

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

2^{ème} Année Master

***Évaluation des caractéristiques physico-chimiques et
rhéologiques de la purée de tomate locale (CAB)***

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

Présenté par :

DOUAFER ABDESSAMED

GUENIF ALA EDDINE

Sous la direction de :

Dr CHOUARFA. F

Juin 2022

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **DIEU** le tout-puissant de nous avoir donné la force et le courage afin que nous puissions accomplir ce Modeste travail.*

Nous remercions chaleureusement nos parents qui nous ont soutenus tout au long de nos études, parfois au prix de quelques sacrifices et sans qui nous n'aurons pas pu atteindre ce niveau.

*Nous exprimons nos profondes gratitudee et nos sincères remerciements à notre encadrante Mme **Chouarfa fella**, pour ses conseils scientifiques et ses précieuses orientations qu'elle n'a cessé de nous apporter tout le long de la préparation de notre mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont à tout le personnel **de la Conserverie Amor Benamor** (Groupe CAB, Bouati Mahmoud, Guelma) sans oublier le staff du laboratoire du control de qualité qui nous a suivi, fourni des renseignements et répondu à nos questions durant la période de notre stage.*

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs de l'Université 8 Mai 1945 Guelma.

Enfin, nous remercions toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

*Grace à **Dieu** tout clément et miséricordieux, qui m'a tracé la route, et ma donnée le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à La fin.*

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents : Ma chère mère **Hadia**, pour l'affection et l'amour qui m'a Donné, le courage et la force dans les moments les plus difficiles.*

*Mon père **Hamid**, pour son soutien moral et ses conseils les Plus précieux qui m'ont servi dans ma vie et son encouragement Sans limite.*

*Mes adorables sœurs **Djihen, Ghossoun.***

*Mon cher Frère **Kader.***

*A Groupe CAB (**ben jmil hannane, Aymen, karim, Housseem, alla, houda**)*

A tout ma famille.

*Mon cher binôme **Alla.***

*A mes amis **Fakhro, Ayoub, Anoir, Aymen***

*A mes chères collègues : **Raid, Djalil, Maroua.***

A tout ma promotion.

Abdessamed

Dédicaces

Grace à **Dieu** tout clément et miséricordieux, qui m'a tracé la route, et ma donnée le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à La fin.

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents : Ma chère mère **Akila**, pour l'affection et l'amour qui m'a Donné, le courage et la force dans les moments les plus difficiles.

Et mon défunt père **Abd Esselame**

Ma chère et bien aimé soeurs **Safa et Houda, Sara**

Mon cher frère **Hicham, amin**

A Groupe CAB (**ben jmil hannane, Aymen, karim, Housseem, abdessamed, houda**)

A tout ma famille.

Mon cher binôme **Abdessamed**.

A mes amis **Nouri, Mohamed, Tayeb, Anis**

A mes chères collègues : **Raid, Djallel, Akram**.

A tout ma promotion.

Alla

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale.....	1
<i>Chapitre I : Généralités sur la Tomate</i>	
I.1. Définition de la tomate.....	5
I.2. Origine de la tomate	5
I.3. Composition de la tomate fraîche.....	6
I.3.1. Eau.....	6
I.3.2. Sucre	6
I.3.3. Protéines.....	6
I.3.4. Lipide.....	6
I.3.5. Minéraux.....	7
I.3.6. Vitamine E.....	7
I.3.7. Vitamine C.....	7
I.3.8. Poly phénol.....	7
I.4. Classification botanique	8
I.5. Types de tomate.....	9
I.5.1. Tomate de table.....	9
I.5.2. Tomate industrielle.....	9
I.6. Caractéristiques du concentré de tomate	10
I.6.1. Caractères organoleptiques	10
I.6.2. Caractères physico-chimiques	11
I.7. Production de la tomate	11
I.8. Importance de la tomate.....	12
I.8.1. Importance médicinale.....	12
I.8.2. Importance nutritionnelle	12
I.9. Importance économique de la culture de tomate	12
I.9.1. Dans le Monde.....	12

I.9.2. Dans l'Algérie.	13
-----------------------------	----

Chapitre II : Processus technologique de fabrication de concentré de tomate

II.1. Présentation de l'unité industrielle CAB.....	17
II.2. Étapes de production du concentré de tomate.....	17
II.2.1. Réception et déchargement.....	17
II.2.2. Lavage.....	18
II.2.3. Triage.....	18
II.2.4. Broyage et extraction de jus.....	19
II.2.5. Préchauffage.....	19
II.2.6. Tamisage et raffinage.....	20
II.2.7. Concentration par évaporation.....	21
II.2.8. Pasteurisation.....	22
II.2.9. Remplissage et Sertissage.....	22
II.2.10. Stérilisation et refroidissement.....	23
II.2.11. Séchage et conditionnement.....	24

Chapitre III : Concepts fondamentaux de la rhéologie

III.1. Définitions.....	27
III.1.1. La rhéologie.....	27
III.1.2. La rhéométrie.....	27
III.1.3. Le rhéomètre	27
III.1.4. La viscoélasticité.....	28
III.2. Comportement rhéologique des produits alimentaires.....	29
III.2.1. Résistance structurelle.....	29
III.2.2. Propriétés d'écoulement.....	30
III.3. Séquences de mesures.....	30
III.3.1 Mesures en régime permanent.....	30
III.3.2. Mesures oscillatoires.....	32
III.4. Classification des matériaux.....	33

