avec une larne sonore et visuelle en cas de mauvais fonctionnement.

Matériels auxiliaires de Viscosimètre FUNGILAB.

- Bicher (600ml).
- Thermomètre.
- plaque chauffante.
- bain marie.

➤ Mode opératoire

La mesure de la viscosité de l'échantillon par un viscosimètre FUNGILAB s'effectue en plusieurs étapes énumérées comme suit :

- ❖ Mise en place du mobile ainsi que son protecteur sur la partie tournante.
- ❖ Mise en place de l'échantillon à tester dans un bécher de 600 ml.



Figure 19 : Préparation de produit pour la mesure.

- ❖ Sélectionne du mobile idéal (R1, R2, R3, R4, R5, R6 ou R7), et de la vitesse de rotation (de 100 jusqu'à 1 tour/minute), ces paramètres sont choisis selon le domaine de % de fiabilité (plusieurs mesures ont été effectuées).



Figure 20 : Choix de tige idéale.

- ❖ Insertion et centrage du mobile dans le produit à tester jusqu'à ce que le niveau de fluide atteigne le repère pratiqué sur la tige.
- ❖ Lecture la valeur de viscosité affichée sur l'écran.



Figure 21 : Lecture de résultat de viscosité.

Remarque : Ce mode opératoire a été réalisé à différentes températures en chauffant les échantillons par l'utilisation d'une plaque chauffante ou un bain marie, le choix se fait selon la nature de produit afin d'éviter sa dénaturation, (par exemple pour la mayonnaise, en cas de

chauffage par une plaque chauffante, sera ressortir l'huile, et par conséquent le changement de sa texture).



Figure 22 : Chauffage de produit par un bain marie.



Figure 23 : Chauffage de produit par une plaque chauffante.

❖ La température doit être vérifiée tout au long de l'expérimentation en utilisant un thermomètre.

La gamme des températures appliquées :

- ✓ Une température ambiante (27°C-29°C).
- ✓ Une température de 40°C.
- ✓ Une température de 70°C.



Figure 24 : Contrôle de température par un thermomètre.

I.4.2. Méthode indirecte par la chute de bille (Méthode de Stock)

➤ Principe de fonctionnement

La mesure de la viscosité par la procédure de chute de bille est basé sur la mesure de la vitesse limite de chute V d'une bille de rayon r et de masse volumique (ρ_{bille}) dans un liquide de masse volumique (ρ_{liquide}), suffisamment visqueux pour que cette vitesse soit faible et soit dans le domaine d'application de la loi de Stokes (MATTHIEU B, 2005).

La bille est lâchée avec une vitesse initiale nulle ($V_{\text{initiale}}=0$ m/s) dans un liquide visqueux de viscosité dynamique h . Au début, la bille est animée d'un mouvement uniformément accéléré, et au bout de quelques centimètres, la résistance est égale et opposée au poids, le mouvement devient rectiligne et uniforme (la vitesse de la bille devient constante).

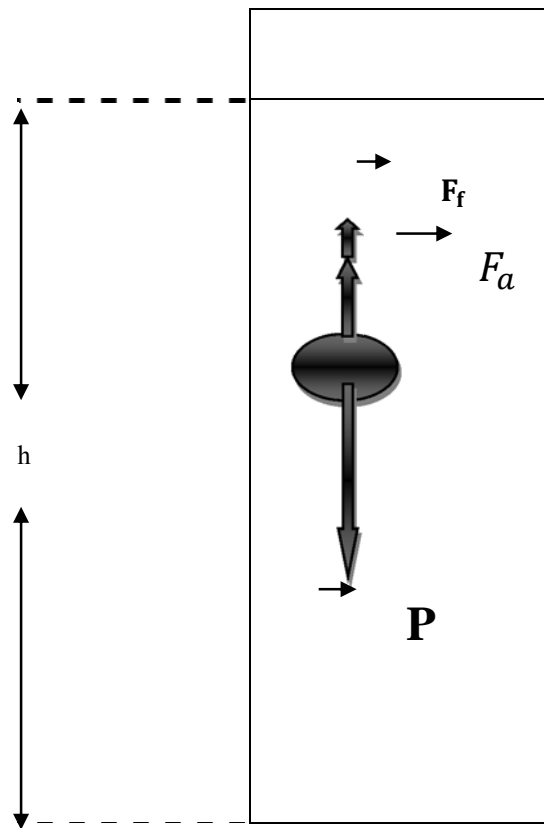


Figure 25 : les trois forces appliquées à la bille.

Les trois forces appliquées à la bille, lors de la chute, sont les suivantes (voire Figure) :

1. la poussé d'Archimède : $|\vec{F}_a| = 4/3 \pi r^3 g \rho_{liquide}$ (1)

2. la force de viscosité (force de stocks) : $|\vec{F}_f| = 6 \pi \eta r V$ (2)

3. le poids : $|\vec{P}| = 4/3 \pi r^3 \rho_{bille} g$ (3)

Avec :

$\rho_{liquide}$ Et ρ_{bille} sont les masses volumiques, respectivement du liquide et de la bille en Kg/m^3 .

η : 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^2 .

Appliquant le principe fondamental de dynamique à la bille :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \, dV/dt \quad (4) \text{ Alors : } \vec{F}_a + \vec{F}_f + \vec{P} = m \, dV/dt \quad (5)$$

$$\text{Par projection : } (4/3 \pi r^3 \rho_{bille} g) - (4/3 \pi r^3 \rho_{liquide} g) - (6 \pi \eta r V) = m \, dV / dt \quad (6)$$

Au bout de quelque centimètre, le mouvement de la bille devient rectiligne uniforme, ce qui implique que $dV/dt = 0$ et l'équation (6) permet d'exprimer la viscosité dynamique par la formule : $\eta = 2r^2 g / 9V (\rho_{bille} - \rho_{liquide})$ (7)

Pratiquement, pour mesurer le coefficient de viscosité dynamique η , il faut d'abord mesurer le temps t de chute de la bille sur une distance h , puis calculer sa vitesse $V = h/t$ et injecter la valeur obtenue de V dans la relation (7) (**MATTHIEU B, 2005**).

Matériels utilisés

- Eprouvette graduée.
- Bille (en verre).
- Chronométré.
- Une règle.
- Plaque chauffante.
- Bain marie.

➤ Mode opératoire

La procédure mise au point comporte les étapes suivantes :

- ❖ Nous plaçons le produit dans une éprouvette graduée.

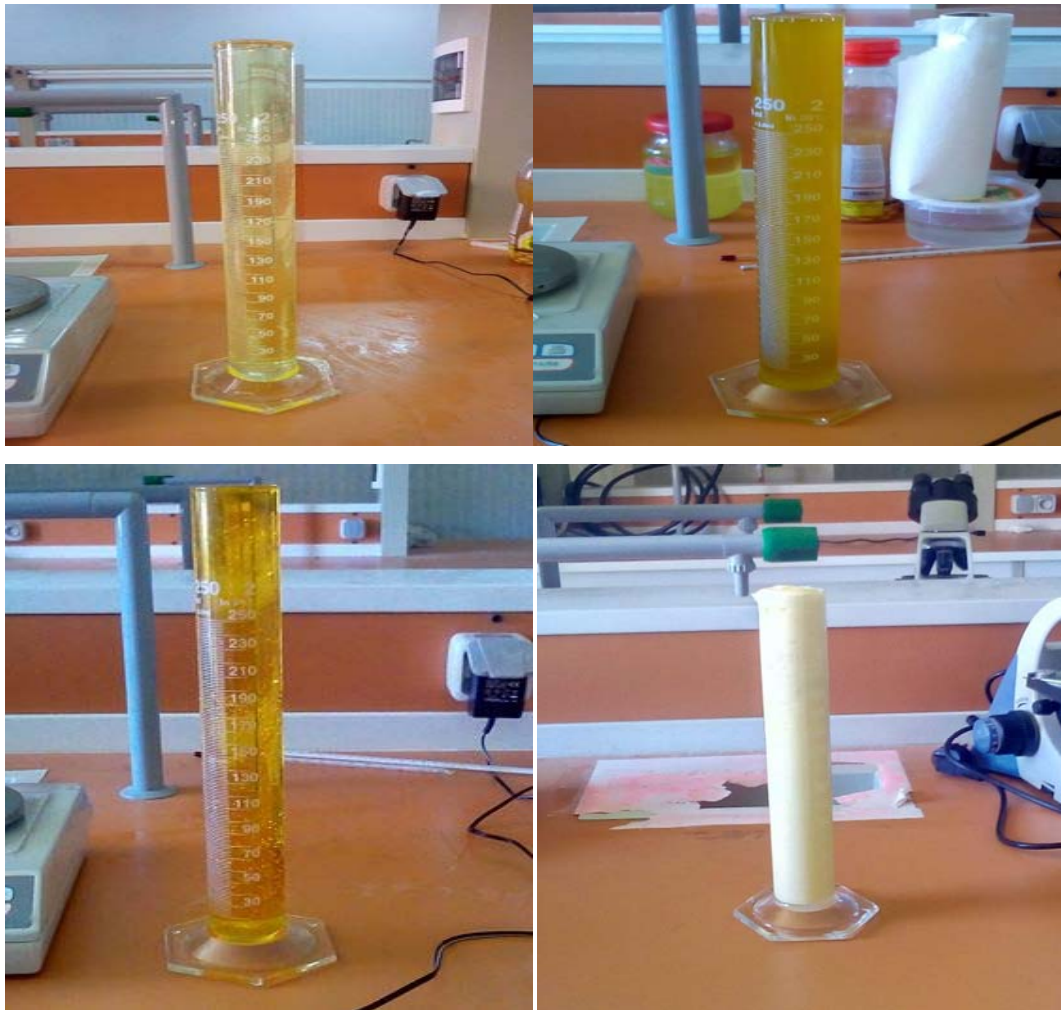


Figure 26 : Préparation de produit (méthode de stock).

