

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

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

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/FSNVST/DSA/2022

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 :

MECHIDDOU Farida & MERZOUK Sara

Thème

**Etude de fiabilité de la méthode de Stock utilisée dans la mesure
de la viscosité de quelques produits alimentaires**

Évalué le: 04 / 07 /2022

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>NOURI Allaoua</i>	<i>MAA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>REKAB-DJABRI Hamza</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>HAMID Sonia</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Examinatrice</i>

Année Universitaire : 2021/2022



Remerciement

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

Nos remerciements vont aussi à notre promoteur **Mr REKAB DJABRI Hamza**, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, et pour nous avoir permis de bénéficier de ses conseils éclairés tout au long du développement de notre travail.

Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mme HAMID Sonia** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer nos très grandes considérations à **Mr NOURI Allaoua**, de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.

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

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 la 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

Dédicace

A l'aide de DIEU, le tout puissant, ce travail est achevé ; Je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

- ❖ A mes parents pour tous leurs efforts et leur patience durant toutes ces années, Pour m'avoir orientés et encouragés dans mes études .
- ❖ A celle qui m'a comblé d'amour, de soutien et de tendresse. A vous mon signe de douceur, de joie et de bonheur, à vous ma volonté, ma fierté et mon honneur : **Ma mère «Fatiha».**
- ❖ A celui qui a consacré toute sa vie pour me guider et m'assister: **Mon père «Selimane»**
- ❖ A mes chères sœurs et frères : Sonia ,Donia,Chanaze, Nassima, Kahina, Farid, Remdhane.
- ❖ A mon ami :Mohammed.
- ❖ A ma très chère binôme Sara et sa famille.

Farida



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.
- ❖ A mes chères sœurs et leurs petites familles pour leur encouragements permanent, et leur soutien moral .
- ❖ A mes chers frères , pour leur appui et leur encouragement.
- ❖ A tout ma famille pour leur soutien au long de mon parcours universitaire.
- ❖ A ma très chère amie : Wissam et sa famille.
- ❖ A mon binôme Farida et sa famille .

Sara



Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Partie bibliographique

Chapitre I: Caractéristiques générales de certains produits alimentaires étudiés

I.1. Généralités sur les Industries agroalimentaires	3
I.2. Les Types d'industries Alimentaires	3
I.2.1. L'industrie des huiles alimentaires	3
I.2.1.1. Huile d'olive	4
I.2.1.1.1. Définition.....	4
I.2.1.1.2. Les diverses catégories d'huile d'olive.....	4
I.2.1.1.3. Composition de l'huile d'olive	4
I.2.1.1.4. Procédés d'extraction de l'huile d'olive	5
I.2.1.1.5. Conservation	5
I.2.1.1.6. Utilisation et importance.....	6
I.2.1.2. L'huile de tournesol	6
I.2.1.2.1. Origine et définition.....	6
I.2.1.2.2. Composition des huiles de tournesol classiques :	7
I.2.1.2.3. Conservation	7
I.2.1.2.4. Extraction de l'huile de tournesol	7
I.2.2. Industrie sucrière.....	8
I.2.2.1. Sucre liquide (sirop de glucose)	8
I.2.2.1.1. Définition.....	9
I.2.2.1.2. Fabrication de sucre liquide (Fabrication de sirop de glucose à base de grain de maïs).....	9
I.2.2.1.3. Utilisations.....	9
I.2.2.1.4. Importance	10
I.2.2.1.5. Conservation.....	10

Sommaire

I.2.2.2. Miel de sucre (Succédané du miel).....	10
I.2.2.2.1. Définition et composition	10
I.2.2.2.2. Fabrication de sucre de miel.....	10
I.2.2.2.3. Utilisations.....	12
I.2.2.2.4. Importance	12
I.2.2.2.5. Conservation.....	12
Chapitre II: propriétés rhéologiques (viscosité)	
Introduction.....	13
II.1. Définition de la viscosité	13
II.2. Qu'est-ce qu'un fluide ?.....	14
II.3. Les types des fluides.....	15
II.3.1. Les fluides newtoniens.....	15
II.3.2. Les fluides non newtoniens.....	15
II.4. Objectif de la mesure de la viscosité	16
II.5. Les types de la viscosité.....	16
II.5.1. Viscosité dynamique	16
II.5.2. Viscosité cinématique	17
II.6. Facteurs affectant la viscosité.....	17
II.6.1. Conditions de mesure.....	17
II.6.2. Température	18
II.6.3. Gradient de vitesse et force de cisaillement.....	18
II.6.4. Temps.....	18
II.6.5. Composition et additifs	18
II.6.6. Historique de l'échantillon.....	18
II.7. Nature de régime de l'écoulement	18
II.7.1. Régime laminaire	18
II.7.2. Régime turbulent.....	19
II.8. Méthode de Mesure de viscosité	20
II.8.1. Méthode directe par un viscosimètre	20
II.8.1.1. Les viscosimètres à tube capillaire.....	20
II.8.1.2. Les viscosimètres rotatifs	20
II.8.1.3. Les viscosimètres à corps vibrants	21
II.8.2. Méthode indirecte (manuelle)	21

Sommaire

II.8.2.1. Méthode de stock (chute de bille)	21
---	----

Partie expérimentale

Chapitre I: Matériels et méthodes

I.1. Objectif d'étude	23
I.2. Matériel biologiques.....	23
I.3. Objectif de choix des produits.....	23
I.4. Techniques de mesure de la viscosité.....	23
I.4.1. Méthode indirecte par la chute de bille (Méthode de Stock).....	24
I.4.2. Méthode directe par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB).....	28

Chapitre II: Résultats et discussions

II.1. Détermination de la viscosité	33
II.1.1. Détermination de la Viscosité de l'échantillon huile d'olive.....	33
II.1.2. Détermination de la Viscosité de l'échantillon huile de tournesol	33
II.1.3. Détermination de la Viscosité de l'échantillon sucre de miel.....	34
II.1.4. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de sucre liquide.....	35
II.2. Interprétation des résultats.....	37
II.3. Détermination de Types des fluides (Echantillons) utilisés	38
II.4. Influence de la température sur la viscosité.....	38
Conclusion générale	41

Références bibliographiques

Résumé

Liste des figures

Figure 1: Image d'huile d'olive traditionnelle kabyle « Kabylia ».	4
Figure 2: Schéma représentant les procédés d'extraction de l'huile d'olive.	5
Figure 3: huile de tournesol (Ferme de la Margue).	6
Figure 4: sirop de glucose (Toque du chef).	8
Figure 5: Miel (Huffington post).	10
Figure 6: Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide newtonien) (SOURDELET, 2018).	15
Figure 7: Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide non-newtonien) (SOURDELET, 2018).	16
Figure 8: Les deux types d'écoulement laminaire et turbulent en images.	19
Figure 9: viscosimètre d'Oswald.	20
Figure 10: Viscosimètre de Hubbeloh.	20
Figure 11: viscosimètre Brookfield.	21
Figure 12: viscosimètre fungilab.	21
Figure 13: Modèle de viscosimètre vibrant.	21
Figure 14: viscosimètre a chute bille.	22
Figure 15: les trois forces appliquées à la bille.	24
Figure 16: Epruvette graduée.	26
Figure 17: Balance.	26
Figure 18: Différentes bille en acier.	26
Figure 19: Chronométré.	26
Figure 20: Plaque chauffante et un Thermomètre.	27
Figure 21: Préparation de viscosimètre a chute de bille.	27
Figure 22: Chute de bille dans le liquide.	28
Figure 23: La densité des billes.	28
Figure 24: L'appareil vu de face (viscosimètre FUNGILAB).	29
Figure 25: Tiges accompagnant le viscosimètre « FUNGILAB ».	29
Figure 26: Préparation de produit pour la mesure.	30
Figure 27: Choix de tige idéale.	31
Figure 28: Lecture de résultat de viscosité.	31
Figure 29 : influence de la température sur la viscosité d'huile d'olive.	38
Figure 30: influence de la température sur la viscosité d'huile de tournesol.	39
Figure 31: influence de la température sur la viscosité de sucre de miel.	39
Figure 32: influence de la température sur la viscosité de sucre liquide.	39

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition des huiles de tournesol.....	7
Tableau 2: Valeurs de viscosité obtenues par un viscosimètre a chute de bille (l'huile d'olive).	33
Tableau 3: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (huile d'olive).	33
Tableau 4: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre a chute de bille (huile de tournesol).....	34
Tableau 5: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre FUNGILAB (huile de tournesol).....	34
Tableau 6: Valeurs de viscosité obtenues par la méthode de chute de bille (sucre de miel). ..	34
Tableau 7: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre a chute de bille (sucre liquide).	35

Liste des abréviations

Liste des abréviations

AG	Acides gras
Cm	centimètre
cP	centpoise
C°	Degré Celsins
cts	centistokes
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
Vm	Vitesse circulatoire moyenne

Liste des abréviations

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

Introduction générale



Introduction générale

Les aliments sont des matériaux qui sont constamment soumis à des modifications de forme, de taille et de structure. Ils sont sensibles à la température, à l'oxygène, etc. Ils ne sont étudiés souvent que sous certains aspects (nutritionnels et biochimiques notamment) et on néglige souvent de mesurer les propriétés mécaniques. Pour ce faire, nous avons coutume de mesurer les propriétés rhéologiques qui nous permettent de prédire leur comportement mécanique au cours des différentes étapes de l'élaboration dans les industries agroalimentaires (**Scher, 2010**).

Les productions agroalimentaires occupent une place importante dans l'économie et la croissance économique globale de l'Algérie. Tous les indicateurs montrent une tendance à la croissance du secteur et à l'amélioration de sa productivité. Les acteurs des industries agroalimentaires (I.A.A.) contribuent à améliorer la sécurité alimentaire en fournissant régulièrement le marché national en produits de base (pain, farine, semoule, lait, sucre, tomates industrielles, viandes et huiles alimentaires) (**FCE, 2016**).