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

Introduction.....	37
IV.1. Analyses physico-chimiques.....	37
IV.1.1. Détermination du poids.....	37
IV.1.2. Détermination de la température.	38
IV.1.3. Détermination du pH.....	38
IV.1.4. Détermination du degré Brix.....	39
IV.1.5. Détermination de la viscosité.....	40
IV.1.6. Détermination de l'acidité.....	41
IV.1.7. Détermination de la couleur.....	42
IV.2. Contrôle qualité de la tomate.....	43
IV.2.1. Contrôle de sertissage.....	43
IV.2.2. Contrôle de la stabilité.....	43
IV.3. Analyses rhéologiques.....	44
IV.3.1 Mesures rhéologiques.....	45
IV.3.2. Dispositifs expérimentaux.....	45
IV.3.3. Principe de rhéomètre.....	46

Chapitre V : Résultats et Discussions

Introduction.....	50
V.1.Analyse physico-chimique.....	50
V.1.1. Poids	50
V.1.2.PH.....	51
V.1.3. Brix.....	52
V.1.4. La couleur.....	53
V.1.5. Viscosité.....	53
V.1.6. Acidité	54
V.2.Test de stabilité.....	55
V.3. Comportement rhéologique de la purée de tomate.....	56
V.3.1. Régime permanent.....	56
V.3.1.1. Évolution de la viscosité et de la contrainte.....	56
V.3.1.2. Effet de la concentration sur la viscosité.....	57

V.3.1.3. Effet de la température sur la viscosité.....	58
V.3.2. Régime oscillatoire.....	59
V.3.2.1. Balayage en déformation.....	59
V.3.2.2. Balayage en fréquence	60
V.3.2.3. Stabilité de la purée de tomate au stockage.....	61
Conclusion générale	63
Résumés	

Liste des figures

Chapitre I

<i>Figure I.1: Diffusion de tomate dans le monde.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.2: Représentation des différents composants de tomate.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.3: Principaux pays producteurs de la tomate (million de tonnes).....</i>	<i>13</i>

Chapitre II

<i>Figure II.1: La réception de tomate.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure II.2: Lavage de la tomate.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure II.3: Triage manuel et automatique de la tomate.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure II.4: Broyeur de la tomate.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure II.5: Préchauffeur de la tomate.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure II.6: Processus de concentration de jus de tomate.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.7: Pasteurisateur.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II.8: Remplissage et sertissage.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.9: Tunnel de stérilisation et de refroidissement de la purée de tomate.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.10: Processus de fabrication de la concentrée de tomate.....</i>	<i>24</i>

Chapitre III

<i>Figure III.1: Types de géométrie de rhéomètre.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure III.2: Cisaillement dans le cas du modèle à deux plaques.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure III.3: Classification des matériaux en fonction de leur comportement d'écoulement.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III.4: Comportement newtonien.....</i>	<i>34</i>

Chapitre IV

<i>Figure IV.1: Mesure de poids.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure IV.2: Mesure de la température.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure IV.3: Mesure du pH.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure IV.4: Procédé de détermination du Brix par réfractomètre.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure IV.5: Mesure de la viscosité par Consistomètre de Bostwick.....</i>	<i>40</i>

<i>Figure IV.6: Filtration et titration de la solution tomate-eau distillée.....</i>	41
<i>Figure IV.7: Détermination de la couleur de tomate par Spectrophotomètre.....</i>	43
<i>Figure IV.8: Contrôle de stabilité (Étuve de 37° et 55°).....</i>	44
<i>Figure IV. 9 : Dispositif expérimental de l'étude rhéologique.....</i>	46

Chapitre V

<i>Figure V.1: Histogramme des poids des échantillons analysés.....</i>	50
<i>Figure V.2: Histogramme de PH des échantillons analysés.....</i>	51
<i>Figure V.3: Histogramme du Brix des échantillons analysés.....</i>	52
<i>Figure V.4: Histogramme de la couleur des échantillons analysés.....</i>	53
<i>Figure V.5: Histogramme de la viscosité des échantillons analysés.....</i>	54
<i>Figure V.6: Histogramme de l'acidité des échantillons analysés.....</i>	55
<i>Figure V.7: La viscosité et la contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement.....</i>	57
<i>Figure V.8: l'évolution de la viscosité de différentes variétés de tomate.....</i>	58
<i>Figure V.9: l'effet de la température sur la viscosité.....</i>	58
<i>Figure V.10 : Le module G' et G'' en fonction de la déformation.....</i>	59
<i>Figure V.11 : Le module G' et G'' en fonction de la fréquence.</i>	60
<i>Figure V.12 : La stabilité de la tomate à travers le module G'(fréq=1Hz et $\tau=0,1-1Pa$)....</i>	61

Liste des tableaux

Chapitre I

<i>Tableau I.1: Composition de la tomate fraiche.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau I.2: Classification de la tomate.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau I.3: Caractéristiques organoleptiques du concentré de tomate.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau I.4: Teneur en résidus sec (%) du concentré de tomate.....</i>	<i>11</i>

Chapitre V

<i>Tableau V.1: Résultats du poids.....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau V.2: Résultats du PH des échantillons analysés.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau V.3: Résultats du Brix des échantillons analysés.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau V.4: Les valeurs de rapport a/b.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau V.5: Résultats de la viscosité des échantillons analysés.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau V.6: Résultats de l'Acidité des échantillons analysés.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau V.7: Résultats du test de stabilité.....</i>	<i>56</i>