❖ Nous laissons chuter la bille dans le liquide et en mesure, à l'aide d'un chronomètre, le temps de chute de la bille sur la distance $h = (28 \pm 0.1)$ Cm (entre les deux traits marqués sur l'éprouvette).

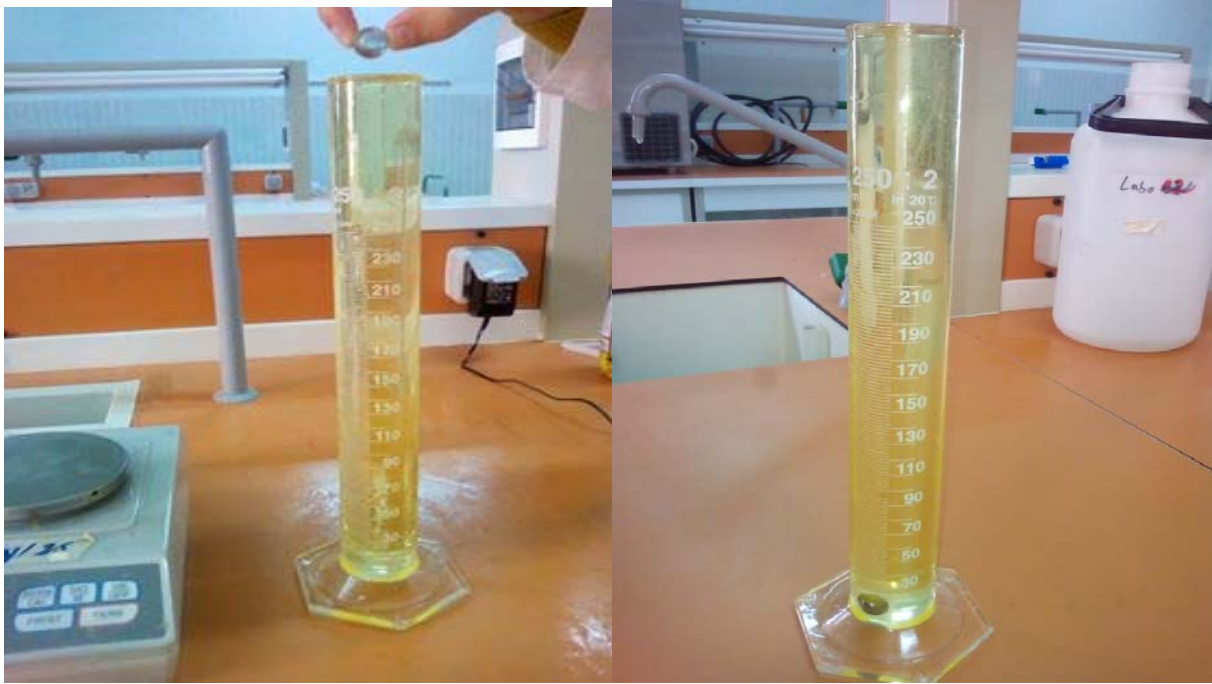


Figure 27 : Chute de bille dans le liquide.

- ❖ Nous répétons la mesure quatre fois (4 temps).
- ❖ Nous calculons la vitesse de la chute de la bille.
- ❖ Et enfin nous déduisons à l'aide de la relation (7) la viscosité dynamique η .

Remarque :

- Nous refaisons le même travail avec différentes températures (ambiante, 40°C, 70°C).
- En chauffant le produit par un bain marie ou une plaque chauffante.

Dans le but d'assurer une bonne précision ainsi qu'une reproductibilité satisfaisante dans la mesure de la viscosité, la température doit être contrôlée, dans ce but nous avons utilisés un thermomètre.

Cette partie est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats de mesures et des Calculs relatifs à la propriété de la viscosité de l'huile d'olive, huile de tournesol, sucre de miel, sucre liquide vinaigrette et la mayonnaise, par une méthode directe par un viscosimètre « FUNGILAB » et une autre indirecte par la chute de bille.

Pour mieux analyser les résultats obtenus, nous présentons les valeurs de viscosité mesurées par les deux méthodes sous forme des tableaux avec de courbes, avec aussi les conditions expérimentales de température. Les précisions des mesures pour chaque vitesse de rotation sont aussi indiquées sur ces tableaux.

II.1. Détermination de la viscosité

Comme mentionnée précédemment, D'une part la viscosité de nos échantillons a été mesurée à partir des lectures prises sur le viscosimètre « FUNGILAB », nous avons appliqués différentes températures, pour chacune, plusieurs vitesses de rotation (rpm) et chaque rpm donné une valeur de viscosité avec un pourcentage d'erreur bien précis et nous choisissons parmi eux qui a l'erreur le plus faible, et d'autre part elle est calculée par la méthode de stock

Ces résultats sont montrés ci-dessous.

II.1.1. Détermination de la Viscosité de l'échantillon huile d'olive

➤ par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)

| | | Température (°C) | | | | | | | | |
|------------|----------------------|------------------|-------|------|------|-------|------|------|------|--|
| | | 27 | | | 40 | | | 70 | | |
| RPM (T/mn) | | 20 | 10 | 20 | 10 | 5 | 20 | 10 | 5 | |
| Tige R2 | Viscosité (mPa.s) | 96,8 | 104,2 | 51,2 | 60,7 | 101,5 | 27,3 | 28,8 | 42,8 | |
| | Erreur | 4,9 | 2,7 | 2,6 | 1,5 | 1,3 | 1,4 | 0,7 | 0,5 | |

Tableau 1 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (huile d'olive).

Concernent l'huile d'olive (Tableau 1), nous avons utilisé la tige R2.

➤ A la température ambiante (27°C), les rpm (20 T/mn, 10 T/mn) nous ont donnés respectivement les viscosités 96,8 mPa.s et 104,2 mPa.s avec les pourcentages d'erreurs 4,9 % et 2,6 % respectivement, nous remarquons que la viscosité change d'une façon disportionnelle avec la vitesse.

Nous avons choisi la viscosité 104,2 mPa.s qui correspond au pourcentage d'erreur le plus faible obtenue avec rpm (10 T/mn).

➤ A la température 40°C, la viscosité variée avec le rpm d'une même façon que la température ambiante

Nous avons choisi la valeur 101,5 mPa.s obtenue avec le rpm (5T/mn) (faible pourcentage d'erreur).

➤ Pour la température 70°C, la viscosité variée avec le rpm d'une même façon que la température ambiante et a 40°C.

Nous prenons la valeur 42,8 mPa.s obtenue avec le rpm (5 T/mn) qui a le pourcentage d'erreur le plus faible.

➤ **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**

$$\rho_{\text{bille(Verre)}}=2600\text{Kg/m}^3(\text{Anonyme1}).$$

$$\rho_{\text{liquide}} = 0.914\text{g/Cm}^3 = 914\text{Kg/m}^3 (\text{HAMIROUNE A et FEKRACH M, 2018}).$$

| Température (°C) | Temps (S) | | | | t moyen | Viscosité (Pa.s) | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|---------------------|-----------|------|------|------|---------|---------------------|---------------------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | | | |
| 28 | 0,50 | 0,57 | 0,49 | 0,50 | 0.51 | 0,37 | 0,59 |
| 40 | 0,52 | 0,57 | 0,49 | 0,52 | 0.52 | 0,38 | 0,59 |
| 70 | 0,38 | 0,37 | 0,46 | 0,38 | 0.39 | 0,44 | 0,75 |

Tableau 2 : Valeurs de viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (l'huile d'olive).

II.1.2. Détermination de la Viscosité de l'échantillon huile de tournesol

➤ par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)

| | | Température (°C) | | | | | | | | |
|------------|----------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 29 | | | 40 | | | 70 | | |
| | RPM (T/mn) | 20 | 10 | 5 | 20 | 10 | 5 | 20 | 10 | 5 |
| Tige R2 | Viscosité (mPa.s) | 65 | 66 | 78 | 30 | 24, | 33, | 14 | 6,8 | 7,1 |
| | Erreur (%) | 3,3 | 1,7 | 9,8 | 1,5 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,1 |

Tableau 3 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (huile de tournesol).

Dans le cas d'huile de tournesol (Tableau 2), Quand nous utilisons la tige R2.

➤ A la température ambiante, les rpm (20 T/mn, 10 T/mn, 5 T/mn) nous ont données des différentes viscosité (65 mPa.s, 66 mPa.s et 78 mPa.s) et des pourcentages d'erreur 3.3%, 1.7% et 9.8%. Nous observons que la viscosité augmente avec la diminution de la vitesse de rotation (rpm).

➤ A la température 40°C, nous remarquons que la viscosité avec le rpm20 T/mn est égale à 30 mPa.s, après elle diminue avec le rpm 10 T/mn, puis une augmentation jusqu'à atteindre une valeur de 33,4 mPa.s avec le rpm 5T/mn.

➤ A la température 70°, C nous remarquons que la viscosité variée avec le rpm d'une même façon que la température 40°C jusqu'à l'obtention d'une valeur de 7,1 mPa.s avec le rpm 5T/mn.