La texture est une des propriétés organoleptiques majeures des produits alimentaires. Evaluée en analyse sensorielle, pour l'industrie, la connaissance des propriétés structurelles des produits, devient donc indispensable pour créer, modifier et produire des aliments aux propriétés de texture contrôlées (**SCHER, 2006**).

Ainsi, dans la vision la plus immédiate, cette industrie semble avoir pour but de transformer la matière pour lui donner des propriétés (physiques, chimiques, biologiques) (**DOUMBIA, 1991**).

Parmi les propriétés physiques qui existent, il y a ce que l'on appelle les propriétés rhéologiques. Ces propriétés nous permettent de comprendre les fluides avec lesquels nous travaillons afin de savoir comment ils se comportent, ou comment les forcer à se comporter de la manière souhaitée (**BADAOU, 2012**).

La viscosité est l'un des paramètres rhéologiques principaux mesurés lors de l'étude de l'écoulement des fluides. Dans cette étude, nous nous intéressons essentiellement aux produits alimentaires à l'état fluide. Les mesures de viscosité sont en général liées à la qualité et aux performances d'un produit fini (huile, sauces, miel...) (**CARRE et al, 1994**). De nombreuses méthodes de mesure de la viscosité des liquides ont été décrites.

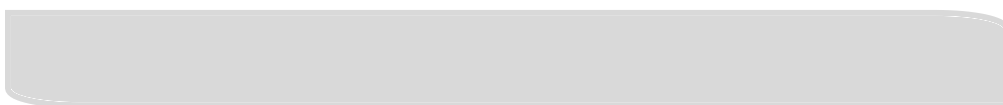
Notre étude a pour objectif de vérifier et confirmer la fiabilité de la méthode de stock dans la mesure de la viscosité de quelques produits alimentaire tel que : l'huile d'olive, huile de ternsuole, pour nos étudiants de deuxièmes année dans notre faculté SNV.

Introduction générale

Le présent travail est subdivisé en deux parties:

- ✓ 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.

Partie bibliographique



Chapitre I : Généralités
sur les industries agro-
alimentaires



I.1. Généralités sur les Industries agroalimentaires

Le secteur de l'industrie agroalimentaire est un maillon important, même crucial dans le tissu de l'industrie nationale algérienne car son impact sur l'économie du pays est prépondérant.

Par voie de conséquence, il contribue au produit intérieur brut (PIB) et absorbe la hausse du chômage, ce qui est en soi positif. C'est la raison pour laquelle les pouvoirs publics algériens accordent une attention tout à fait particulière vis-à-vis de son développement.

En effet, durant l'ultime décennie, diverses stratégies et politiques ont été adoptées et mises en œuvre (**Khelifa et al.,2015**).

Une grande variété de mélanges sont utilisés dans l'industrie alimentaire :

- ✓ Poudres à comportement granuleux sec (sel, sucre...).
- ✓ Interrompre les médicaments (soupe, conserves...).
- ✓ Emulsion (vinaigre balsamique, beurre...).
- ✓ Autres mélanges (yaourt, ketchup, moutarde...)(**AYOUAZ et BENMAMAS,2017**).

I.2. Les Types d'industries Alimentaires

I.2.1. L'industrie des huiles alimentaires

Les huiles et les graisses alimentaires se préparent avec a des graines ou des fruits oléagineux, des germes ou des pépins de production végétale variés ainsi que des tissus adipeux d'animaux terrestres ou marins. Les huiles de graisses se différencient principalement par leur point de fusion. les huiles sont alors des corps gras liquides tandis que les graisses , à cette même température de 15 °C semblent plus ou moins solides.(**Barka, 2016**).

Ces huiles sont végétales et en cuisine, on les emploie comme huiles de cuisson ou de fritures. Naturellement, elles apportent des nutriments dont les bienfaits sont reconnus d'un point de vue sanitaire (**Ayouaz et Benmamas, 2017**).

On obtient des huiles végétales par l'extraction des grains oléagineux (arachide, soja, tournesol, sésame, colza...)(**Uzzan, 1984**).

Par ailleurs, un large éventail d'huiles végétales existent et très prisées par les consommateurs. Nous allons mettre en avant certaines d'entre elles :

I.2.1.1. Huile d'olive



Figure 1: Image d'huile d'olive traditionnelle kabyle « Kabylia ».

I.2.1.1.1. Définition

D'après le Codex, « c'est l'huile provient uniquement de l'olivier (*Olea europaea*) à l'exclusion des huiles obtenues par solvant ou par processus de réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature » (**Roellhy, 2002**).

I.2.1.1.2. Les diverses catégories d'huile d'olive

Ces catégories sont répertoriées d'après des critères chimiques et organoleptiques et ainsi, l'on distingue :

- ✓ **L'huile d'olive vierge** : le seuil maximum de son acidité libre atteint 2%.
- ✓ **L'huile d'olive extra vierge** : le seuil maximum de son acidité libre atteint 0,8%.
- ✓ **L'huile d'olive vierge courante** : le seuil maximum de son acidité libre atteint 3,3%.
- ✓ **L'huile d'olive vierge lampante** : son taux d'acidité libre dépasse 3,3%.
- ✓ **L'huile d'olive raffinée** : le seuil maximum de son acidité libre atteint 0,3%.
- ✓ **L'huile d'olive** : le seuil maximum de son acidité libre atteint 1% et sa constitution se réalise par le coupage de deux huiles, à savoir vierge et raffinée (**Bouncer et Djadoune, 2012**).

I.2.1.1.3. Composition de l'huile d'olive

Sa composition est faite à partir d'une fraction saponifiable et cela représente 98 % de l'huile d'olive (**Azzez et Al., 2006**), elle-même constituée de triglycérides et d'acides gras, qui dépendent du climat, des variétés ainsi que du degré de maturité des olives (**Moussouni et Zaidi, 2017**).

Sa composition se complète par un autre élément, une fraction insaponifiable représentant les 2% restants du poids total de l'huile d'olive (Composants mineurs : Stérol, phénol, dialcools, tri-terpénique, vitamines a-d-e-k, cire, matières volatiles, métaux lourds et cuivre (Servili et Al., 2002)).

I.2.1.1.4. Procédés d'extraction de l'huile d'olive

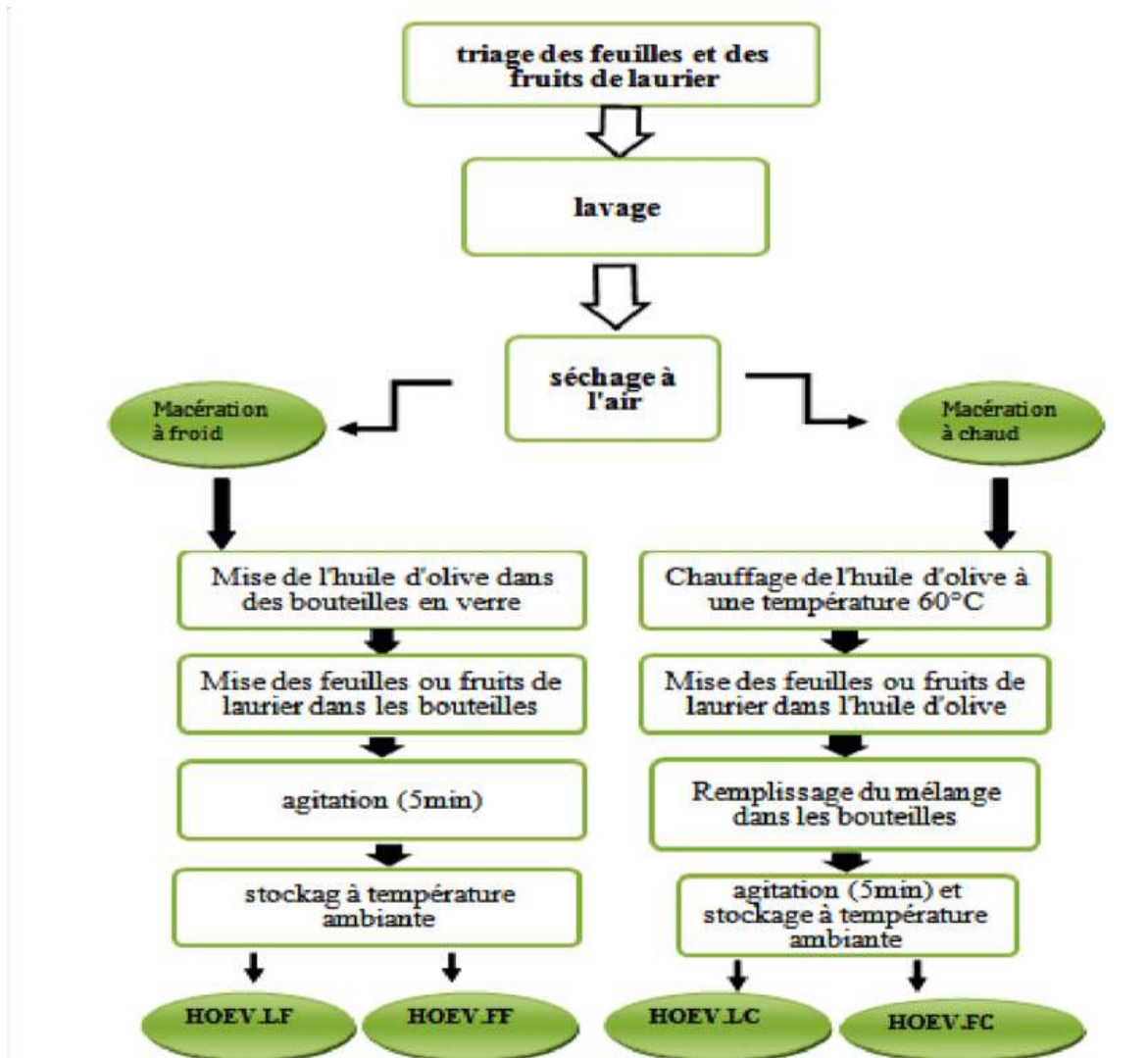


Figure 2: Schéma représentant les procédés d'extraction de l'huile d'olive.