Liste des abréviations

AFNOR	Association française de normalisation
a	La teneur de tomate en pigment rouge
a/b	La couleur de tomate (pigments rouges / pigments jaune)
B	La teneur de tomate en pigment jaune
CAB	Conservateur Amor benamor
°C	Degré Celsius
C	Concentration
D	La surface supérieure
DCT	Double concentrée de tomate
E	Elastique
e	Epaisseur
F	Fréquence
F	Force
G'	Module de conservation (en Pa)
G''	Module de perte (Pa)
G*	Module de cisaillement complexe (sans unité)
LR01	Réfractomètre
L	Luminosité de tomate.
LAIGM	Laboratoire d'analyses industrielles et génie des matériaux
MPa	Mégapascals
η^*	Viscosité complexe
η	Viscosité dynamique (en Pa.s)
θ	L'angle de cône
Pn	Le poids net de la matière
Pt	Le poids du camion chargé représente le poids brut
Pv	Le poids du camion vide
pH	Potentiel hydrogène
Pa	Pascal
qx	Quintaux
T°	Température
τ	Contrainte de cisaillement (en Pa)
γ	Déformation de cisaillement (Sans unité)
$\dot{\gamma}$	Vitesse de cisaillement (en s ⁻¹)
%	Pourcentage

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture occupe une grande place dans notre société, où on peut avoir des produits agricoles et agro-alimentaires qui sont riches et diversifiés, les principales productions sont les céréales (blé, maïs), et n'oublions pas les fruits et légumes. Aujourd'hui, la production de tomate (*Lycopersicon esculentum*) est la deuxième plus importante au monde parmi les cultures légumières. C'est une source intéressante de fibres, de vitamines et de minéraux.

La tomate (le fruit) tient une place importante dans l'alimentation humaine. Bien que ce soit un fruit sur le plan botanique, elle se consomme comme un légume soit crue, soit en salade, souvent en mélange avec d'autres ingrédients, soit en jus, soit cuite dans d'innombrables préparations culinaires. La tomate est alors transformée industriellement, à partir de produits frais, en conserves ou surgelées, sous forme de purée, d'autres condiments, de sauces et de plats préparés. Des industries de transformation de la tomate sont implantées dans toutes les régions du monde et sont approvisionnées par des milliers d'hectares de culture mécanisée.

Le but principal d'un producteur de produits alimentaires est de satisfaire les besoins des consommateurs et d'arracher une place dans le marché local et international, ce but exige la garantie d'un produit de qualité fabriqué selon les normes recommandées, ce qui montre l'importance du bon choix de la matière première, l'application d'un ensemble des analyses de qualité et la maîtrise de la production.

L'objectif de cette étude s'articule à la réalisation des analyses physico-chimiques et rhéologiques de la tomate afin d'évaluer et de contrôler la qualité et la conformité des produits étudiés aux normes et de déterminer le comportement rhéologique de la purée de tomate. Dans ce contexte, nous avons réalisé notre travail au sein du laboratoire de contrôle qualité de la conserverie CAB et au niveau de laboratoire LAIGM de l'université de Guelma.

Ce travail a été traité et rassemblé dans un mémoire débutant par une introduction générale suivie par cinq chapitres et achevé par une conclusion générale.

✚ Le premier chapitre

Il traite particulièrement l'aspect théorique de la tomate.

✚ Le deuxième chapitre

Il présente les étapes de production de la purée de tomate.

✚ Le troisième chapitre

Il s'intéresse à des concepts fondamentaux de la rhéologie.

✚ Le quatrième chapitre

Il présente le matériel et les méthodes utilisées pour les analyses physico-chimiques et rhéologiques.

✚ Le cinquième chapitre

Ce dernier chapitre illustre tous les résultats obtenus et leurs interprétations.

Chapitre I :

**Généralités sur la
Tomate**

I.1. Définition de la tomate

La tomate fait partie de la famille des solanacées. Elles sont souvent de forme sphérique ou ovale, de couleur rouge, la tomate est devenue, cinq siècles après leur découverte, le premier légume-fruit consommé en Italie et France.

Cette plante est cultivée en plein champ ou sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ trois millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes. La tomate a donné lieu au développement d'une importante industrie de transformation, pour la production de concentré, de sauces, de jus et de conserves [1].

I.2. Origine de la tomate

La tomate est une plante annuelle de la famille des Solanacées, Comme la pomme de terre, origine d'Amérique du Sud. Sans doute fut-elle d'abord cultivée au Pérou (on l'appelait autrefois "Pomme du Pérou"), puis au Mexique où les indigènes lui donnèrent le nom de "tomalt" ou "tomalti", on trouve encore actuellement à l'état sauvage, au Pérou, aux Antilles et au Texas. La tomate traversa l'Atlantique au début du XVIème siècle par les conquérants espagnols, heureux de rapporter de leurs voyages, non seulement des trésors, mais aussi des plantes inconnues. Ils appelèrent celles-ci : tomate [2].

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné les conditions qui lui sont propices. Sa consommation à commencer dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois [3].