Nous choisissons pour chaque température la valeur de viscosité correspond au pourcentage d'erreur le plus faible :

- A la température ambiante, 66 mPa.s avec une erreur de 1.7%.

- A la température de 40°C, 33.4 mPa.s avec une erreur de 0.4%.

- A la température de 70°C, 7.1 mPa.s avec une erreur de 0.1%.

➤ **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**

$\rho_{\text{bille(Verre)}} = 2600 \text{ Kg/m}^3$ (Anonyme 1).

$\rho_{\text{liquide}} = 0.923 \text{ g/Cm}^3 = 923 \text{ Kg/m}^3$ (Anonyme 2).

| Température (°C) | Temps | | | | t moyen | Viscosité (Pa.s) | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|---------------------|-------|-----|-----|-----|---------|---------------------|---------------------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | | | |
| 28 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,44 | 0,6 |
| | 2 | 5 | 9 | 9 | | | |
| 40 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,33 | 0,4 |
| | 4 | 7 | 7 | 6 | | | |
| 70 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,26 | 1,1 |
| | 4 | 6 | 7 | 9 | | | |

Tableau 4: valeurs de viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (huile de tournesol).

II.1.3. Détermination de la Viscosité de l'échantillon sucre de miel

➤ par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)

| | | Température (°C) | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|------------------|------|------|--------|---|---|-------|-----|-------|
| | | 28 | | | 40 | | | 70 | | |
| Tige R6 | RPM (T/mn) | 10 | 5 | 3 | 10 | 5 | 3 | 10 | 5 | 3 |
| | Viscosité (mPa.s) | 1002 | 1001 | 1001 | 1021,8 | / | / | 990,5 | 63 | 828,4 |
| | Erreur% | 10 | 5 | 3 | 1,2 | / | / | 1 | 0,3 | 0,2 |

Tableau 5 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (sucre de miel).

Sur le tableau 3 nous présentons les valeurs de la viscosité de sucre de miel réalisé par l'utilisation de la tige R6.

➤ Pour la température ambiante (28°C), nous avons obtenue 3 valeurs de viscosité (10027 mPa.s, 10017 mPa.s ,10014 mPa.s) grâce au changement de vitesse de rotation (10 T /mn ,5 T/mn ,3 T/mn), nous avons remarqués une diminution de viscosité lorsque la vitesse est diminuée.

➤ Pour la température 40°C, nous avons obtenus une seule valeur de viscosité (10021,8 mPa.s) avec le rpm 10 T/mn, le viscosimètre n'indique aucune valeur avec les autres rpm 5T/mn, 3T/mn (il mentionne une erreur de fonctionnement).

➤ Pour la température 70°C, nous remarquons que la viscosité avec le rpm10 T/mn est égale à 990, 5 mPa.s, après elle diminue avec le rpm 5T/mn, puis une augmentation jusqu'à atteindre une valeur de 828,4 mPa.s avec le rpm3 T/mn.

Les valeurs de la viscosité choisies selon le faible pourcentage d'erreur sont :

- 10014 mPa.s à la température ambiante avec une erreur de 3%.

- 1021,8 mPa.s à la température de 40°C avec une erreur de 1.2%.

- 828,4 mPa.s à la température 70°C avec une erreur de 0.2%.

➤ **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**

$\rho_{\text{bille(Verre)}} = 2600 \text{ Kg/m}^3$ (**Anonyme 1**).

$\rho_{\text{liquide}} = 1.4 \text{ g/Cm}^3 = 1400 \text{ Kg/m}^3$ (**Anonyme 3**).

| Température | Temps (S) | | | | t moyen | Viscosité (Pa.s) | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-------------|-----------|--------|--------|--------|---------|------------------|---------------------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | | | |
| 28 | 108,25 | 108,69 | 108,19 | 106,55 | 107,92 | 56,65 | 78,74 |
| 40 | 6,34 | 6,35 | 6,35 | 6,31 | 6,33 | 3,32 | 4,54 |
| 70 | 1,40 | 1,42 | 1,47 | 1,42 | 1,42 | 0,74 | 1,05 |

Tableau 6: Valeurs de viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (sucre de miel).

II.1.4. Détermination de la Viscosité de l'échantillon vinaigrette

➤ **par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)**

| | | Température (°C) | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------|------------------|------|------|------|----|-------|--------|--------|-----|----|--------|------|
| | | 30 | | | | 40 | | | | 70 | | | |
| RPM (T/mn) | | 20 | 10 | 5 | 3 | 20 | 10 | 5 | 3 | 20 | 10 | 5 | 3 |
| Tige R4 | Viscosité (mPa.s) | 637 | 2346 | 3497 | 4625 | / | 915,1 | 1202,3 | 1386,6 | 935 | / | 2034,8 | 2813 |
| | Erreur (%) | 6.9 | 11,9 | 8,7 | 16 | / | 4,6 | 3 | 2,1 | 4.2 | / | 5,1 | 9,5 |

Tableau 7: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (vinaigrette).

En ce qui concerne la vinaigrette (Tableau 4), nous avons utilisé la tige R4.

- A la température ambiante, les rpm (20 T/mn ,10 T/mn, 5T/mn, 3 T/mn) nous ont données respectivement les viscosités (1637 mPa.s ,2346 mPa.s ,3497 mPas, 4625 mPa.s) avec des différents pourcentages d'erreurs donnés.
- A la température 40°C nous avons obtenues 3 valeurs de viscosité (915.1 mpa.s ,1202.3mPa.s ,1386.6 mPa.s) avec des rpm (10 T/mn, 5T/mn, 3 T/mn), et une indication d'erreur de fonctionnement de viscosimètre avec le rpm20 T/mn.
- A la température 70°C, le viscosimètre indique 3 valeurs de viscosité (935 mPa.s ,2034.8 mPa.s, 2813 mPa.s) avec des rpm(20 T/mn, 5T/mn, 3 T/mn), il n'indique aucune valeur de viscosité avec le rpm10 T/mn.

D'après ces mesures nous remarquons que la viscosité dans les différentes températures appliquées, augmente avec la diminution de vitesse de rotation (rpm).

Comme mentionné précédemment les valeurs prises de la viscosité sont qui ont un faible pourcentage d'erreur, donc :

- Pour la température ambiante, nous prenons la valeur 1637 mPa.s avec une erreur de 6.9%.

- Pour la température 40°C, une valeur de 1386.6 mPa.s avec une erreur de 2.1%.

➤ **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**

$\rho_{\text{bille(Verre)}} = 2600 \text{Kg/m}^3$ (Anonyme 1).

$\rho_{\text{liquide}} = 924.3 \text{ Kg/m}^3$ (Anonyme 4).

| Température (°C) | Temps (S) | | | | t moyen | Viscosité (Pa.s) | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|---------------------|--------------|------|------|------|------------|---------------------|------------------------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | | | |
| 28 | 1,80 | 1,82 | 1,81 | 1,81 | 1,81 | 1,32 | 1,82 |
| 40 | 1,96 | 1,94 | 1,98 | 1,94 | 1,95 | 1,42 | 1,97 |
| 70 | 0,93 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,90 | 0,65 | 0,92 |

Tableau 8: Valeurs de viscosité obtenues par la méthode chute de bille (vinaigrette).

II.1.5. Détermination de la Viscosité de l'échantillon sucre liquide

➤ par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)

| | | Température (°C) | | |
|---------|----------------------|------------------|----|------|
| | | 29 | 40 | 70 |
| Tige R7 | RPM (T/mn) | / | / | 1 |
| | Viscosité (mPa.s) | / | / | 6071 |
| | Erreur (%) | / | / | 0,2 |
| | | | | |

Tableau 9 : Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (sucre liquide).

Quant au le sucre liquide (Tableau 5) :

- ❖ A la température ambiante et a 40°C nous avons employé les 7 tiges avec des vitesses différentes, Cependant le viscosimètre indique à chaque expérience une erreur, à cause de l'hyperviscosité de notre produit (consistance), d'où la nécessité d'un appareil plus sensible pour la mesurer (rhéomètre).

- ❖ A la température 70°C, la mesure de la viscosité est réalisée avec la tige R7, nous avons obtenu une valeur de viscosité 6071 mPa.s avec rpm 1 T/mn, nous choisissons cette valeur avec une erreur de 0,2%.
- **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**
- ❖ $\rho_{\text{bille(Verre)}} = 2600 \text{ Kg/m}^3$ (Anonyme 1).
- ❖ $\rho_{\text{liquide}} = 1437.1 \text{ kg/m}^3$ (BEGLA F et al., 2014).

| température | Temps | | | | T moyen | Viscosité (Pa.s) | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|------------------|---------------------|
| | t1 | t2 | t3 | t4 | | | |
| 40°C | 339,75 | 338,18 | 338,18 | 339,65 | 218,94 | 122,60 | 2,47 |
| 70°C | 17,43 | 17,35 | 17,65 | 17,63 | 17,51 | 9,8 | 13,52 |

❖ **Tableau 10:** Valeurs de viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (sucre liquide).

- ❖ Au notre étude sur le sucre liquide a la température ambiante (28°C), a plusieurs reprises, nous n'avons noté aucune progression (la bille est restée en surface) à cause de la consistance du produit, et aussi nous avons rencontré des difficultés à verser et vider le produit dans le tube.