I.2.1.1.5. Conservation

La conservation qualitative et optimale de l'huile d'olive est régie par certaines caractéristiques de conservation, parmi lesquelles : être à l'abri de la lumière, à une température idéale de 18°C, pour éviter qu'elle ne se fige, il faut absolument éviter de la déposer au sein d'un réfrigérateur et enfin, ne pas dépasser la période limite de conservation, c'est-à-dire 18 mois (Bourachouche et Boudei, 2017).

I.2.1.1.6. Utilisation et importance

Le domaine alimentaire utilise des huiles de table, l'huile de friture, en vue de la fabrication de la margarine et de graisses émulsionnables, pour la fabrication de produits cosmétique (**Cheflet,1997**) mais également pour la santé car elles vont apporter les acides gras nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme(**Uzza, 1992**).

I.2.1.2. L'huile de tournesol



Figure 3: huile de tournesol (Ferme de la Margue).

I.2.1.2.1. Origine et définition

Le tournesol est initialement une plante oléagineuse annuelle. *Heliantus annuus* est son appellation scientifique et il faut savoir que le tournesol s'appelle ainsi car, comme son nom l'indique, cette plante se positionne régulièrement face aux rayons du soleil, possède une inflorescence et en grec, « helios » signifie soleil et « anthos » signifie fleur. En anglais, allemand et espagnol, on traduit le tournesol par : sunflower, sonnenblume et girasol (**Kartika, 2005**).

L'huile de tournesol possède une première pression à froid après être raffinée. Elle se caractérise par une odeur à la fois légère et agréable, une saveur douce. D'un point de vue chromatique, ses couleurs sont les jaunes pâle et orangé. Cette très bonne huile de table au goût discret s'accommode des plats subtils (**Cossut, 2002**).

Les variétés classiques de tournesol des huiles riches en acide linoléique (C18 :2, environ 60%) à faible teneur en acide oléique (C18 :1, environ 20%) et quasiment sans acide linoléique.

I.2.1.2.2. Composition des huiles de tournesol classiques :

Cette l'huile est principalement composée par des triglycérides (98 - 99%).

<u>Acide gras</u>	<u>Nature</u>	<u>Acide gras totaux (%)</u>
Acide palmitique	C16 : 0	5 – 7
Acide palmitoléique	C16 : 1	≤0.4
Acide margarique	C17 : 0	≤0.1
Acide stéarique	C18 : 0	4 – 6
Acide oléique	C18 : 1	15 – 25
Acide linoléique	C18 : 2	62 – 70
Acide linoléinique	C18 : 3	≤0.2
Acide arachidique	C20 : 0	< 1
Acide arachidique	C20 : 1	<0.5
Acide gadoléique	C22 : 0	0

Tableau 1: Composition des huiles de tournesol

I.2.1.2.3. Conservation

Cette huile peut se conserver jusqu'à un seuil limite de 18 mois, pour ainsi maintenir sa grande qualité à l'intérieur d'un emballage en plastique et de préférence en verre pour limiter le contact de l'huile avec la lumière (EVRARD et al., 1986).

I.2.1.2.4. Extraction de l'huile de tournesol

❖ Préparation des graines

La préparation des graines ou des fruits est cruciale pour la qualité de l'huile. Elles vont être 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, et 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 et extraction chimique par solvant .

- ✓ **Extraction mécanique par pression** : C'est une opération qui consiste à presse la matière première dans des presses à vis en continu. Finalement, on va obtenir 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 tourteau avec l'hexane circule à contre-courant dans l'extracteur.

Le mélange ainsi obtenu (huile – hexane) va être 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** : Cela permet d'enlever les composés qui perturber le gout, et va améliorer la stabilité de l'huile.
- ✓ **Neutralisation** (supprimer les acides gras libre) : Une fois neutralisé, l'huile est lavée à l'eau pour éliminer les traces de savon (**POUZET, 1992**).
- ✓ **Filtration ou Centrifugation** (elle supprime 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.2.2. Industrie sucrière

L'objectif des industries sucrières est de produire un sucre de qualité à partir d'une matière première la plus pure possible, le tout avec un rendement optimum. L'industrie sucrière est donc essentiellement une industrie de séparation et de purification. Une quantité importante d'opérations unitaires de séparation sont ainsi mises en œuvre à cet effet. (**AGVENI et BOVROVINA, 2012**).

I.2.2.1. Sucre liquide (sirop de glucose)



Figure 4: sirop de glucose (Toque du chef).

I.2.2.1.1. Définition

Le sirop de glucose se définit comme étant un glucide pur élaboré à partir d'amidon de maïs ou de féculé de pommes de terre, caractérisé par un pouvoir sucrant moins élevé par rapport au sucre et possède une texture suffisamment visqueuse et se présente sous la forme d'un sirop épais et incolore (**BELTI et HADDAR ,2016**).

On dénombre plusieurs genres de sirop de glucose, définis directement 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 est 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 élevé (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 plusieurs jours à une température de 40°C.
- ✓ **Tamisage:** dans un moulin.
- ✓ **Nettoyage et filtrage.**
- ✓ **Séchage:** pour finalement devenir l'amidon natif (**MATHLOUTHI,2004**).
- ❖ **Hydrolyse de l'amidon**

Cette transformation est la plus importante, sous l'action de la chaleur et d'enzymes sélectionnées avec soins, l'amidon subit une hydrolyse qui produit de plus petites chaînes de glucose.

Ce phénomène est la saccharification de l'amidon, qui va permettre l'élaboration des produits plus ou moins hydrolysés contenant une vaste gamme de pouvoir sucrant (**MATHLOUTHI, BARBARA ,2001**).

I.2.2.1.3. Utilisations

- ✓ Pâtisserie : éclairs - madeleines - macarons.
- ✓ Confiserie : bonbons - nougats - fruits confits.
- ✓ Idem leur association simultanée avec d'autres sucres va permettre de bénéficier des propriétés de chacun (**AISSIOU et BOUZANBOUA,2012**).

I.2.2.1.4. Importance

- ✓ Empêche la cristallisation de sucre (Anti cristallisation de sucre) dans les bonbons et confitures.
- ✓ Constitue une barrière contre la cristallisation de l'eau de la congélation (Anti cristallisation de l'eau) dans les crèmes glacés.
- ✓ Améliore le moelleux des gâteaux (Madeleines- cookies).
- ✓ Empêche le dessèchement de la pâte d'amande et des fruits confits.
- ✓ Contribue à une meilleure stabilité et une conservation plus longue aux produits qui en contiennent (AISSAOUI et BOUZANBOUA, 2012).

I.2.2.1.5. Conservation

On le conserve à l'abri de la chaleur, dans un placard. Il ne faut impérativement pas placer le flacon au réfrigérateur (EMILIE, 2006).

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



Figure 5: Miel (Huffington post).

I.2.2.2.1. Définition et composition

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

Il est tel un substitut parfait au miel, et est employé 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 connu populairement comme sucre de table.

Inodore et blanc, c'est une poudre cristalline qui a un goût sucré (**BAHIRENA, CHEFAI, 2018**).

Le sucre blanc utilisé dans la fabrication de miel de sucre est un extrait de canne de sucre et va être traité immédiatement afin de ne pas perdre trop de sa 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 éliminer les impuretés (**ROMMAIN et al, 2007**).
- ✓ **Évaporation** : La solution sucrée résulte par l'étape d'épuration (13% de sucre et 87 % d'eau) et doit être concentré par évaporation de l'eau. Ensuite, le sirop est de couleur jaune brun, plus concentré, et contient entre 60% et 70% de saccharose (**RAGEOT et RENE, 2004**).
- ✓ **Cristallisation** : On va chauffer le sirop a une température de 80C° dans une cuve vide afin qu'il se concentre le plus en plus jusqu'à la formation des cristaux. Les cristaux obtenus sont lavés par pulvérisation et contiennent 99.9% de saccharose (**RAGEOT et RENE, 2004**).
- ✓ **Turbinage** : La masse cuite va subir une centrifugation pour séparer les cristaux de saccharose de l'eau amère qui les enrobe (**HUGOTE, 1986**).
- ✓ **Séchage** : Le sucre cristallisé blanc séché via un air chaud et ensuite par un refroidissement (**DELOUX, 2003**).

❖ **Fabrication de sucre de miel**

On verse de l'eau avec de sucre blanc et on laisse bouillir ainsi que mélanger avec de malaxeur jusqu'à complété la dissolution.

facultativement on ajoute du jus de citron et une quantité de sirop de glucose (qui va améliorer 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 littéralement devenir un miel sirupeux.

I.2.2.2.3. Utilisations

- ✓ Les boissons
- ✓ Boulangeries
- ✓ Confiseries. (BELTI et HADDAR,2016)

I.2.2.2.4. Importance

- ✓ Améliore la fraîcheur et la texture des produits car il va justement permettre la rétention d'eau.
- ✓ Il réduit le risque de cristallisation des produits.
- ✓ Donne un produit homogène et dépourvue d'impureté (BELTI et HADDAR , 2016).

I.2.2.2.5. Conservation

Sa température de conservation est approximativement de 25°C pour ralentir sa cristallisation. Se conserve dans des pots en verre ou en plastique stockés dans un placard à l'abri de la lumière (EMILIE, 2006).