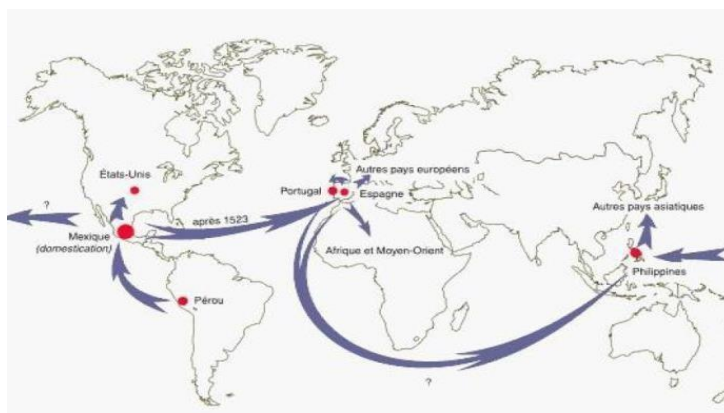


Figure I.1: Diffusion de tomate dans le monde [2].

I.3. Composition de la tomate fraîche

La composition biochimique des fruits de tomate fraîche dépend de plusieurs facteurs, à savoir : la variété, l'état de maturation, la lumière, la température, la saison, le sol, l'irrigation et les pratiques culturales.

Une tomate mûre est composée d'environ 90 % d'eau, soit 5 à 10 % de matière sèche environ la moitié de la matière sèche est composée de sucres (glucose et fructose essentiellement), un quart d'acides organiques, d'acides aminés, de minéraux et des lipides, et un quart de protéines, pectines, cellulose et hémicellulose.

Ce produit est un aliment très riche en eau et très pauvre en calories (18 kcals pour 100 grammes), riche en éléments minéraux et en vitamines (A, C et E). Ses antioxydants en font un formidable rempart contre les infections [4].

Tableau I.1 : Composition de la tomate fraîche [5].

Eau (%)	Glucides (%)	Substance azotées (%)	Lipides (%)	Cendres (%)
93,5	3,6	0,95	0,30	0,74

I.3.1. Eau

Le jus représente la majeure partie des constituants physiques de la tomate. La tomate est constituée de 94 à 96 % d'eau [6].

I.3.2. Sucre

Les sucres contenus dans la tomate sont essentiellement des sucres réducteurs, le glucose représente 0,88-1,25%, et le fructose quant à lui représente 1,08-1,48% [6].

I.3.3. Protéines

Les constituants protéiques sont présents en faible concentration dans la majorité des fruits et légumes. Ils sont toutefois d'une importance capitale en tant qu'enzymes impliqués dans le métabolisme des fruits au cours de leur croissance. La tomate malgré sa faible teneur en protéines (1,1%) contient pratiquement tous les acides aminés [7].

I.3.4. Lipides

La composition en lipides varie en fonction de la variété et du degré de maturité lors de la récolte ; il répertorie plus de 33 acides gras dans le péricarpe, la teneur en lipides est de 0,3g par 100g de poids frais [8].

I.3.5. Minéraux

Les principaux minéraux que contient la tomate sont : le Calcium (2,95 à 3,95 ppm), le Magnésium (2,5 à 4 ppm), le Fer (0,6 à 0,8 ppm), le Phosphore (2,4 à 2,9 ppm), le Potassium (18,7 à 29,5 ppm) et le Sodium (15,7 à ppm) [9].

I.3.6. Vitamine E

L' α -tocophérol est la forme de vitamine E majoritairement retrouvée dans les tomates fraîches. Les autres formes du tocophérol (β -, γ - et δ -) sont également présentes, mais dans des proportions plus faibles. Les teneurs en vitamine E varient beaucoup en fonction des variétés de tomate et des dates de récolte. Au sein du fruit, la vitamine E est répartie dans les différents tissus, mais c'est dans les graines que les concentrations les plus importantes sont retrouvées. Or, elles ne sont pas digérées par l'organisme et la tomate contribuent donc peu aux apports en vitamine E [10].

I.3.7. Vitamine C

À la différence de la vitamine E, la tomate fraîche apporte des quantités non négligeables de vitamine C sous les formes oxydée et réduite. Les teneurs en vitamine C totale sont variables selon les variétés et les conditions de culture ; elles sont généralement comprises entre 7 et 30 mg/100g (de matière fraîche) mais peuvent atteindre 70 mg/100 g pour des tomates cerises. Les proportions d'acides ascorbique et déshydroascorbique varient également en fonction des cultivars et des conditions environnementales [11]. La forme oxydée pourrait représenter entre 0 à 85 % de la vitamine C totale et même atteindre 90 % lorsque les fruits sont cultivés sous un climat chaud. Ces variations s'expliquent par le fait qu'une modification des conditions environnementales est susceptible d'induire un changement de l'état redox [12].

I.3.8. Poly phénol

Tous les végétaux possèdent des composés phénoliques. Ces derniers regroupent une large gamme de substances, des formes les plus simples aux plus complexes (lignines et tanins) et possèdent tous un noyau aromatique portant un ou plusieurs groupements hydroxyles. Les composés d'intérêt pour la qualité du fruit sont principalement les acides phénoliques, les phénylepropanoïdes, les coumarines et les flavonoïdes (flavonols, anthocyanidins, ...). Ces composés jouent un rôle sur l'apparence du fruit (pigmentation, son goût (astringence et amertume) et sa valeur nutritive (antioxydant). Les flavonoïdes sont majoritairement localisés dans la partie externe du fruit (peau et péricarpe). Les acides hydroxycinnamiques (ester de

Glucose et d'acide quinique ou de glucoside formé avec les acides caféique férulique et para-coumarique) sont plus présents au niveau de la chair et dans les graines et dans le gel qui les entoure. Le composé phénolique le plus abondant dans le fruit de tomate est l'acide chlorogénique dont la concentration est la plus élevée au stade fruit vert et chute au cours du murissement. A l'inverse, la rutine et des dérivés de l'acide caféique voient leur concentration augmenter dans le fruit mûr [13].