II.1.6. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de mayonnaise

- **par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)**

| | | Température (°C) | | | | | |
|---------|-------------------|------------------|-------|-------|-------|----|--|
| | | 28 | | 40 | | 70 | |
| Tige R7 | RPM (T/mn) | 10 | 5 | 10 | 5 | / | |
| | Viscosité (mPa.s) | 43070 | 66731 | 41449 | 66827 | / | |
| | Erreur(%) | 10,8 | 8,3 | 10,2 | 8,2 | / | |

Tableau 11: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (mayonnaise).

Et enfin pour la mayonnaise (Tableau6), nous utilisons la tige R7.

➤ A la température ambiante, nous avons obtenues deux valeurs de viscosité (43070 mpa.s, 66731 mPa.s) grâce à deux rpm (10 T/mn, 5 T/mn) avec pourcentage d'erreur (10,8%, 8,3%).

➤ A la température 40°C l'appareil de mesure de viscosité indique deux valeurs de viscosité (41449 mPa.s, 66827 mPa.s) avec des rpm (10 T/mn, 5 T/mn).

D'après ces mesures nous remarquons que la viscosité dans les températures appliquées, augmente avec la diminution de vitesse de rotation (rpm).

➤ A la température 70°C, nous n'avons obtenu aucune valeur de viscosité car notre produit n'a pas atteint la température souhaitée par ce qu'il n'a pas chauffé suite à une panne enregistrée au niveau de bain marie.

Nous choisissons pour les deux températures la valeur de viscosité correspond au pourcentage d'erreur le plus faible :

- A La température ambiante, 66731 mPa.s avec une erreur de 8,3%.

- A La température 40°C, 66827 mPa.s avec une erreur de 8,2 %.

➤ **Par la méthode indirecte (chute de bille ou méthode de Stock)**

Dans le cas de mayonnaise, nous avons rencontré plusieurs obstacles dans la pratique de cette technique :

▪ Le non progression de la bille à cause de la consistance du produit.

▪ Le non transparence du produit, nous empêchera de suivi la chute de la bille et donc l'impossibilité de mesurer le temps même au cas de sa progression.

✚ D'après notre utilisation d'un viscosimètre FUNGILAB, cet équipement permet

D'effectuer la mesure en CP tenant compte de la vitesse sélectionnée et le type de tige choisie. Les combinaisons de tiges et vitesses, permettent de choisir une échelle optimale pour toute mesure.

✚ D'après les résultats obtenus par ce viscosimètre (FUNGILAB), nous observons que la viscosité varie par rapport à la grosseur de la tige et alors à la vitesse

de rotation, donc chaque produit à sa propre tige qui lui convient, la tige (disque) de petite taille s'adapte avec les fluides les plus visqueux car sa rotation à l'intérieur de liquide visqueux est plus facile que la grande tige et donne la force de torsion la plus optimal au produit analysé, et donc donne une mesure de viscosité bien précis avec un faible pourcentage d'erreur, et le contraire par rapport aux produits moins visqueux qui s'adaptent avec les tiges les plus grandes pour donne sa force de torsion « la tige R7 (la plus petite) pour le sucre liquide et la mayonnaise (les produits les plus visqueux), R6 pour le sucre de miel (moins visqueux que le sucre liquide et la mayonnaise), R4 pour la vinaigrette, R2 (la plus grande parmi la gamme disponible) pour l'huile d'olive et huile de tournesol (les moins visqueux parmi notre échantillons) ».

✚ D'après notre utilisation de la méthode de Stock, L'inconvénient de la mesure de la viscosité par la réalisation de cette méthode avec les moyens disponibles dans notre laboratoire (manque de potentiel), est l'augmentation de l'incertitude à chaque étape de la procédure (quand surveiller le temps, mesurer la hauteur de l'éprouvette et le rayon de la bille...). C'est pour cela nous arrivons à calculer l'incertitude résultant de chaque mesure pour obtenir à la fin l'incertitude de mesure de la viscosité, à partir de là nous assurons les résultats de nos mesures.

Et pour le calcul de cette incertitude, nous avons utilisé la loi suivante :

$$\eta = \frac{2}{9} r^2 g [(\rho_b - \rho_l) t] / x$$

$$\ln \eta = 2 \ln r + \ln g + \ln (\rho_b - \rho_l) + \ln t - \ln x$$

$$d \ln \eta = 2 d \ln r + d \ln g + d \ln (\rho_b - \rho_l) + d \ln t - d \ln x$$

$$d \ln \eta / \eta = 2 dr/r + d\rho_b/\rho_b - d\rho_l/\rho_l + dt/t - dx/x$$

$$\Delta \eta / \eta = 2 \left| \frac{\Delta r}{r} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_b}{\rho_b} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_l}{\rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t_{moy}} \right| + \left| \frac{\Delta x}{x} \right|$$

$$\Delta \eta = \left[2 \left| \frac{\Delta r}{r} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_b}{\rho_b} \right| + \left| \frac{\Delta \rho_l}{\rho_l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t_{moy}} \right| + \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \right] \eta$$

Avec :

$$\Delta t = \text{MAX} \left| (t_1 - t_{moy}); (t_2 - t_{moy}); (t_3 - t_{moy}) \right|$$

$$\Delta r = 1/2(0.1) = 0.05$$

$\Delta \rho = 0$ (nous avons pris les valeurs de ρ_b et ρ_l (pour chaque produit) directement à partir de référence fiable pour éviter d'entrer dans une grande valeur d'incertitude, donc la valeur de

l'incertitude dans ce cas est nulle),

▪ Les résultats de calculs de l'incertitude sont mentionnés aux tableaux suivants :

| T (°C) | Δ r/r | Δ ρ/ρ | Δ ρ/ρ | Δ t/t | Δ X/X | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 28 | 0,66 | / | / | 0,11 | 0,017 | 0,59 |
| 40 | 0,66 | / | / | 0,096 | 0,017 | 0,59 |
| 70 | 0,66 | / | / | 0,17 | 0,017 | 0,75 |

Tableau 12: Les calculs de l'incertitude des mesures pour l'huile d'olive.

| T (°C) | $\Delta r/$ r | Δ ρ/ρ | Δ ρ/ρ | t/t | $\Delta X/$ X | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-----------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------|------------------|------------------------|
| 28 | 0,66 | / | / | 0,065 | 0,017 | 0,66 |
| 40 | 0,66 | / | / | | 0,017 | 0,48 |
| 70 | 0,66 | / | / | 0,083 | 0,017 | 1,13 |

Tableau 13: Les calculs de l'incertitude des mesures pour l'huile de tournesol.

| T (°C) | Δ r/r | Δ ρ/ρ | Δ ρ/ρ | Δ t/t | Δ X/X | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 28 | 0,66 | / | / | 0,035 | 0,017 | 78,74 |
| 40 | 0,66 | / | / | 0,0016 | 0,017 | 4,54 |
| 70 | 0,66 | / | / | 0,012 | 0,017 | 1,05 |

Tableau 14: Les calculs de l'incertitude des mesures pour le sucre de miel.

| T (°C) | Δ r/r | Δ ρ/ρ | Δ ρ/ρ | Δ t/t | Δ X/X | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|--------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 28 | 0,66 | / | / | 0,00552 | 0,017 | 1,82 |
| 40 | 0,66 | / | / | 0,015 | 0,017 | 1,97 |
| 70 | 0,66 | / | / | 0,033 | 0,017 | 0,92 |

Tableau 15: Les calculs de l'incertitude des mesures pour la vinaigrette.

| T (°C) | Δ r/r | Δ ρ/ρ | Δ ρ/ρ | Δ t/t | Δ X/X | $\Delta\eta$ (Pa.s) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 28 | / | / | / | / | / | / |
| 40 | 0,66 | / | / | 0,55 | 0,017 | 2,47 |
| 70 | 0,66 | / | / | 0,021 | 0,017 | 13,52 |

Tableau 16: Les calculs de l'incertitude des mesures pour le sucre liquide.

✚ D'après les mesures de la viscosité de chaque produit par la méthode de Stock et d'après les calculs de l'incertitude de mesure pour chaque procédure de cette méthode, nous avons pu atteindre les résultats suivants :

Des valeurs de viscosités de 0,37 pa.s, 0,38 pa.s et 0,44 pa.s respectivement dans la gamme des températures de 28°C ,40°C et à 70°C avec des incertitudes de 0,59%, 0,59% et 0,75%, pour l'huile d'olive (Tableau 7, Tableau 11).

Concernant l'huile de tournesol (Tableau 8, Tableau 12), les valeurs de la viscosité obtenues sont de 0.44 pa.s à la température 28°C, de 0,33 pa.s à 40°C et de 0,26 pa.s à 70°C avec des incertitudes de 0,66 %, 0,48% et 1,13%.

Dans le cas de sucre de miel (Tableau 9, Tableau 13) nous avons obtenus des différents valeurs de viscosité (56,65 Pa.s, 3,32 Pa.s et 0,74 Pa.s) dans la même gamme des températures appliqués aux produits précédents, respectivement avec des incertitudes 78,74%, 4,54% et 1,05%).

Les valeurs de la viscosité relative à la vinaigrette (Tableau 10, Tableau 14) à différents température (28°C ,40°C, 70°C) sont de 1,32 pas, 1,42 pa.s et 0,65pa.s respectivement aux incertitudes 1,82%, 1,97%, et 0,93%.

En fin, nous avons obtenue pour le sucre liquide (Tableau 11, Tableau15) une valeur de viscosité 122,60 Pa.s à une température de 40°C et une valeur de 8,9 Pa.s à 70°C avec des incertitudes de 2.47% et 23,98%.