Chapitre II : Propriétés Rhéologiques (Viscosité)



Introduction

Les aliments sont en soi des matériaux vivants, qui subissent de manière constante des changements concernant leurs forme, taille, et structure. Certains facteurs comme l'humidité, la température, l'oxygène ont une influence sur ces derniers. Le produit alimentaire est ainsi étudié sur ses aspects nutritionnels mais aussi biochimiques car la plupart des transformations qui se déroulent au sein de l'aliment au cours des opérations technologiques ou de conservation sont des opérations à de type biochimique. **(HASSANI et IKNI, 2017).**

Néanmoins, lors de la préparation, de la transformation ou de la formulation des matières premières, plusieurs techniques sont employées et de nombreuses interactions ont lieu entre les constituants qui viennent changer en profondeur et de manière irréversible la texture de ces matériaux. Alors, le produit alimentaire est aussi un matériau sur lequel il va être judicieux de mesurer des propriétés physiques ou chimiques.

Pour mesurer ces propriétés physiques, on a coutume d'employer des méthodes dites rhéologiques **(SCHER, 2006)**. Le terme rhéologie fut utilisé pour la 1^{ère} fois en 1929 par Eugène étymologie est grecque : " rhéo " qui signifie " couler " et "logos" qui signifie "l'étude". La rhéologie est donc 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 utilisent la rhéologie afin de 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 essentiellement 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. Dans la vie quotidienne, nous observons que les fluides qui nous entourent ont des comportements très divers et étonnants (l'huile d'olive par exemple).

II.1. Définition de la viscosité

La viscosité (du latin viscum, gui) est un critère vital 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, l'une des couches du liquide va se déplacer

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 apparaît 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**). Par opposition à un solide, on définit un fluide comme étant une matière déformable. Cette définition regroupe les liquides, les gaz et les plasmas.

La rhéologie, qui vient du grec rhéo couler et logos l'étude, constitue la branche de la mécanique des fluides qui analyse la déformation et l'écoulement des fluides lorsqu'ils sont soumis à une force.

Afin de caractériser le comportement d'un fluide sous cisaillement, on place une couche de fluide entre deux plaques parallèles, d'aire A et espacées d'une distance h , formant ainsi une cellule de cisaillement. On applique une force F à la plaque supérieure, qui se déplace alors à la vitesse V . On utilise le qualificatif de visqueux pour décrire une chose de consistance pâteuse, ni liquide, ni solide. La viscosité est une caractéristique de la matière, quel qu'en soit l'état physique : gazeux, liquide ou à la limite solide.

Elle intervient fréquemment dans les équations de la mécanique des fluides. Elle traduit, en bref, la résistance d'un fluide à l'écoulement. Tous les liquides sont doués de viscosité et cette propriété modifie l'allure des phénomènes : la viscosité ralentit le mouvement du liquide au voisinage des parois. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé

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 des fluides

II.3.1. Les fluides newtoniens

Les fluides newtoniens représentent des matériaux fluides dont la loi de comportement demeure en conformité vis-à-vis de 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 lorsque les contraintes constituent par définition des fonctions linéaires du taux de déformation du milieu (MOUMEN, 2010).

Les fluides newtoniens ou complexes sont présents dans notre vie quotidienne, notamment dans les domaines agroalimentaires (SORDELET, 2018).

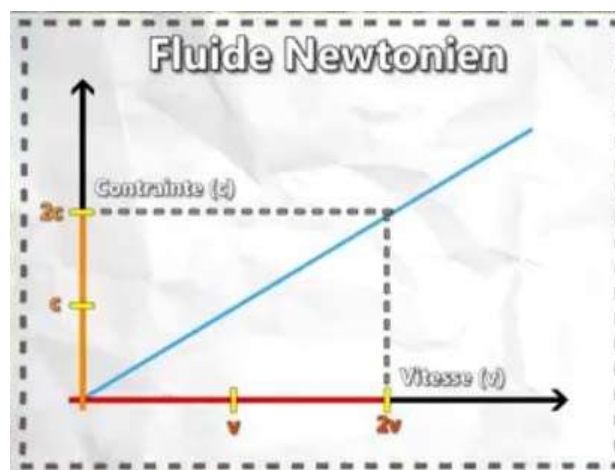


Figure 6: Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide newtonien) (SORDELET, 2018).

II.3.2. Les fluides non newtoniens

Les fluides non newtoniens possèdent une viscosité variable en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils vont subir. Lorsque la viscosité diminue, alors le gradient de vitesse augmente. Les fluides non newtoniens regroupent tous les fluides qui n'ont pas un comportement newtonien (GIBOUIN, 2015).

On distingue :

- ✓ **Les fluides rhéofluidifiants (pseudo plastiques) :** La viscosité de ces fluides va diminuer lorsque la contrainte, elle, augmente.
- ✓ **Les fluides à seuil ou plastiques ou fluides de Bingham :** Ces fluides ne vont s'écouler qu'à partir du moment où la contrainte appliquée est supérieure à une valeur seuil.

- ✓ **Les fluides rhéoépaississants** : Ces fluides voient leur viscosité s'accroître lorsque la contrainte augmente.
- ✓ **Les 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). Si la contrainte disparaît, alors le fluide recouvre ses propriétés d'origine (mémoire à grande échelle) (SALLOUM, 2008).

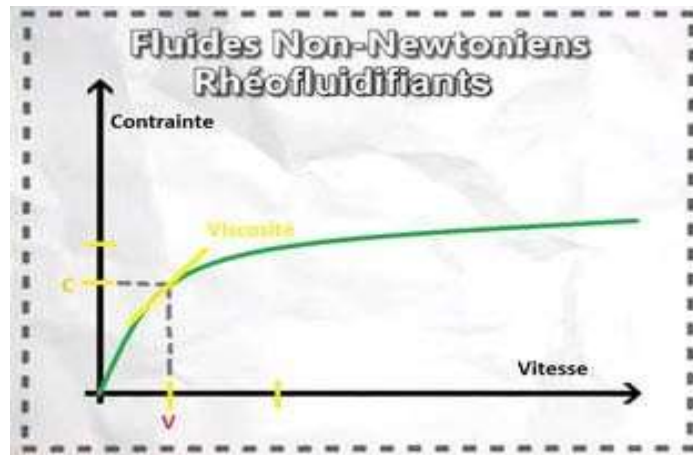


Figure 7: Variation de la contrainte en fonction de la variation de vitesse (Fluide non-newtonien) (SOURDELET, 2018).

II.4. Objectif de la mesure de la viscosité

L'objectif de la mesure de la viscosité via ses propriétés rhéologiques réside dans le contrôle de qualité des produits liquides. En effet, l'objectif est qu'ils soient 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), et pour cause, elle va conditionner l'écoulement des fluides dans la canalisation et le long des parois.

Cela va permettre de mesurer directement ou indirectement certaines caractéristiques des produits (texture...), et assurer le conditionnement et le bon fonctionnement des processus mis en place (HARCHELLE, 1997).

II.5. Les types de la viscosité

II.5.1. Viscosité dynamique

La viscosité dynamique η est le rapport des contraintes internes aux gradients de vitesse. Elle est la résistance interne d'un fluide vis-à-vis de son écoulement. Elle va exprimer 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 « Pascalseconde » (Pa.s). Régulièrement, 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**)

II.5.2. Viscosité cinématique

La viscosité cinématique, notée ν , est mesurée par 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 en pratique, c'est le centistokes (cts) qui est le plus souvent utilisé (1 cts = $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) (**MESSADI, 2011**). La viscosité cinématique est égale au calcul du rapport de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide considéré.

L'unité de la viscosité cinématique, dans le système CGS, est le Stokes, notée St. ($\Rightarrow 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 10^4 \text{ St}$).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν : viscosité cinématique en m^2/s

μ : viscosité dynamique en $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$

ρ : masse volumique en kg/m^3

II.6. Facteurs affectant la viscosité

Il existe un certain nombre de variables pouvant affecter les propriétés rhéologiques des produits :

II.6.1. Conditions de mesure

Les conditions de mesure durant la détermination de la viscosité peuvent considérablement agir sur les résultats de cette mesure. Par voie de conséquence, il est important de bien veiller à contrôler l'environnement ainsi que les conditions des échantillons à analyser. Certaines variables à l'instar le type de viscosimètre, la combinaison mobile/vitesse, le moyen de mesure (bécher), l'absence ou la présence de protecteur des mobiles, la température de l'échantillon, les techniques de préparation... peuvent aussi

affecter non seulement la précision de la lecture, mais également la valeur finale de la viscosité (DEALY et WANG, 2013).

II.6.2. Température

Quant à la température, elle est sans doute le facteur le plus influent à toucher le comportement rhéologique. Son effet 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

Lorsque le fluide est soumis à une certaine force de cisaillement, il va en être affecté et le gradient de vitesse va décrire ce phénomène. Il faut donc connaître sa viscosité aux forces de cisaillement appliquées (MESSADI, 2011).

II.6.4. Temps

Concernant des fluides thixotropes et rhéopectiques et lors d'un quelconque mouvement du fluide, plus le temps passe, plus la viscosité du fluide évoluera.

II.6.5. Composition et additifs

La composition de l'échantillon demeure un facteur crucial, si sa composition en est modifiée, un changement important dans la viscosité va certainement être observé (DEALY, WANG, 2013).

II.6.6. Historique de l'échantillon

L'historique de l'échantillon avant la détermination de la viscosité est une cause pouvant affecter la signification des résultats, en particulier pour les fluides sensibles à la chaleur ou même au temps qui passe (MUNIZAGA, BARBOSA, 2005).

II.7. Nature de régime de l'écoulement

II.7.1. Régime laminaire

L'écoulement est laminaire si sa vitesse n'a pas de fluctuation, Un écoulement est ainsi laminaire lorsqu'il est régulier, soit qu'il ne présente pas trop de variations spatiales ou temporelles (ABADIER, 2005).

Dans ce cas, toutes les particules vont se déplacer dans une direction parallèle au sens général de l'écoulement et en ce sens, toutes les vectrices vitesses individuels sont parallèles entre elles et parallèles au vecteur vitesse moyenne (BARKA, 2016).