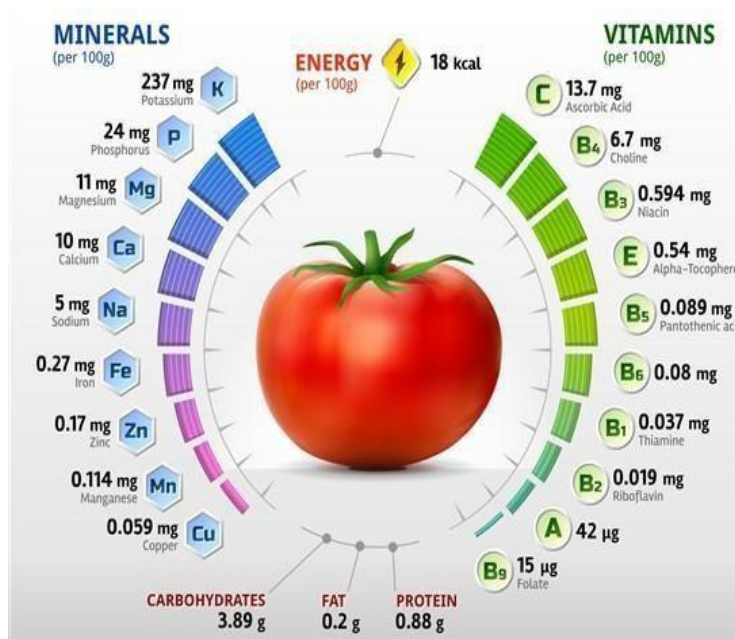


Figure I.2: Représentation des différents composants de tomate.

I.4. Classification botanique

La tomate appartient à la famille des solanacées. Linné Lavait classée, dans ses livres « Species Plantarum » (1753) et « Gênera Plantarum » (1754), dans le genre Solanum en tant que Solanum lycopersicum. C'est Philip Miller (1754) qui distingua, dans son dictionnaire, le genre Lycopersicon du genre Solanum [14] (tableau I.2).

La tomate est une plante herbacée vivace dans ses régions d'origine, mais gélive sous notre climat, elle est cultivée comme annuelle. Elle est de la même famille que les pommes de terre, les aubergines, les poivrons.

Tableau I.2 : Classification de la tomate ^[15].

Règne	plantae
Sous règne	Trachenobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Genre	Solanum ou lycopersicum
Espèce	Lycopersicum esculentum Mill

I.5. Types de tomate

I.5.1. Tomate de table

Les tomates de table sont grosses et moins rouges que les tomates industrielles, elles contiennent beaucoup de graines et d'eau, leur peau est peu résistante. Elles sont utilisées pour la salade ou en purée pour sauce. Leur rendement à l'hectare est faible par rapport à la tomate industrielle ; elles ne peuvent donc pas faire l'objet d'une transformation industrielle ^[1].

I.5.2. Tomate industrielle

De dimensions souvent plus petites et parfois allongées, aspect très rouge désiré pour les sauces, elles ont un taux de matières sèches plus élevées, aussi elles ont une peau résistante. Ce sont ces tomates qui se prêtent à une transformation industrielle comme leur nom l'indique. Leur culture est inconnue des paysans, mais pratiquée par quelques rares maraîchers.

Les variétés produites (tomates de tables) ne répondent pas du tout aux techniques actuelles de conservation ou de transformation. Il faut résoudre un premier problème qui est agronomique en changeant de variétés de tomates.

Les avantages sont évidents :

- Meilleur rendement pour la culture
- Possibilité de transformer la production ^[1].

I.6. Caractéristiques du concentré de tomate

La tomate est utilisée dans l'industrie alimentaire pour la préparation des produits à base de tomates tels que la pulpe, le jus, la sauce, la purée, la pâte, le concentré et la poudre de tomate. Notons que les termes « purée de tomate » ou « pâte de tomate » peuvent être utilisés pour désigner le « concentré de tomate » lorsqu'il satisfait aux exigences suivantes [16] :

- ✓ **Purée de tomate** : la purée de tomate concentrée est le produit obtenu par tamisage des fruits frais de tomate, concentré par élimination de l'eau qu'il renferme.
- ✓ **Pulpe de tomate** : il s'agit de tomates écrasées avant ou après élimination des peaux et des grains
- ✓ **Simple Concentré de tomate** : la tomate est concentrée en utilisant des évaporateurs à circulation forcée pour atteindre des concentrations de 22%.
- ✓ **Double concentré de tomate** : les doubles concentrés de tomates sont les concentrés dont le ratio résidu Brix est égal à 28 %.
- ✓ **Triple concentré de tomate** : les triples concentrés de tomates sont les concentrés dont le ratio résidu Brix est égal à 36 %.

I.6.1. Caractères organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques concernant la couleur, la texture, la saveur et l'odeur du concentré de tomates sont représentées dans le tableau I.3 [17].