II.2. Interprétation des résultats :

Le terme viscosité dynamique a la même signification que le terme viscosité absolue, viscosité de cisaillement ou viscosité tout simplement.

Un avantage important de la viscosité est que les résultats de la mesure ne dépendent pas des particularités de technique utilisée. Donc nous pouvons comparer les données de différentes techniques.

Pour mieux comparer les résultats obtenus de chaque technique (directe et indirecte) il faut que les résultats de chaque technique mentionnée avec une même unité de mesures qu'est le pascal. Seconde (Pa.s).

Dans le cas de la viscosité de la vinaigrette, a la température 40°C , nous remarquons que nos valeurs calculés avec la méthode de stock (Tableau 10) sont en très bon accord avec nos résultats obtenues par le viscosimètre FUNGILAB (1,38 Pa.s ; 1,42Pa.s) , (Tableau 4) et a une température ambiante et même à la température élevée (70°C) , nos résultats en utilisant la méthode indirecte sont également très proches avec nos résultats de la méthode directe :(1,63Pa.s ; 1,32 Pa.s), (0,93 Pa.s ; 0,65 Pa.s) , à une température ambiante, nos mesurés sont comparables avec celle-ci cités par **(AYYOUAZ et BENMAMAS,2017)**.

En ce qui concerne huile d'olive (Tableau 1, Tableau 7), nos mesures de la viscosité avec la méthode automatique sont excellentes par rapport au nos mesures réalisées par la méthode manuelle (chute de bille) a une température de 40°C (0,1 ; 0,38), et a une température ambiante nos résultats réalisées par les deux méthodes sans presque identiques (0,1 ; 0,38), et aussi sont très analogue à celle-ci apporté par **(BONNS, 2002) et (HACHETTE, 1997)**.

Concernant le sucre liquide (Tableau 5 , Tableau 11) , a une température de 70°C nos mesures obtenues par la méthode indirecte sont presque proches à nos résultats réalisés par la méthode directe (6,07 ; 8,9), et ces derniers sont semblables avec celles-ci donné par **(MATHLOUTHI) et (BEGLA et al., 2014)**.

Pour les valeurs de la viscosité d'huile de tournesol (Tableau 2 , Tableau 8) , a les trois températures appliquées (28°C, 40°C, 70°C), une légère variable enregistrée entre les résultats obtenues les deux méthodes appliquées (nos résultats obtenus par la mesure directe par le viscosimètre « FUNGILAB » sont un peu élevé à celles-ci obtenues par la méthode indirecte).et cette dernière est un proche à celle-ci apporté par **(AYYOUAZ et BENMAMAS ,2017)**.

Dans le cas de sucre de miel (Tableau 3, Tableau 9), à une température de 70°C nos résultats obtenues par la méthode directe sont très bon accord avec celles-ci obtenues par la méthode indirecte (1.02 ; 3.32), par contre à une température ambiante (28°C) sont inférieurs et 40°C sont proches.

II.3. Détermination de Types des fluides (Echantillons) utilisés

▪ Les huiles alimentaires végétales (olive et tournesol), d'après **(RAO ,1999)**, les huiles végétales ont un comportement newtonien, et selon **(MILLET et ses collaborateurs ,2010)**, un corps newtonien est un liquide qui présente une viscosité

constante (quel que soit la vitesse de cisaillement ou la contrainte appliquée), dans ce cas seule la température peut affecter la viscosité.

▪ Plusieurs études attestent que le sucre liquide est considéré comme un fluide Newtonien ((PAULET *al.*, 2003) et d'après (MILLET, 2010), un corps newtonien est un liquide qui présente une viscosité constante (quel que soit la vitesse de cisaillement ou la contrainte appliquée).

▪ (GRAILLE, 2003), apporte que, la mayonnaise est une matière plastique Bingham

C'est-à-dire qu'à faible cisaillement elle se comporte comme un solide et ne coule pas. À un plus fort cisaillement, appelé le seuil d'écoulement, elle commence à se comporter comme un liquide. En pratique, cela signifie que lorsque la mayonnaise est coupée à l'aide d'un couteau, elle ne coule pas parce que la force exercée est plus faible que le seuil d'écoulement.

Selon (CHEFTEL *et al.*, 1986), un corps plastique ou corps de Bingham, est un corps qui ne coule pas sous l'effet de son poids, il faut que la contrainte dépasse un certain seuil d'écoulement pour que ce dernier commence. Une mayonnaise avec 65% d'huiles est perçue comme « maigre » est coule facilement (GRAILLE, 2003).

II.4. Influence de la température sur la viscosité :

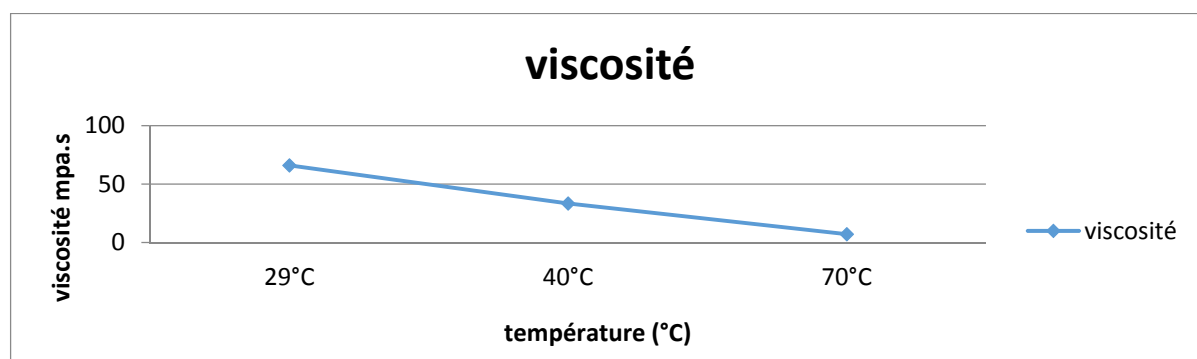


Figure 28 : Influence de la température sur la viscosité d'huile de tournesol.

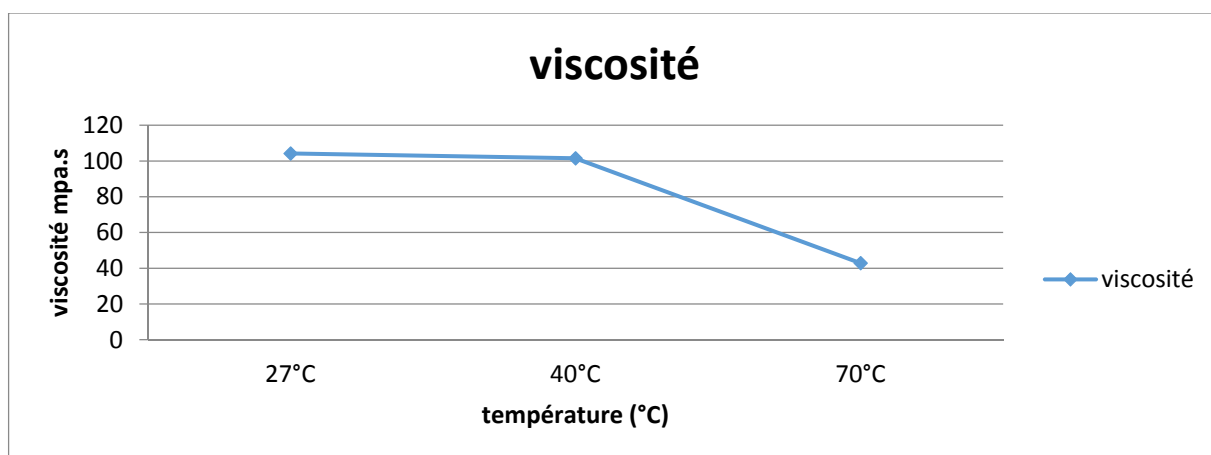


Figure29 : Influence de la température sur la viscosité d'huile d'olive.

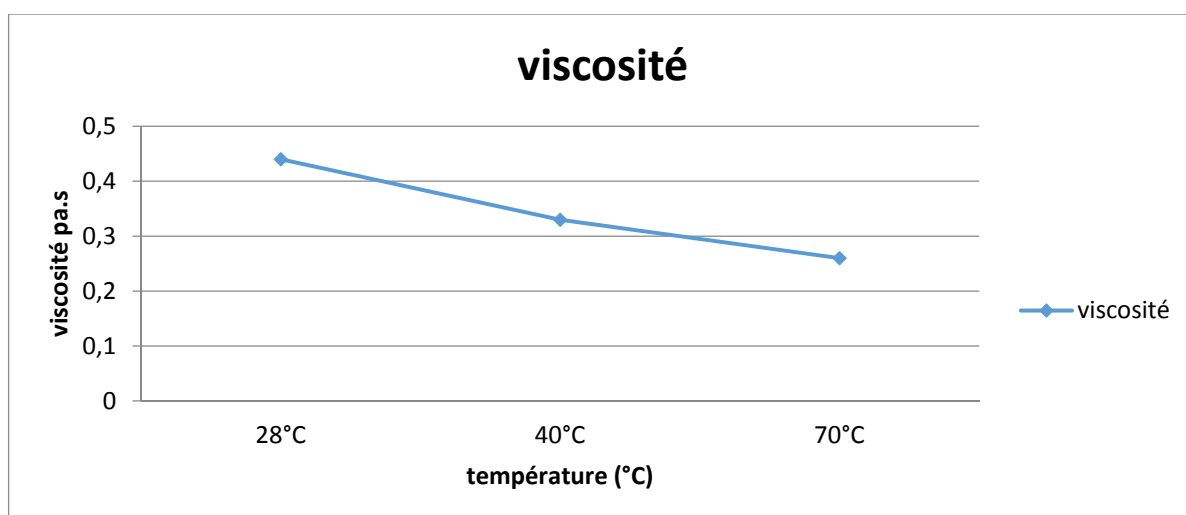


Figure 30 : Influence de la température sur la viscosité d'huile de tournesol.