II.7.2. Régime turbulent

L'étude du frottement en conduite montre 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 vont dans toutes les directions et on souligne l'apparition de tourbillons, mais la finalité de ces vitesses demeure tant bien que mal dirigée dans le sens général de l'écoulement (BARKA, 2016).

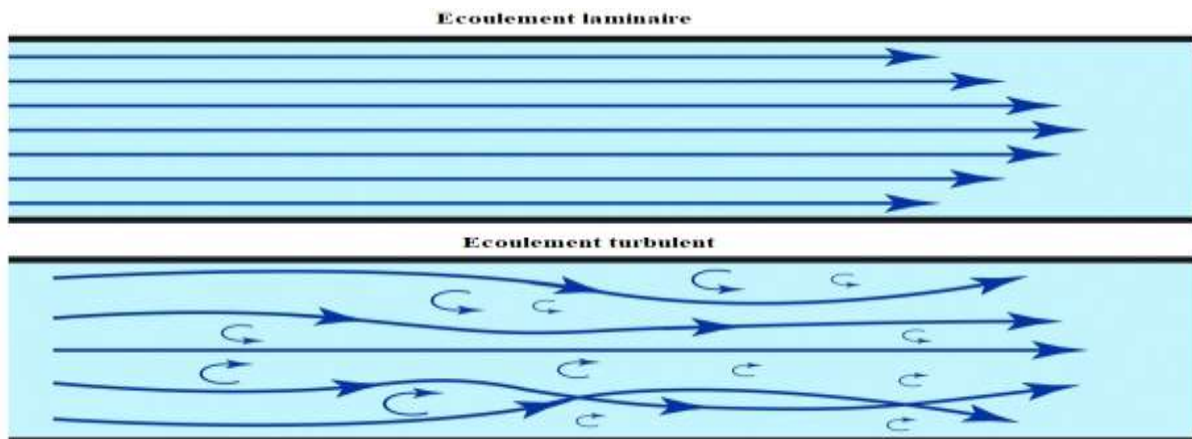


Figure 8: Les deux types d'écoulement laminaire et turbulent en images.

❖ Le nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est un nombre qui ne possède pas de dimensions et en fonction de ses valeurs prises dans le système international, on va pouvoir déterminer 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 sûrement laminaire
- ✓ Si $Re > 3000$ le régime est probablement turbulent
- ✓ Si $2400 > Re > 3000$ le régime instable (intermédiaire), et il peut être tantôt laminaire tantôt turbulent, selon les conditions extérieures (ABADIER, 2005).

II.8. Méthode de Mesure de viscosité

Les comportements d'un fluide complexe, les mesures de la viscosité classiquement faites en utilisant un viscosimètre sont des méthodes de mesure à la fois rapides et pratiques.

II.8.1. Méthode directe par un viscosimètre

Il existe divers types de viscosimètre, tels que le viscosimètre à corps vibrants et le viscosimètre à tube capillaire.

II.8.1.1. Les viscosimètres à tube capillaire

Ils sont simples de construction et d'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. Cela va permettre d'analyser les systèmes newtoniens (Ex : viscosimètre d'Oswald, viscosimètre Hubbelohde) (ADDIL, 1993).

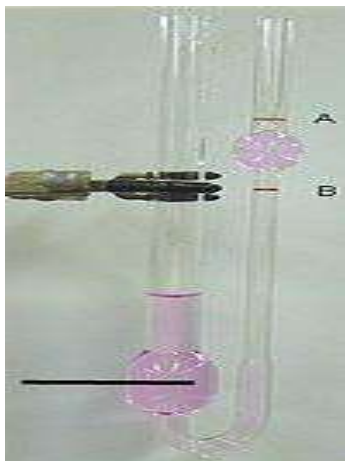


Figure 9: viscosimètre d'Oswald.



Figure 10: Viscosimètre de Hubbeloh

II.8.1.2. Les viscosimètres rotatifs

Les appareils à mobile tournant (appelés aussi à géométrie variable) peuvent faire varier le taux (ou la tension) de cisaillement et donne accès à l'étude des systèmes newtoniens et non newtoniens. Ces viscosimètres ont un ensemble de tiges à géométrie variable, de manière à obtenir la meilleure précision possible dans l'intervalle de viscosités du produit (ex : viscosimètre Brookfield, viscosimètre Funfilab) (ADDIL, 1993)



Figure 11: viscosimètre Brookfield.



Figure 12: viscosimètre fungilab.

II.8.1.3. Les viscosimètres à corps vibrants

Il va décrire les déformations d'un corps solide (fil, lame) plongé 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 13: Modèle de viscosimètre vibrant.

II.8.2. Méthode indirecte (manuelle)

II.8.2.1. Méthode de stock (chute de bille)

Concrètement parlant, on va remplir une éprouvette graduée avec le fluide dont on désire mesurer la viscosité, puis on lâche une bille sans vitesse initiale dans le fluide.

L'étude de l'évolution de la vitesse de la bille au cours de sa chute va nous permettre de calculer la viscosité du fluide.

Le viscosimètre à chute de bille se base sur le principe de mesure d'Höppler.

Une bille sphérique va tomber lentement dans un tube bien calibré renfermant le liquide visqueux. On mesure la durée t que met la bille pour parcourir une certaine distance.

On montre que la viscosité dynamique n est proportionnelle à la durée t : $n = K \cdot t$.

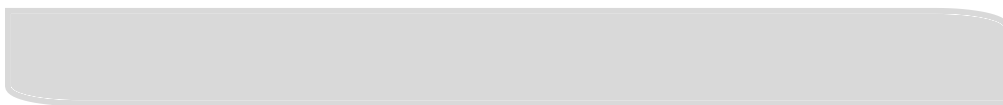
Le tube est monté sur un pivot à roulement à billes qui va autoriser une rotation à 180° du tube, permettant ainsi de démarrer directement un nouveau test.

Trois mesures vont être effectuées puis, enfin, un temps moyen de chute est retenu.



Figure 14: viscosimètre a chute bille.

Partie expérimentale



Chapitre I : Matériels et méthodes



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 des unités différentes.

I.1. 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.
- ✓ Prise en considération l'influence de la température sur la viscosité.
- ✓ Détermination des types des fluides parmi les échantillons utilisés.

I.2. Matériel biologiques

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

- ✓ Des produits commercialisés achetés d'un marché à BOUIRA tels que:

Miel de sucre, sucre liquide, huile de tournesol, huile d'olive.

I.3. 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

Etant donné la diversité des paramètres de types physico-chimiques dont dépend la viscosité d'un liquide, il est possible de la mesurer par le biais de plusieurs techniques expérimentales. Pour ainsi dire, il existe divers critères qui permettent de sélectionner la technique à employer.

Ces derniers vont se baser principalement sur la nature du liquide et sur son gradient de vitesse. En dehors des aspects financiers, les domaines de température (SANDRINE T, 2008).

En se basant sur le principe d'écoulement du fluide, plusieurs types de méthodes apparaissent, tel que la méthode directe par le viscosimètre rotatif, viscosimètre à cylindre

rotatifs et viscosimètre capillaire, et la méthode, par opposition, indirecte, soit la méthode de chute de bille.

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

I.4.1. 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 se base 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 va être lâchée avec une vitesse initiale nulle ($V_{\text{initiale}}=0$ m/s) dans un liquide visqueux de viscosité dynamique h .

D'emblée, la bille s'anime 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).

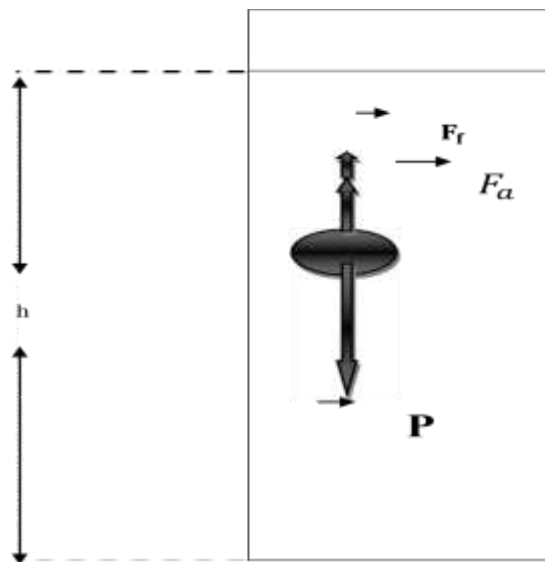


Figure 15: les trois forces appliquées à la bille.

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

$$1. \text{ La poussée d'Archimède : } |\vec{F}_a| = \frac{4}{3} \pi r^3 g \rho_{\text{liquide}} \quad (1)$$

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

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

Avec :

ρ_{liquide} et ρ_{bille} sont les masses volumique, respectivement du liquide et de la bille en Kg /m³.

N: 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/s².

Appliquant le principe fondamental de dynamique à la bille

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m \, dV/dt \quad (4)$$

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

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

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

✓ Eprouvette graduée :

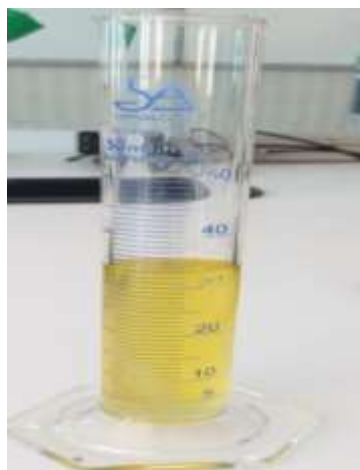


Figure 16: Eprouvette graduée.

✓ La balance

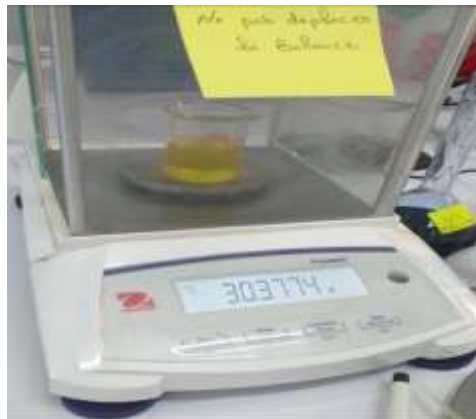


Figure 17: Balance.