Tableau I.3: Caractéristiques organoleptiques du concentré de tomate.

Couleur	- Rouge caractéristique de tomates mures.
Odeur	- Absence d'odeurs étrangères ou anormales.
Texture	- Sensiblement homogène, - Pas de séparation en deux phases liquide et solide.
Saveur	- Absence de saveurs étrangères, notamment le gout de brûlé ou de caramel.
Impuretés	- Présence tolérée d'impuretés naturelles végétales, visibles seulement après examen microscopique attentif.

I.6.2. Caractères physico-chimiques

Les caractères physico-chimiques des teneurs en résidus secs des concentrés de tomates sont rapportés dans le tableau ci-dessous [18].

Tableau I.4: Teneur en résidus sec (%) du concentré de tomate.

Caractère	Teneur de résidus secs
Teneur minimum en sucres totaux.	45%
Acidité totale maximum critique hydrate.	10%
Teneur maximum en impuretés minimales insolubles.	0,1%
Acidité totale maximum (acide acétique).	1%
Teneur en sel alimentaire.	3 à 15%

I.7. Production de la tomate

La production de tomates connaît deux grandes filières : la tomate pour la consommation en frais (tomate de marché) d'une part et la tomate destinée à la transformation et la conserve (tomate d'industrie) d'autre part.

➤ Les tomates fraîches

Sont présentes quasiment toute l'année dans le commerce. Les nouvelles techniques de production ainsi la sélection génétique permettent à ce fruit d'être cultivé dans des zones géographiques d'où il était exclu quelques années, mais les progrès réalisés ont surtout visé à améliorer sa productivité ou son aspect [19].

➤ Les tomates d'industrie

Destinées à la transformation et la conserve, représentent environ la moitié de la production dans l'Union européenne, 80 % aux "États Unis" (moyenne 1980-1987)^[20] et environ 15 % en "Chine" (2008) ^[21].

I.8. Importance de la tomate

I.8.1. Importance médicinale

Le rôle médicinal de la tomate est connu depuis bien longtemps chez les Incas en Amérique du sud, où ils utilisaient la feuille fraîche du plant de tomate comme antibiotique [22].

De plus la consommation de tomate joue plusieurs rôles :

- Accélère la formation du sucre dans le sang ce qui permet au corps de combattre la fatigue ;
- Diminue l'hypertension grâce à son haut taux en potassium ;
- Contient des traces d'éléments antitoxiques (chlorite et sulfure) excellents pour la santé du foie ;
- Stimule les sécrétions digestives grâce à sa saveur acidulée ;
- Contribue à la prévention des maladies cardiovasculaires, l'artériosclérose et la cécité ;
- Joue un rôle de prévention du cancer grâce à sa teneur en pigments caroténoïdes antioxydants, notamment sa forte concentration en lycopène (3,5 mg/125g de tomate) [22].

I.8.2. Importance nutritionnelle

La tomate largement consommée, joue un rôle bénéfique dans notre alimentation. Ce fruit contenant 93% à 95% d'eau. Très pauvre en calories, ne fournit guère plus de 19k calories aux 100g, soit 63 k joules. Elle est très riche en carotène et lycopène qui lui donne sa couleur rouge, cet antioxydant diminuerait le risque de maladies cardiaques et de certaines formes de cancer, dont celui de la prostate. Elle fournit des quantités appréciables de vitamines C (18 mg et plus), ainsi que de la provitamine A et de nombreuses vitamines du groupe B. ses minéraux sont abondants (notamment en potassium, magnésium et phosphore) [22].

I.9. Importance économique de la culture de tomate

I.9.1. Dans le monde

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde avec une production plus que 140 millions de tonnes. Cette production est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri, à l'échelle mondiale, la tomate est considérée comme la 2^{ème} culture légumière après la pomme de terre grâce à son volume de production.

En effet, près de cinq millions d'hectares (4,98 millions ha) sont réservés annuellement à cette culture avec une production de 140 millions de tonnes et un rendement moyen de 28,3 tonnes à l'hectare ^[23]. La figure I.3 représente les principaux pays producteurs de la tomate.

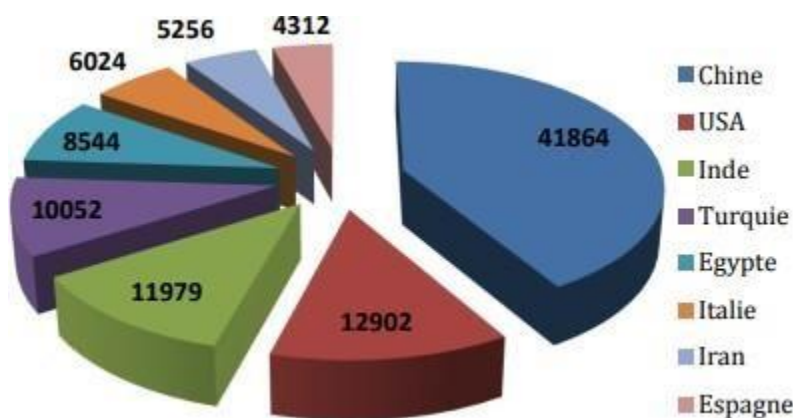


Figure I.3: Principaux pays producteurs de la tomate (million de tonnes).

I.9.2. Dans l'Algérie.