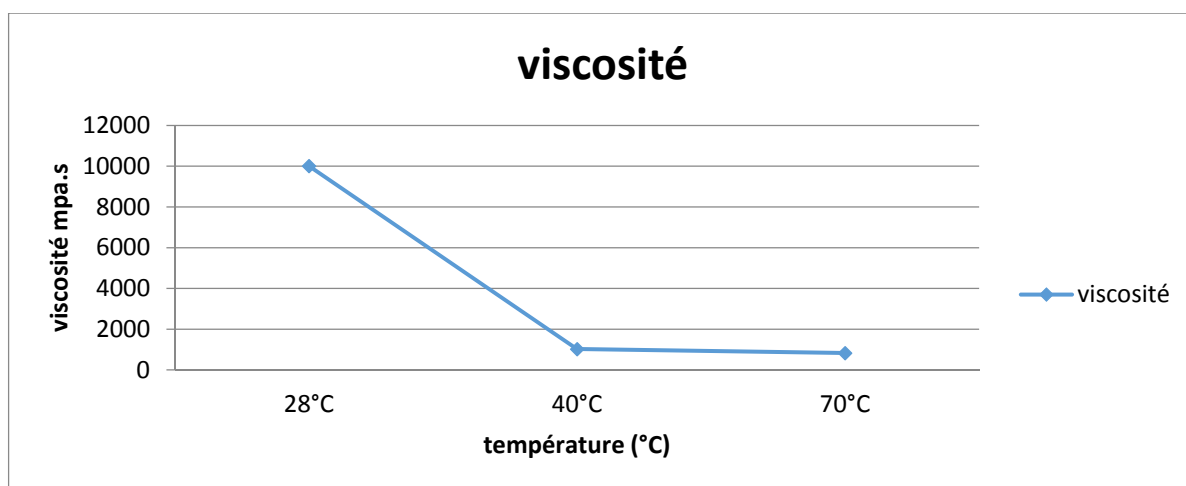


Figure 31 : Influence de la température sur la viscosité du sucre de miel.

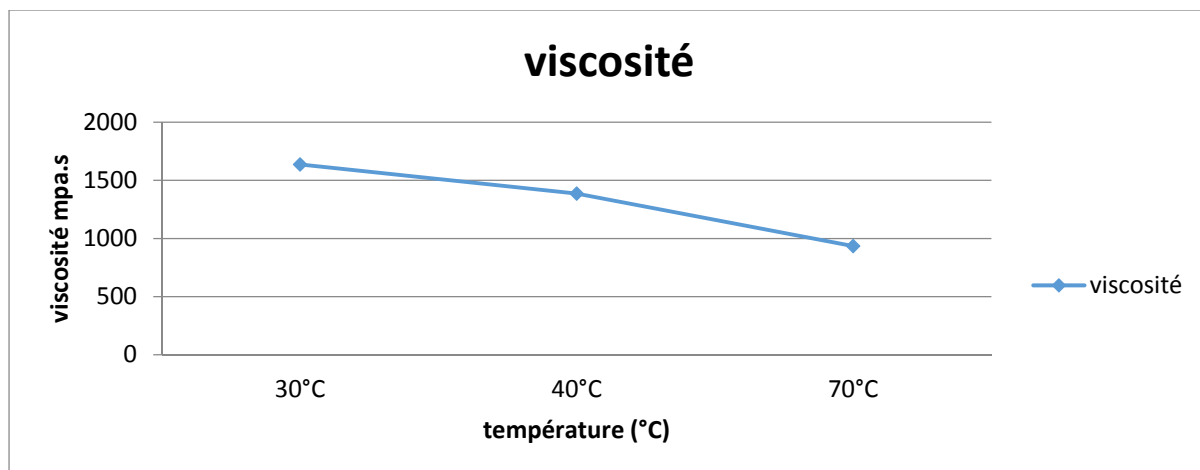


Figure 32: Influence de la température sur la viscosité de la vinaigrette.

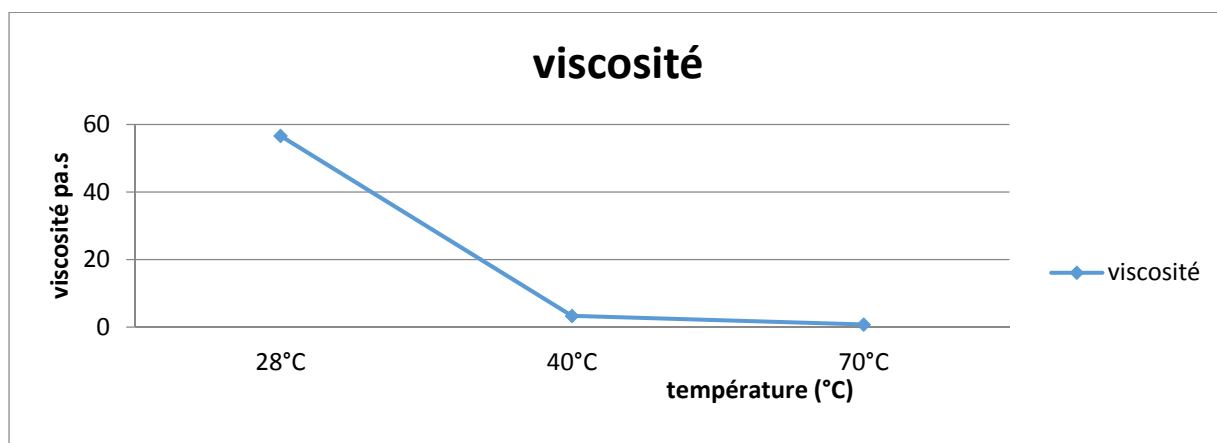


Figure 33 : Influence de la température sur la viscosité du sucre de miel.

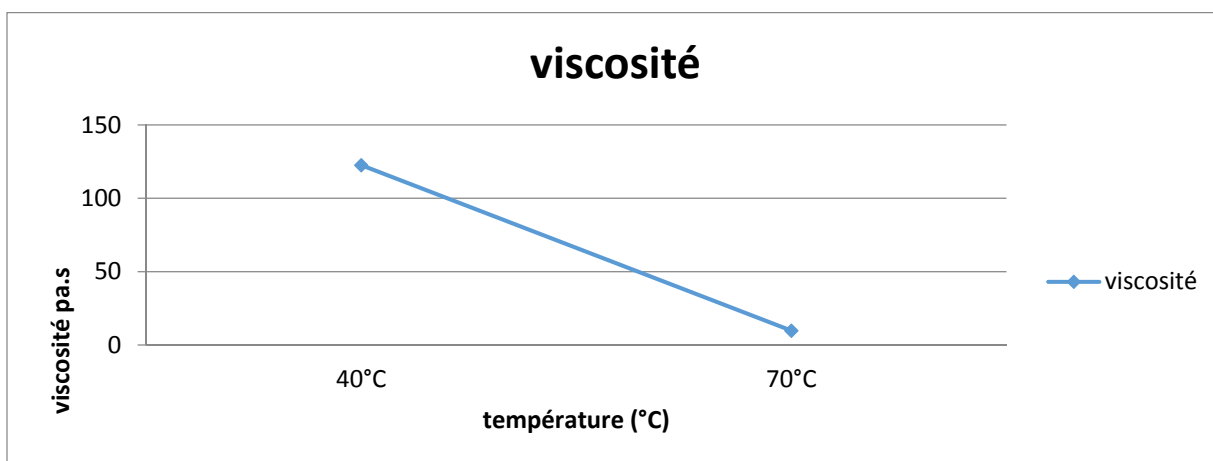


Figure 34 : Influence de la température sur la viscosité de sucre liquide.

Une panoplie de facteurs peut affectés les propriétés rhéologiques à l'instar la viscosité, Parmi ces variantes, la température, cette dernière agit sur les fluides.

La variation de viscosité des fluides peut être très importante en fonction de la température, cette variation est étudiée dans les courbes (Figure 27-33), qui ont été réalisées grâce à l'Excel.

✚ Lors de la lecture simplifiée de ces courbes qui représentent la variation de la viscosité de notre échantillon (par mPa.s ou Pa.s) avec la variation des températures (à une température ambiante, à 40°C puis à 70°C), nous avons observés une diminution de la viscosité due à l'augmentation de température., nous concluons que la température influence d'une façon disproportionnelle (quand l'une augmente l'autre diminue).

✚ Si un fluide refroidit, le mouvement de ses molécules ralentit et celles-ci se rapprochent les unes des autres, le fluide se comprime, son volume baisse et sa masse volumique s'accroît alors. Les basses températures accroissent donc la viscosité, car le flux des particules devient difficile. Une hausse de la température produit l'effet contraire, lorsqu'un fluide est chauffé, sa masse volumique décroît et l'écoulement s'accélére

Notre travail a été consacré sur l'étude d'un paramètre physico-chimique et rhéologique important il s'agit de la viscosité, de quelques produits alimentaires, (Huile d'olive, huile de tournesol, sucre de miel, vinaigrette, sucre liquide et mayonnaise), en utilisant deux différentes méthodes, l'une est directe et qui a été réalisée au sein du laboratoire de Biophysique de l'université de M'HAMED BOUGARA- Boumerdes, et l'autre indirecte (Manuelle), et qui a été faite au niveau du laboratoire de Biophysique de notre université SNVST-Bouira , dans le but de confirmer la fiabilité de cette dernière.