✓ Bille (en acier)



Figure 18: D'Éférentes bille en acier.

✓ Chronométré



Figure 19: Chronométré.

✓ **Plaque chauffante et Thermomètre**

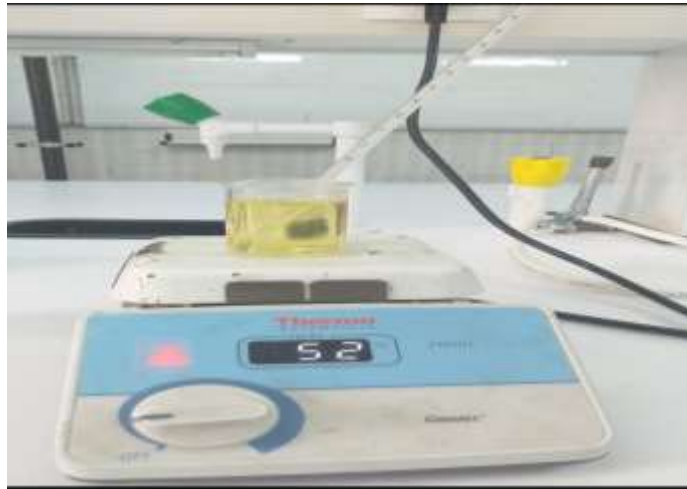


Figure 20: Plaque chauffante et un Thermomètre.

❖ **Mode opératoire**

La mesure de la viscosité de l'échantillon par un viscosimètre à chute de bille s'effectue selon les étapes suivantes :

- ✓ Nous plaçons le viscosimètre à chute de bille .



Figure 21: Préparation de viscosimètre à chute de bille.

- ✓ Mise en place de l'échantillon à tester dans
- ✓ 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 $h_1=5$ Cm, puis la distance $h_2=10$ Cm (entre les deux traits marqués sur le tube de viscosimètre).



Figure 22: Chute de bille dans le liquide.

- ✓ Nous répétons la mesure quatre fois (4 temps).
- ✓ Nous répétons la mesure avec différentes billes.
- ✓ Nous répétons la mesure avec différentes température (ambiante, 40°C, 70°C), En chauffant le produit par un bain marie ou une plaque chauffante.
- ✓ Nous calculons la vitesse de la chute de la bille.
- ✓ Pour calculer la densité de la bille on utilise la fiche suivante

Kugel-Nr. ball-No.	Masse mass (g)	Durchmesser diameter (mm)	Dichte density (g/cm ³) P ₁	Konstante calculation factor K
1	4.412	15.807	2.133	0.0097
2	4.585	15.604	2.305	0.0846
3	16.185	15.608	8.130	0.0952
4	14.998	15.217	8.129	0.6453
5	11.623	13.976	8.132	6.8779
6	5.630	10.981	8.120	34.5260

Figure 23: La densité des billes.

- ✓ Et enfin nous déduisons la viscosité dynamique η .

I.4.2. Méthode directe par un viscosimètre rotatif (FUNGILAB)

Les viscosimètres rotatifs comptent parmi les viscosimètres dont on ne saurait se passer pour mesurer la viscosité absolue des fluides.

Dans notre étude, la viscosité va être mesurée à l'aide d'un viscosimètre rotatif de la série VISCO BASIC « FUNGILAB ».

Les séries VISCO BASIC sont idéales pour effectuer des mesures de viscosité non seulement rapides mais aussi concises.

❖ Description d'un viscosimètre FUNGILAB



Figure 24: L'appareil vu de face (viscosimètre FUNGILAB).

Le viscosimètre FUNGILAB fonctionne grâce à un système basique qui permet justement à son utilisateur de l'utiliser très facilement.

Les viscosimètres rotatifs en générale ont de plusieurs types de tige et une gamme large de vitesse qui permettent d'avoir plusieurs mesures de viscosité.

L'intégralité des tiges sont fabriquées en acier inoxydable et vont être aisément repérables avec leur lettre et numéro (ADDIL E, 1993).



Figure 25: Tiges accompagnant le viscosimètre « FUNGILAB ».

❖ Principe de fonctionnement

L'action des viscosimètres se fait par la rotation de l'une des tiges qui accompagnent le viscosimètre, lui-même 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 d'un point de vue électronique, 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, vont nous donner 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 éclairés.
- ✓ 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 alarme sonore et visuelle en cas de dysfonctionnement...

❖ **Matériels auxiliaires de Viscosimètre FUNGILAB.**

- ✓ Bicher (600ml).
- ✓ Thermomètre.

❖ **Mode opératoire**

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

- ✓ 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 26: Préparation de produit pour la mesure.

- ✓ Sélectionne du mobile idéal (R1, R2, R3, R4), 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).

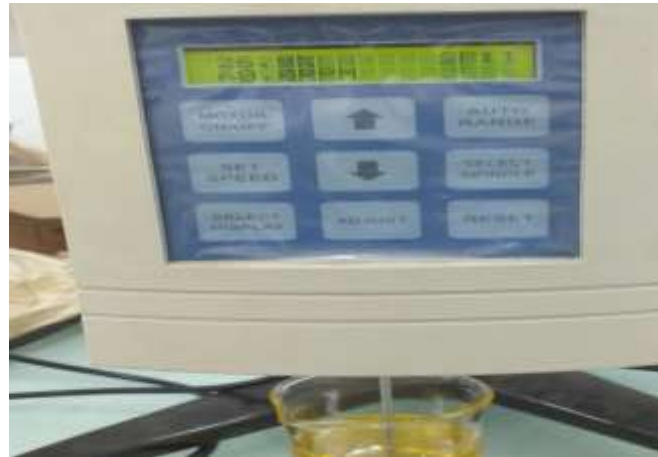


Figure 27: Choix de tige idéale.

- ✓ 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.

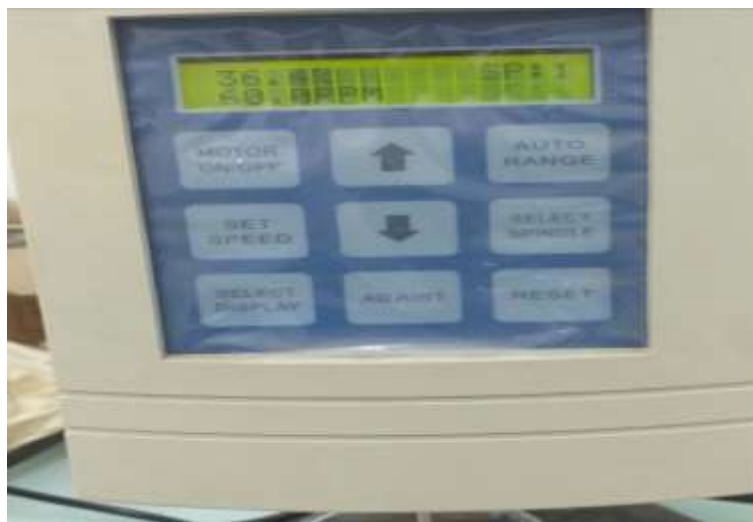


Figure 28: Lecture de résultat de viscosité.

- ❖ **Remarque :** Ce mode opératoire a été réalisé à température ambiante pour l'huile d'olive et l'huile de tournesol car il n'y a pas d'une plaque chauffante ou un bain marie pour chauffer les échantillons.

❖ La gamme des températures appliquées

Une température ambiante (27°C-29°C)

Cette partie traite de la présentation et 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, par la méthode directe par un viscosimètre « FUNGILAB » et l'autre indirecte par la chute de bille.

Afin d'analyser les résultats obtenus dans les meilleurs prédispositions, nous allons 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.

Chapitre II : Résultats et discussions



II.1.Détermination de la viscosité

Comme citée précédemment, d’une part la viscosité de nos échantillons a été calculée à partir des lectures vues sur le viscosimètre « FUNGILAB », nous avons appliqués différentes températures, pour chacune, plusieurs vitesses de rotation (rpm) et chaque rpm donne une valeur de viscosité pour un pourcentage d’erreur bien précis et nous avons choisis parmi ceux qui ont l’erreur la 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 indirecte (par un viscosimètre a chute de bille)**

$$\rho_{\text{bille(en Acier)}} = 8132 \text{Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{liquide}} = 920,30 \text{kg/m}^3$$

Température (°C)	Temps (s)			Temps (moyenne)	Viscosité(Pas)	$\Delta\eta$ (Pa.s)
	T1	T2	T3			
22°C	1,90	1,84	2,02	1,92	0,014	0,016
40°C	1,16	1,61	1,22	1,33	0,013	0,01
70°C	0,87	1,07	1	0,98	0,0075	0,016

Tableau 2: Valeurs de viscosité obtenues par un viscosimètre a chute de bille (l’huile d’olive).

❖ **Par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)**

RPM	30	60
Viscosité (pa.s)	0,014	0,044

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

Concernent l’huile d’olive (Tableau 3), nous avons utilisé la tige R3.

- ✓ A la température ambiante (27°C), les rpm (30 T/mn, 60 T/mn) nous ont donnés respectivement les viscosités 0,014 Pa.s et 0,044 Pa.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.

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

❖ **Par la méthode indirecte (par un viscosimètre a chute de bille ou méthode de Stock)**

$$\rho_{\text{bille(en Acier)}} = 8132 \text{Kg/m}^3 / r = 6,988$$

$$\rho_{\text{liquide}} = 933,5 \text{kg/m}^3$$

Température (°C)	Temps (s)			Temps (moyenne)	Viscosité(Pas)	Δη (Pa.s)
	T1	T2	T3			
22°C	1,53	1,32	1,45	1,43	0,01	0,013
40°C	1,02	1,47	1,08	1,19	0,0091	0,013
70°C	0,95	0,99	1,03	0,99	0,0075	0,013

Tableau 4: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre a chute de bille (huile de tournesol).