La production de la tomate en Algérie est en troisième position de la production Africaine après l'Égypte et le Maroc ^[24]. En Algérie, la tomate ne cesse de gagner une place importante dans l'économie du pays, elle prend la deuxième place en maraîchage après la pomme de terre comme légume de base où la consommation des légumes frais a beaucoup augmenté à la suite du développement démographique galopant. Pour l'année 2010, la tomate fraîche est cultivée sur l'ensemble du territoire national en vivrière. Quant à la tomate industrielle, bien que la culture ne soit développée que dans dix-sept wilayas (Guelma, Annaba, El Taraf, Skikda, Jijel, Batna, Souk Ahras, Bejaia, Boumerdés, Chlef, Alger, Blida, Ain Defla, Tipaza, Mostaganem, Mascara et Sidi Bel-Abbés) ^[25].

La production nationale de la tomate fraîche s'est établie à 13,72 millions de quintaux (qx) durant la campagne 2017. Le rendement a été de 428 qx/hectare pour la tomate plein champ, et 1225 qx/hectare pour la tomate sous serre. Les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra avec une production de 2,33 millions de qx, Mostaganem avec une production de 1,33 million de qx, Tipaza avec 1,04 million de qx et Ain Defla avec 728,250 qx ^[26].

Références bibliographiques

- [1] **Léon P**, MTG, « Magazine Trimestriel du Centre Technique Horticole de Gembloux », 2009.
- [2] Site web, « <https://www.montlhery.com/tomate2.html> », (consulté le 02/05/2022).
- [3] **Latigui A**, « Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée », Thèse Magister, INA El-Harrach, 1984.
- [4] **Mehallel R**, « Etude de la stabilité des caractéristiques physico-chimiques Des composés à base de conserve de tomate et additifs alimentaires des composés à l'aire et à la température ambiante », Master de l'Université 08 Mai 1945, 2013.
- [5] **Saddek A**, « Etude de la Complémentation des Pailles Traitées L'ammoniac (PNH3) Avec les Pulpes de Tomates en vue de Réduire la Dépendance Alimentaire des Ruminants Domestiques en Algérie ». european journal of scientific research, 2008.
- [6] **Moresi M, Liverotti C**, « Economic study of tomato paste production. J. Food Technology», 1982.
- [7] **Alhag Dow M**, « Caractérisation fonctionnelle de la GDP-D-MANNOSE- 3,5-EPIMERASE ET GALACTONO-1,4-LACTONE DESHYDROGENASE, enzyme de la voie de biosynthèse de la vitamine c chez la tomate », Thèse de doctorat, université de Bordeaux 1, 245p.2006.
- [8] **Benard C**, « Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en poly-phénols chez la tomate », Thèse de doctorat, Nancy Université-INRA Agronomie et Environnement, 265p. 2009.
- [9] **Fabrice C**, « Etude de la valeur alimentaire de pulpe de tomate chez les ruminants », Thèse de Doctorat vétérinaire, Université Claude Bernard de Lyon1, 2000, 135p.
- [10] **Marsic N, Sircelj H, Kastelec D**, « Lipophilic antioxidants and some carpometric characteristics of fruits of ten processing tomato varieties, grown in different climatic conditions », Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 390-397.
- [11] **Raffo A, LaMalfa G, Fogliano V, Malani G, and Quaglia G**, « Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) », Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 11-19.

- [12] **Lenucci MS, Cadinu D, Taurino M, Piro G, and Dalessandro G**, « Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, p54 : 2606-2613.
- [13] **Brigitte N, Michel L, et Nadia B**, « Tomate qualité et préférence », paris, 2001, 271p.
- [14] **El Fadi A, Chtaina N**, « Etude de base sur la culture de tomate », Maroc, 2010, 10p.
- [15] FAO STAT, « Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture », 2007.
- [16] **Sadok D, Zedak S**, « Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de la conserve du concentré de tomate (TELLOISE) », Master de l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaghanem, 2016.
- [17] **Boukharouba K, Hamici A**, « Contribution à l'étude phytochimique, Evaluation d'une activité biologique et valorisation de deux plantes algériennes dans la conserverie CAB) », Master de l'Université 08 Mai 1945Guelma, 2016.
- [18] Auteur inconnu, « Guide d'inspection qualité sur les concentrés de tomates », Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE), 1998, p1-19.
- [19] Auteur inconnu, « bilan de la production de tomate », Ministère de l'Agriculture, Algérie, 2007.
- [20] **Chaux C.L, Foury C**, « Production légumières et maraichères, tome III : légumineuses potagères, légumes fruits », Tec & Doc. Lavoisier, Paris,563p. 1994.
- [21] Auteur inconnu, Heuvelink, « La tomate industrielle en chine », 2009.
- [22] **Khelifi A, Mellal A**, « Comportement morpho-physiologique et biochimiques de deux variétés locales de tomate », Mémoire de master, université 8 mai 1945 GUELMA, 2015.
- [23] FAO STAT, Statistique agricole, 2011.
- [24] **Grasselly D, Navez, B et Letard M**, « Tomate pour un produit de qualité », Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes 22 rue Bergère -75009 Paris, 2000, p201.
- [25] MADR, « Statistiques Agricoles, Superficies et produits », Ministère de l'agriculture et du développement Rural, Alger, 2010.
- [26] MADR, « Statistiques Agricoles », 2017.