Dans un premier temps, nous avons réalisés notre étude sur les échantillons pour la mesure de leur viscosité avec l'application d'une gamme des températures (28°C, 40°C et 70°C) par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB).

Dans la deuxième étape, nous avons réalisés la même étude par la méthode de Stock (chute de bille) avec une réalisation des conditions thermiques similaires avec la première méthode, ensuite nous avons fait une comparaison entre les résultats obtenus par ces deux méthodes, l'effet de la température sur cette propriété a été étudié également, dans les deux méthodes, et pour tous les produits.

Nous avons obtenus pour l'échantillon "vinaigrette" en utilisant les deux différentes méthodes directe et indirecte les résultats, (1,63Pa.s ; 1,32 Pa.s), (1.38 Pa.s ; 1.42Pa.s) et (0.93 Pa.s ; 0.65 Pa.s), aux températures 28, 40 et 70 °C respectivement.

Pour l'échantillon "huile d'olive ", le viscosimètre nous a donné les résultats (0,104 Pa.s ; 0,101 Pa.s et 0.042Pa.S), ces résultats sont très proches à ceux obtenus par la méthode de Stock (0.38 Pa.s; 0.37Pa.s et 0.44 Pa.s), pour les températures appliquées 28°C, 40°C et 70°C respectivement.

Alors que pour les échantillons " sucre de miel" et "huile de tournesol", les résultats obtenus n'indiquent pas de grande différence dans la viscosité entre les deux méthodes.

Enfin pour les échantillons "sucre liquide" et "la mayonnaise", nous avons obtenus des résultats qui se raccordent dans le cas de sucre liquide à une température de 70°C (6.071 Pa.s ; 8.9 Pa.s), et pour les autres températures et la mayonnaise, nous n'avons pas obtenus des résultats précis à cause des obstacles rencontrés dans l'application.

Ensuite nous avons étudiés l'influence de la température sur la viscosité de ces produits alimentaires. D'après cette étude nous concluons que la viscosité diminue avec

l'augmentation de la température, ceci est dû au mouvement des molécules (vibration microscopique).

A partir des résultats obtenus en utilisant la première méthode, nous constatons que la méthode de Stock (utilisé par nos étudiants), est une méthode aussi précise et donne des résultats aussi fiables.

En perspective, Pour mieux enrichir notre travail, il aurait fallu aboutir à l'influence d'autres facteurs sur la viscosité, confirmation de la fiabilité de la méthode de chute de bille par la comparaison avec d'autre méthode automatisés.



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.

ADRIEN Verschaere, 2017.différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique (en ligne). Editeur : ESME Sudria. 2 juin 2017.Paris.P 9.

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.

AISSIOU Dalila, BOUZANBOUA Nesma, 2012. Contrôle de qualité de sucre blanc de CEVITAL. Mémoire d'Ingéniorat en science alimentaire. Université Abderrahmane Mira. Bejaïa.

ARDITTY S. 2004. Fabrication, stabilité et propriétés rhéologiques des émulsions stabilisées par des particules colloïdales. Analyse de données, Statistiques et Probabilités physics.data-an. Université Sciences et Technologies .Bordeaux I.

AYOUAZ Sabrina, BENMAMAS Fatima, 2017. Etude de la viscosité de quelques produits de CEVITAL. Mémoire de Master en Sciences Alimentaires. Université Abderrahmane Mira. Bejaïa. P 5-7.

AYMEN M, 2011. Etude des modèles de corrélation de volume et de viscosité dans le système binaires liquides. Mémoire de Master de recherche. Université de Tunis Elmanar.P 7-8.

AZRATE A, 2005. Extraction et raffinage de cane. ED: ACER. France. P 3.10.



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 35-40

BAHIRANA Amine, CHEFAY Feriel, 2018. Optimisation de l'inversion de sucre liquide : influence de la concentration d'acide citrique et du temps de chauffage. Mémoire de Master en Sciences Alimentaires. Université A. Mira. Bejaïa. P 6.

BARKA Amel, 2016. Evaluation des indices de nature physico-chimique de quelques huiles alimentaires de friture et impact sur la santé du consommateur. Mémoire de Master en Science Alimentaires. Université de Tlemcen. P 9.

BEGLA B, GRADECK M, BARVIAN C, VIANOU A, DEGAN G et LÉBOUCHE, 2014. Etude thermique expérimentale des suspensions Newtoniennes en solution du glucose et de l'eau en écoulement dans une conduite horizontale à section constante. Science appliquée et de l'ingénieur. Revue de Cames.

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

BENAOUN Nadjah, 2007. Recherche et identification des maladies traitées par le vinaigre traditionnel des dattes à EL-Oued. mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'étude supérieur en biologie. Université kasdi merbah-Ouargla. P 25.

BENHAMED Djilali Adiba, 2007. Etude et optimisation d'un processus de fabrication traditionnelle du vinaigre à partir de deux variétés de datte communs cultivés dans le sud algérien. Mémoire de magistère pour l'obtention du titre de magistère en technologie alimentaire .université m'Hamed Bougara. Boumerdes.

BOUGROURA Alla Eddine, 2006. Réalisation d'un module de calcul en MDF. Mémoire de fin d'étude présentation obtenir le diplôme d'ingénieur d'états .université de Batna.

BOUKELLAM M, 1996. Les industries agroalimentaires en Algérie: Politique, structure Et performance depuis l'indépendance. Article en ligne. Montpellier: CIHEAM p1-67 (cahier options méditerranéennes : n19).

BOUKHIAR Aissa ,2009. Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de datte tel qu'appliqué au sud algérien essai d'optimisation .Mémoire de magistère en Technologie Alimentaires .université m'Hamed Bougara. Boumerdes. P25.

BOURACHOUCHE Karim, BOUDEL Amir, 2017. Caractérisation physico-chimique des huiles végétales alimentaires. Mémoire de Master en Génie des Procédé. Université A- Mira. Béjaia. P21-25.



CAMPBELL E, 1983. Sun flower oil. Journal of American Oil Chemist's Society.

CARRE B, GOMEZ J, MELCION B, GIBOULOT, 1994. La viscosité des aliments destinés à l'aviculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau.

CHEFTEL J-C, CHEFTEL H et BESANÇON P, 1971. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Lavoisier Paris.

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.

COSSUT J, DEFRENNE B, FERROUL S, GARNET S, HUMBERT S, ROELSTRAETEL L, VANUXEEN M et VIFAL D, 2002. Les corps gras: Entre tradition et modernité (Gestion de la qualité nutritionnelle et marketing des produits alimentaires. P18.

COULOMBE Caroline, 2002.Un siècle de prescriptions culinaires : continuités et changement dans la cuisine au Québec, 1860-1960 Mémoire présenté à l'Université du Québec à Trois-Rivières.



DARWICHE Ahmed, 2012. Microrhentre sur puce pour l'étude de l'écoulement d'un liquide de proche d'une surface solide. Thèse doctorat en Laser, Matière et Namosciences. Université Bordeaux. Ecole doctorale de science physiques et d l'ingénieur.P16.

DEBRUYNE, 2001. Transformation et aspect industriels : technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire.

DELOUX M, 2002. Procédé de transformation de sucrière (partie 1) (En ligne) . Dans: Technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire (F6150). P18.

DELOUX M, 2003. Procédé de transformation en sucrière (partie 2) (En ligne)dans: Technique de l'ingénieur.

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.

20- DOUMBIA Alou, 1993. Contrôle de qualité dans les industries agroalimentaires du district de BAMAKO (En ligne). Doctorat en Pharmacie (Diplôme d'Etats) Ecole nationale de médecine et de pharmacie. Mali.P 5.

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.



ELGURRI Mohamed, 2015.mécanique des fluides : théorie et application .mémoire de master. Université de tiart.

ELILIE F, 2006. Connaissance des aliments. Ed: Lavoisier. Tec et Doc. Paris P 397.

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.

EVRARD J, BAUDET J et BURGHART, 1986. Conditionnement transformation. Produits : Cahier Technique Tournesol Ed. CETIOM.



FASSI Farida, 2018. Mécanique des fluides. Chapitre (En ligne). Faculté des sciences de REBAT.P35-40.

FERIAL M, ABOU-SALEM, AZZA A, ABOU-ARAB, 2008. Chemical, microbiological and sensoryevaluation of mayonnaise preparedfromostricheggs. Grasas y Aceites, 59 (4). P 352-360.



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

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.

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

GUIRAUD J.P, 2003, Microbiologie alimentaire. Édition : RIA.Editeur : La France agricole. France.



HAMDADOU N, 2017. couche mince : technique du vide et technique d'élaboration. Article.

HAMIROUNE Abdelghani, FEKRACHE Mounir, 2018. Caractérisation physico-chimique de l'huile d'olive variété Chemlal de différentes wilayas de l'Algérie. Mémoire de Master. Université a- Mira. Bejaia.

HASSANI Lamia, IKNI Zouina, 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.

HUGOTE, 1986. Handbook of cansugar engineering. Ed : Elsevier Science publishing company pub.co.Newyork,USA. P185.