❖ par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)

RPM	30	60
Viscosité (pa.s)	0,007	0,036

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

Dans le cas d'huile de tournesol (Tableau 5), Quand nous utilisons la tige R3.

- ✓ A la température ambiante, les rpm (30 T/mn, 60 T/mn) nous ont données des différentes viscosité (0,007 Pa.s, 0,036 Pa.s) et des pourcentages d'erreur 3.3%, 1.7% et 9.8%. Nous observons que la viscosité augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation (rpm).

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

❖ par la méthode indirecte (par un viscosimètre a chute de bille)

$$\rho_{\text{bille}}(\text{en Acier}) = 8132 \text{Kg/m}^3 / r = 5,490 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{liquide}} = 1403,4 \text{kg/m}^3$$

Température (°C)	Temps (s)			Temps (moyenne)	Viscosité (Pas)	Δη (Pa.s)
	T1	T2	T3			
40°C	28,9	29,2	31,58	29,83	0,136	0,013
70°C	2,87	2,40	2,21	2,49	0,01	0,013

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

- ✓ A la température ambiante (22°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.

❖ **Par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)**

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

- ✓ A la température ambiante nous avons employé les 4 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 40 °C et 70 °C pas de plaque chauffante ou bain mari pour chauffer le produit.

II.1.4. Détermination de la Viscosité de l'échantillon de sucre liquide

❖ **par la méthode indirecte (par un viscosimètre à chute de bille)**

$$\rho_{\text{bille}}(\text{en Acier}) = 8120 \text{ Kg/m}^3 / r = 5,490 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{liquide}} = 1137,71 \text{ kg/m}^3$$

Température (°C)	Temps (s)			Temps (moyenne)	Viscosité (Pas)	$\Delta\eta$ (Pa.s)
	T1	T2	T3			
40°C	64,03	64,54	64,54	64,37	0,28	0,018
70°C	6,54	6,46	7,02	6,67	0,03	0,018

Tableau 7: Les valeurs de la viscosité obtenues par un viscosimètre à chute de bille (sucre liquide).

- ✓ A la température ambiante (22°C), à 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.

❖ **Par la méthode directe (par un viscosimètre FUNGILAB)**

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

- ✓ A la température ambiante nous avons employé les 4 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 40 °C et 70 °C pas de plaque chauffante ou bain mari pour chauffée les produite.

D'après notre utilisation de la viscosimètre a chute de bille pour vérifier et confirméla fiabilité de méthode de stocke au niveau de notre laboratoire. 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 :

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

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

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

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

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

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

Avec :

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

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

$\Delta \rho = 0$ (nous avons pris es 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).

- ✚ D'après les mesures de la viscosité de chaque produit par la méthode de Stocket 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 0,014 pa.s, 0,013 pa.s et 0,0075 pa.s respectivement dans la gamme des températures de 22°C ,40°C et à 70°C avec des incertitudes de 0,016%, 0,01% et 0,016%, pour l'huile d'olive (Tableau 2).

Concernant l'huile de tournesol (Tableau 4), les valeurs de la viscosité obtenues sont de 0,01 pa.s à la température 22°C, de 0,0091 pa.s à 40°C et de 0,0075 pa.s à 70°C avec des incertitudes de 0,013 %, 0,013% et 0,013%.

Dans le cas de sucre de miel (Tableau 6) nous avons obtenus des différents valeurs de viscosité (0,136 Pa.s a température 40°C, 0,01 Pa.s a température 70°C) avec des incertitudes 0,013%, 0,013%).

En fin, nous avons obtenue pour le sucre liquide (Tableau 7) une valeur de Viscosité 0,28 Pa.s à une température de 40°C et une valeur de 0,03 Pa.s à 70°C avec des Incertitudes de 0,018% et 0,018%.

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, R3 (la plus grande parmi la gamme disponible)pour l'huile d'olive et huile de tournesol (les moins visqueux parmi notre échantillons).

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 pascalle. Seconde (Pa.s).

Dans le cas de la viscosité de l'huile d'olive , a la température ambiante ,nous remarquons que nos valeurs calculés avec la méthode de stock (Tableau 2) sont égales avec nos résultats obtenues par le viscosimètre FUNGILAB (0,014 Pa.s = 0,014 Pa.s) , (Tableau 3). et aussi sont très analogue à celle-ci apporté par (BONNS, 2002) et (HACHETTE, 1997).

En ce qui concerne huile de tournesol a la température ambiante ,nous remarquons que nos valeurs calculés avec la méthode de stock (Tableau 4) sont en très bon accord avec nos résultats obtenues par le viscosimètre FUNGILAB (0,036 Pa.s = 0,01Pa.s) , (Tableau 5).et cette dernière est un proche à celle-ci apporté par (AYYOUAZ et BENMAMAS, 2017)

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 (PAULetal., 2003) et d'après (MILLET ,2010), un corps newtonien est un liquide qui présente une viscosité constante (quel que soit la vitesse de cisaillement ou la contrainte appliquer).

II.4. Influence de la température sur la viscosité

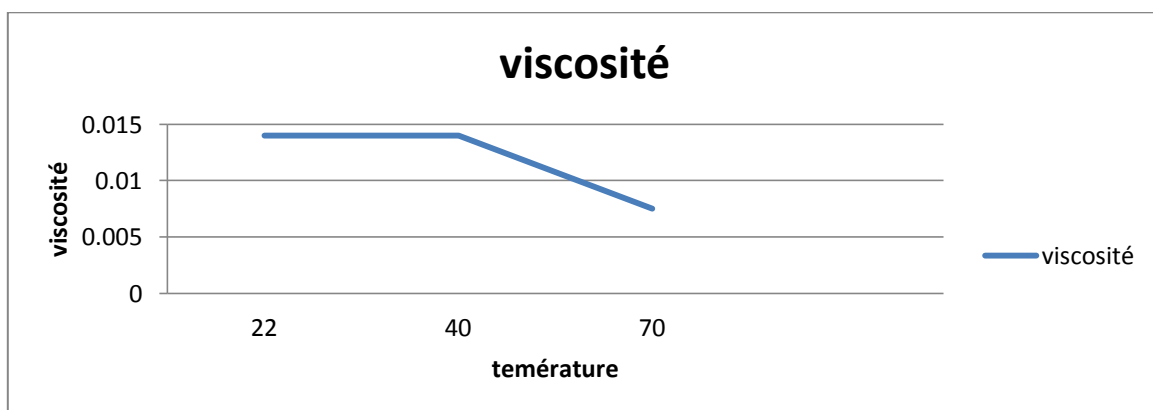


Figure 29 : Influence de la température sur la viscosité d'huile d'olive.

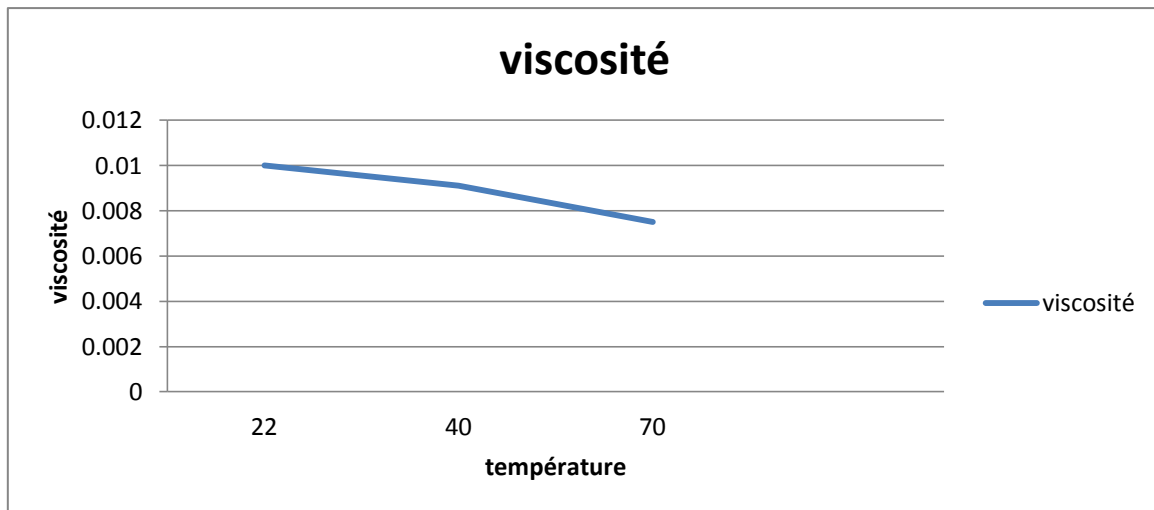


Figure 30: Influence de la température sur la viscosité d’huile de tournesol.

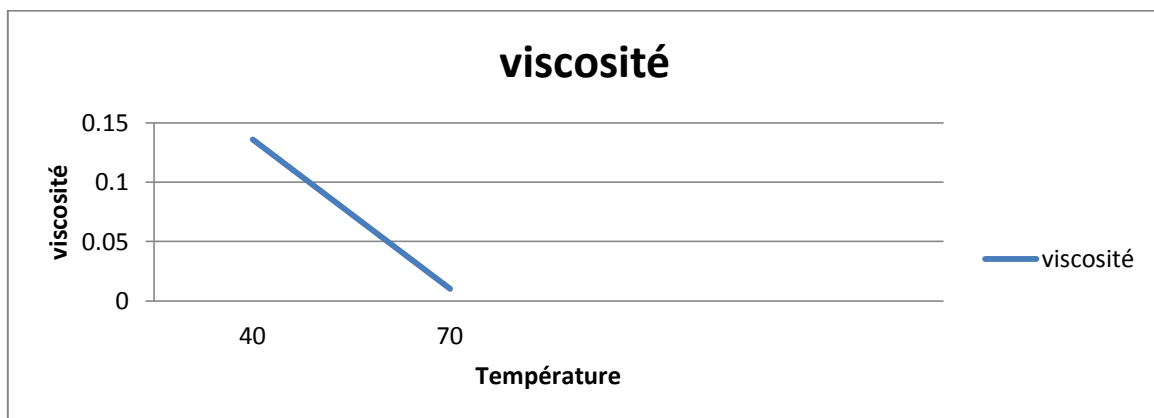


Figure 31: Influence de la température sur la viscosité de sucre de miel.

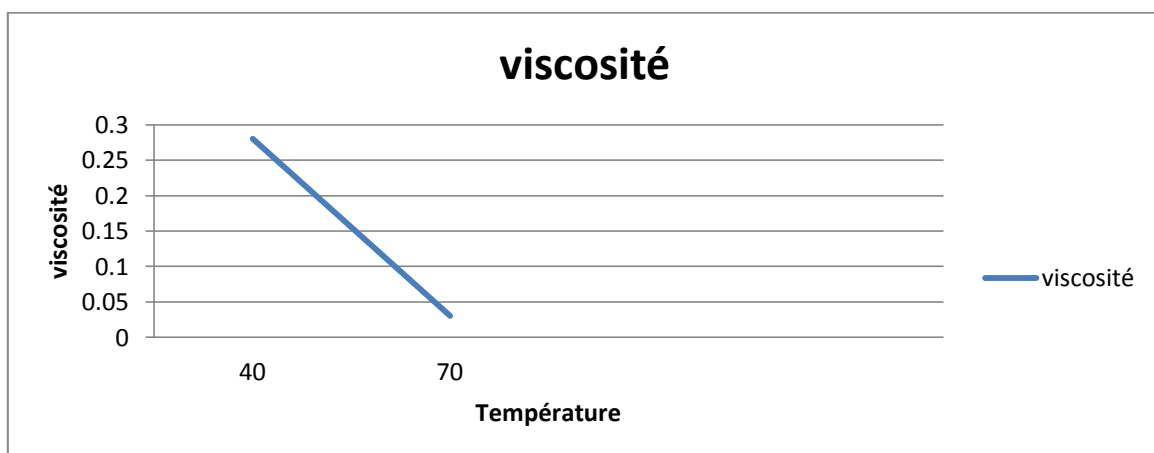


Figure 32: Influence de la température sur la viscosité de sucre liquide.

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 29-30), 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 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'accélère.

Conclusion générale



Conclusion générale

Le présent travail consiste à étudier la fiabilité de la méthode de stock qui est utilisée par les étudiants de notre université SNVST-BOUIRA, pour mesurer la viscosité de quelques produits alimentaires (huile d'olive, huile de tournesol, sucre liquide, sucre de miel). En utilisant d'autre méthode qui a été réalisée au sein de laboratoire de biophysique de l'université M HAMED BOUGARA BOUMERDES, et dans le but de comparer les résultats et confirmer la fiabilité de notre méthode de stock.

Dans le premier temps, nous avons réalisés notre travail sur les échantillons (huiles d'olive, huile de tournesol, sucre de miel, sucre liquide) pour la mesure de leur viscosité avec l'application d'une gamme de température (22°C, 40°C, 70°C), par un viscosimètre à chute de bille.

Dans la deuxième étape, nous avons réalisé la même étude par un viscosimètre rotatif (Fungilab) dans 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 la viscosité a été étudié également pour tous les produits.

Pour l'échantillon huile d'olive le viscosimètre à chute de bille nous a donné les résultats (0,014Pas ; 0,013Pas ; 0,0075Pas), pour les températures (22°C, 40°C, 70°C) ces résultats sont très proches à ceux obtenus par le viscosimètre Fungilab (0,014Pas ; 0,044Pas)

Pour l'échantillon « huile de tournesol » la méthode de stock nous a donné les résultats (0,01pas ; 0,009pas ; 0,007pas), pour les températures (22°C ; 40°C ; 70°C) ces résultats sont très proches à ceux obtenus par le viscosimètre Fungilab (0,036 pas ; 0,007pas).

Enfin pour les échantillons « sucre liquide », « sucre de miel », le viscosimètre nous a donné les résultats (0,28pas ; 0,03pas), (0,136pas ; 0,01pas) pour les températures, (40°C ; 70°C), puis nous avons étudié l'influence de la température sur la viscosité de ces produits alimentaires. De 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 avec la deuxième méthode, nous remarquons que la méthode de stock (utilisée par nos étudiants), est une méthode aussi précise et donne des résultats aussi fiables.

En perspective, pour mieux enrichir notre travail, il aurait fallu conduire à l'influence d'autres facteurs sur la viscosité, la confirmation de la fiabilité de la méthode de la goutte de bille par comparaison avec d'autres méthodes automatisées.

*Références
bibliographiques*



Références bibliographiques

A

- ✓ **ADDIL EL Akkad, 1993.** Etude comparative des perturbations de la couche limite et de la portance, sur plaque plane et sur modèle d'aile en présence de fluides désirants. Exigence partielle pour l'obtention de garde de maitre en science appliquées. Université du Québec a Chicoutimi. P46-50.
- ✓ **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.dataan. 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.

B

- ✓ **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.

Références bibliographiques

- ✓ **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 kasdimerbah-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. Béjaïa. P21-25.
- ✓ **CAMPBELL E, 1983.** Sun flower oil. Journal of American Oil Chemist's Society.

C

- ✓ **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.
- ✓ **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.

D

- ✓ **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'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.
- ✓ **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 maître en sciences appliquées. Université de Montréal.

Références bibliographiques

E

- ✓ **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.
- ✓ **EVARD J, BAUDET J et BURGHART, 1986.** Conditionnement transformation. Produits : Cahier Technique Tournesol Ed. CETIOM.

F

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

G

- ✓ **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.

H

- ✓ **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.

L

- ✓ **LABOURET P, 2016.** Manger mieux, c'est choisir ses aliments. Ed : du dauphin. P304.
- ✓ **LAZZEZ A., COSSENTINI 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.

✓ M

- ✓ **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 AMira Bejaia.

P

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

Références bibliographiques

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

R

- ✓ **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.

S

- ✓ **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., MONTEDORO 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.

T

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

U

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

Références bibliographiques

V

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

Résumé

La viscosité est une caractéristique physique importante dans de nombreux procédés industriels. Il est donc important de pouvoir déterminer la mesure de façon fiable et pour cela, il existe, en effet, différentes méthodes pour mesurer cette viscosité.

Notre travail consiste à étudier ainsi que vérifier la fiabilité de la méthode de stock qui est utilisée par les étudiants de 2eme année de notre Université SNVST-Bouira depuis son ouverture sans savoir si les résultats trouvés sont corrects ou oas, pour cela nous avons mesuré la viscosité de quelques produits alimentaires (Huiles d olive et de tournesol, sucre liquide, sucre de miel), en utilisant deux différentes méthodes pour pouvoir faire une comparaison.

Afin de réaliser cette étude, nous avons utilisé une autre méthode celle de viscosimètre rotatif, les expériences ont été réalisées au niveau de laboratoire de Biophysique de l'Université de M HAMED BOUGARA-Boumerdes.

A travers notre étude, les résultats obtenus par la méthode de stocks sont en accord avec ceux trouvées avec la deuxième méthode (viscosimètre rotatif). Cependant, nous avons enregistré de légères différences dues à l incertitude de mesure pour certains produits.

Mot clés : viscosité, fluides newtoniens, fluides non newtoniens, méthode de stock, chute de bille , produits alimentaires .

ملخص

تعتبر اللزوجة خاصية فيزيائية مهمة في العديد من العمليات الصناعية. لذلك من المهم أن تكون قادرًا على تحديد القياس بشكل موثوق ولهذا ، توجد ، في الواقع ، طرق مختلفة لقياس هذه اللزوجة.

يتضمن عملنا في الدراسة وكذلك التحقق من موثوقية طريقة Stock التي يستخدمها طلاب السنة الثانية في جامعة SNVST-Bouira لدينا من أجل قياس لزوجة بعض المنتجات الغذائية (زيوت الزيتون وعباد الشمس والسكر السائل وسكر العسل).

(من أجل إجراء هذه الدراسة ، استخدمنا طرقًا أخرى مثل استخدام مقياس اللزوجة (FUGILAB) على مستوى مخبر الفيزياء الحيوية بجامعة محمد بوقرة-بومرداس.

من خلال دراستنا النتائج التي تم الحصول عليها بطريقة Sock تتفق مع تلك الموجودة في الطريقة الثانية (مقياس Rotatifb). ومع ذلك ، فقد سجلنا اختلافات طفيفة بسبب الارتياح في القياس لبعض المنتجات.

الكلمات المفتاحية: اللزوجة، السوائل لالنيوتونية، السوائل الغير نيوتونية، طريقة stock ، سقوط الكرية، المنتجات الغذائية .

Abstract

Viscosity is an important physical characteristic in many industrial processes. It is thus important to be able to determine the measurement in a reliable way and for that, there are, indeed, various methods to measure this viscosity.

Our work is to study and verify the reliability of the method of stock that is used by students of 2nd year of our University SNVST-Bouira to measure the viscosity of some food products (olive oil and sunflower, liquid sugar, honey sugar).

In order to carry out this study, we used other methods such as the use of a rotary viscometer at the level of the Biophysics laboratory of the University of M HAMED BOUGARA-Boumerdes.

Through our study, the results obtained by the method of stocks are in agreement with those found with the second method (rotary viscometer). Nevertheless, we have recorded slight differences due to the uncertainty of measurement for some products.

Key word : viscosity , Newtonian fluids , non Newtonian fluids , stock method , ball drop , food products .