KONE Siaka, 2001. Fabrication artisanale de la mayonnaise. Journal de la société chimique de Tunisie.P1-3.



LABOURET P, 2016. Manger mieux c'est choisir ses aliments. Ed : du dauphin. P304.

LAZZEZ A., COSENTINI M., KhLIF M., KARRAY B, 2006. Etude de l'évolution des stérols, des alcools aliphatiques et des pigments de l'huile d'olive au cours du processus de maturation. Journal de la société chimique de Tunisie 8 P 21-32.



MARIELLE Charles, 1998.influence des paramètres d'élaboration-formulation et procédé-sur la disponibilité des composés volatils de sauces émulsionnées de type vinaigrette. thèse de doctorat en science des aliments.Université de Montréal.

MATHLOUTHI. Consultant in food.Agro-Alimentaires (En ligne). Université de Reins. Dossier CEDUS. France.

MATHLOUTHI M, 2004. Propriété physique et chimique du saccharose Consultant in food.Agro-Alimentaires (En ligne). Université de Reins.France. P1-43.

MATHLOUTHI M, BARBARA R, 2001. L'extraction de sucre. CEDUS. Centre étude et de documentation du sucre. Université de Reins.France. P 1-4.

MATTHIEU Brizard, 2005. Développement et étude d'un viscosimètre absolu à chute de bille. Thèse Doctorat. Université JOSEPH Fourier - GRENOBLE 1.

MIHOV R, NIKOVSKA K, NENOV N, SLAVCHEV A, 2012. Evaluation of mayonnaise-like food emulsions with extracts of herbs and spices. Emir. J. Food Agric., 24 (3). P 191-199.

MOUAS Mohamed, 2012. Etude par dynamique moléculaire de la structure atomique et de la compressibilité isotherme de métaux liquide. Calcule de la diffusion et de la viscosité de soudures sans plomb par le formalisme de Green.Kubo. Thèse doctorat en Physique de la matière condensée. Université de Lorraine. P85.

MOUMEN Fatima, 2010.étude des effets turbulents de l'écoulement sanguin dans la crosse aortique..Théorie et simulation. Diplôme de magister .université d'Oran es-senia.

MOUSSOUNI Imane, ZAIDI Ferial, 2017. Qualité et activité antioxydant de l'huile d'olives issue des mélanges de deux variétés différentes. Mémoire de Master. Université A-Mira Bejaia.



ORTIKONI Célia, ROMANI Serena, SAVELI Florian et SAVELI Marie-Paule. 2009. La mayonnaise. Article.



PALMA A, AZIZ M.G, CHAWDHURY M, UDDIN M.B, ALAMM, 2004. Effect of edible oils on quality and shelf life of low fat mayonnaise. Pakistan Journal of Nutrition (6) . P 340-343.

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

POUZET A, 1992. Raffinage des corps gras In : manuel des corps gras. Tome:1.Ed: techniques et documentation. Paris. 1992.



RAGEOT M, RANEL L, 2004. Procédure de fabrication du sucre (En ligne). Le sucre (4). P 1-4.

RODRIGUEZ G, JUAN, 1999. Raffinage physique .Institut de la grasas y aceitescsic. (En ligne).

ROEHLLY Yamnik, 2002. La fabrication de l'huile d'olive. Une étude bibliographique.

ROMAIN J, THOMAS C, PRESSES et GERRARED B, 2007. Science des aliments. Lavoisier. Ed : Tec, Doc. P449.



SALLOUM Zaynab, 2008.étude mathématique découlements de fluides viscoélastique dans des domaines singuliers. thèse de doctorat .université libanaise –paris.

SCHER JOEL ,2006.Rhéologie, Texture et texturation des produits alimentaire. Article. Issus de procédés chimie –bio- agroalimentaire publié le 10.12.2006.

SEBRANE Abdeslem, BOULAHOUAT Bouzid, 2018. Analyse physico-chimiques et microbiologiques d'un produit laitier Mémoire de Master en Sience Alimentaire. Université A-Mira. Bejaia.P38.

SERVILI M., MONTEODORO G,2002. Contribution of phenolic compound to virgin olive oil quality. European Journal of Lipid Science and Technology, 104 P 602-613.

SORDELET, 2018. Les fluides non-newtoniens entre liquide et solide. Concours CGENIAL. Lycée Français de Berlin. P 1.



TAIBI Ghalia, 2005. L'identification de limitation dans le secteur agroalimentaire Français. Thèse de Doctorat en stratégie et Management des organisations. IAE de Lille.

TESFAY E, 2002. Wine vinegar : technologie authenticity and quality evaluation. Journal of trends in. Food science and technology.Editeur :PFinglas.Elsevier.

U

UZZAA, 1992. Olive et huile d'olive. In « Manuel des corps gras ». Tome 1.Ed : Lavoisier, Paris .P 221-228.

V

VAN Aelest, 2006.Sucre de Tirlémont. Introduction aux sweet moments (En ligne)...Ed : Sudzucker. P 9-14.

Site web

Anonyme 1 : http://mms2.ensmp.fr/public/mms_paris/miniprojets/BilleTherm/bille.pdf

Anonyme 2 : <https://www.aceitedelasvaldesas.com/fr/faq/varios/densidad-del-aceite/>

Anonyme 3 : https://hydreaumiel.org/science/de_base/densite.html

Anonyme 4 : <https://nosdevoirs.fr/devoir/2002116>

Anonyme5 : <https://www.google.com/search?q=google+image&oq=google+image&aqs=chrome..69i57j0l5.3325j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Résumé

Le contrôle de qualité occupe une place importante dans le secteur agroalimentaire. Pour cela, nombreux critères sont pris en compte pour assurer la qualité d'un produit alimentaire. La viscosité est l'un des critères les plus importants qui montrent la qualité d'un produit alimentaire.

Notre travail consiste à étudier les propriétés rhéologiques à l'instar de la viscosité de quelques produits alimentaires (Huile d'olive, huile de tournesol, sucre de miel, vinaigrette, sucre liquide et mayonnaise). Afin d'étudier cette propriété, nous avons utilisé deux méthodes:

- La première méthode (directe) a été réalisée par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB), au niveau de laboratoire Biophysique de l'université de M'HAMED BOUGARA-Boumerdes,
- La deuxième méthode (indirecte), nous avons fait des mesures indirectes (manuellement), en utilisant la méthode de Stock (chute de la bille), nous avons réalisé cette méthode au niveau de laboratoire de Biophysique de notre université SNVST-Bouira.

Le travail a pour but de vérifier la fiabilité et la précision de cette dernière utilisée par les étudiants de 2eme année toutes filières confondues. A travers notre étude, les résultats obtenus sont en accord avec ceux trouvés avec la méthode directe. Cependant nous avons enregistré de légères différences dues à l'incertitude de mesure pour certains produits.

Mots clés : viscosité, fluides, méthode de Stock, chute de la bille, produits alimentaires.

ملخص

تحتل مراقبة الجودة مكانا مهما في قطاع صناعة الاغذية، من اجل هذا عدة خصائص تأخذ بعين الاعتبار من اجل ضمان نوعية المنتج الغذائي. تعتبر اللزوجة من بين الخصائص المهمة التي تبيين نوعية المنتج الغذائي. يتمثل عملنا في دراسة الخواص الريولوجية مثل لزوجة بعض المنتجات الغذائية(زيت الزيتون، زيت عباد الشمس، سكر العسل، صلصة السلطة، السكر السائل و المايونيز). من اجل دراسة هذه الخاصية استخدمنا طريقتين:

• الاولى (طريقة مباشرة) تمت بواسطة مقياس اللزوجة(FUNGILAB) على مستوى مخبر الفيزياء الحيوية بجامعة محمد بوقرة-بومرداس .

• الطريقة الثانية: قمنا بقياسات غير مباشرة (يدوية)، باستعمال طريقة Stock (سقوط الكرية) ، لقد قمنا بهذة الطريقة على مستوى مخبر الفيزياء الحيوية في جامعتنا SNVST-البويرة.

و الغرض من هذا العمل هو التحقق من موثوقية و دقة هذه الاخيرة المستخدمة من قبل طلاب السنة الثانية لدينا في جميع التخصصات. من خلال دراستنا، النتائج التي تحصلنا عليها متوافقة مع النتائج المتحصل عليها بالطريقة المباشرة، مع ذلك سجلنا اختلافات طفيفة بسبب الارتياح في الحساب لبعض المنتجات.

كلمات مفتاحية: اللزوجة، السائل، طريقة Stock ، سقوط الكرية، منتجات غذائية.

Abstract

Quality control plays an important role in the agri-food sector. To do this, many criteria are taken into account to ensure the quality of a food product. Viscosity is one of the most important criteria that shows the quality of a food product.

Our work consists in studying the rheological properties such as the viscosity of some food products (olive oil, sunflower oil, honey sugar, vinaigrette, liquid sugar and mayonnaise). In order to study this property, we used two methods:

- The first method (direct) was measured by a rotating viscometer (FUNGILAB), at the Biophysics Laboratory of the University of M'HAMED BOUGARA-Boumerdes.
- The second method (indirect), we made indirect measurements (manually), using the Stock method (drop of the log), we carried out this method at Biophysics laboratory of our university SNVST-Bouira.

The aim of the work is to verify the reliability and accuracy of the indirect method used by 2nd year students in all fields of study in our university. Through our study, the results obtained are in agreement with those found with the direct method. However, we recorded slight differences due to the measurement uncertainty for some products.

Keywords: viscosity, fluids, stock method, ball drop, food products.