Chapitre II :

Processus Technologique de Fabrication du Concentré de Tomate

II.1. Présentation de l'unité industrielle CAB

Le Groupe Ben Amor, ayant le statut d'une société à responsabilité limitée à caractère familial, est fondé en 1984. Le Groupe est actuellement dirigé par les frères, fils du BENAMOR père fondateur, Amor BENAMOR. Ce groupe est principalement spécialisé dans la production agroalimentaire.

Elle possède de 2 unités de transformation dans la wilaya de Guelma, La première est située dans la commune de Bouati Mahmoud à 19 km de Guelma et la deuxième se localise dans la zone industrielle de la commune d'El Fedjoudj à 05 km de Guelma.

II.2. Étapes de production du concentré de tomate

II.2.1. Réception et déchargement

La tomate peut être transportée en caisses et en camions bennes ou en vrac sur Camions. Une bascule située à l'entrée qui enregistre le poids total des Camions chargés de la matière première (tomate) qui provient généralement de ces régions à savoir : Guelma, Annaba et Skikda. Souk ahras, la bascule enregistre le poids avec un degré de précision de 20 kg.

Pour calculer le poids net de la matière première, il faut utiliser cette relation :

$$P_n = P_b - P_v \text{ Sachant que :}$$

- P_n : le poids net de la matière.
- P_b : le poids du camion chargé représente le poids brut.
- P_v : le poids du camion vide.



Figure II.1: La réception de tomate.

II.2.2. Lavage

Le lavage a pour but d'éliminer les contaminations microbiennes celles aux tomates et les résidus des produits antiparasitaires peuvent être présents. Un pré-lavage est d'abord effectué pour débarrasser la matière première des boues, germes superficiels et autres déchets provenant des champs.

Après ce pré-lavage ; les tomates sont acheminées vers les élévateurs grâce à un transport hydraulique assuré par une pompe où ils vont subir un rinçage à l'aide de l'eau potable.



Figure II.2: Lavage de la tomate.

II.2.3. Triage

Après lavage, les tomates sont acheminées vers la chaîne de tirage où elles ont rincé au moyen des douches d'eau chaude (Rinçage – douche) triés automatiquement pour enlever les tomates détériorées ainsi que les feuilles ou autres impuretés résiduelles. Il faut prendre soin de retirer éventuellement les corps étrangers tels que les cailloux, pièces de bois, les métaux pour éviter qu'ils s'introduisent dans les équipements avec les tomates. Les déchets sont déposés dans des récepteurs reliés à une vis sans fin qu'ils les acheminent vers les caisses à déchets.



Figure II.3: Triage manuel et automatique de la tomate.

II.2.4. Broyage et extraction de jus

Les fruits de tomates lavés sont comprimés entre deux rouleaux de manière à faire couler le liquide des loges du fruit. Le mélange obtenu passe ensuite à travers d'un tamis rotatif pour séparer le liquide des parties solides de la tomate. Les tomates débarrassées de leurs peaux et de leurs graines sont alors envoyées au broyeur (figure II.4) qui assure le concassage ^[1].



Figure II.4: Broyeur de la tomate.

II.2.5. Préchauffage

Il a pour chauffer la tomate broyée avec de la vapeur d'eau chaude afin de faciliter la séparation de la peau et l'extraction du jus. Il a effectué à l'intérieur d'un échangeur de chaleur

À faisceaux tubulaires dans lesquels circule la pulpe de tomate autour de ces faisceaux circule de la vapeur de température 75 à 80°C. Ce qui permet de l'échange de chaleur entre la pulpe de tomate qui se chauffe et la vapeur qui se condense dont le but est de :

- Diminuer la viscosité de la tomate
- Ramollir la tomate,
- Inhiber les microorganismes,
- Chasser l'air et éviter aussi la décoloration.



Figure II.5: Préchauffeur de la tomate.

II.2.6. Tamisage et raffinage

Après une courte durée du préchauffage, presque deux minutes, la pulpe est transférée à l'aide d'une pompe vers la passoire pour l'obtention du jus de tomate après élimination de la peau et des graines. Le raffinage se déroule dans une raffineuse constituée d'une série de tamis dont le diamètre des perforations est différent. La pulpe de tomate est introduite à l'intérieur à l'aide de pales tournant à grande vitesse dont l'effet est de forcer le jus à travers les perforations du tamis pour retenir les particules les plus grosses [2]. Le jus de tomate doit être envoyé à l'aide de gravitation dans un récipient collecteur ou il est réservé pendant une courte durée jusqu'à ce qu'il soit pompé au concentrateur.

II.2.7. Concentration par évaporation

C'est l'opération qui permet de prolonger la durée de conservation de la tomate en éliminant la quantité d'eau active à l'origine du volume et des coûts de stockage [3]. Elle se fait grâce à une installation comportant trois principales parties de tailles différentes, mais de même structure et de même principe de fonctionnement (évapore au moins 100 tonnes de jus de tomate par jours). Grâce à un groupe de distribution situé au sommet, on alimente la troisième partie avec le jus (Brix = 2-6) de façon homogène à travers les tubes de l'échange de chaleur. On assiste à l'échange thermique entre le jus et la vapeur, et une concentration progressive due à l'évaporation de l'eau du produit. Lorsqu'on atteint un Brix de 10-12%, le produit passe dans la deuxième partie, puis la première, et y subit le même traitement thermique.

Pendant la campagne, lorsque la matière première (tomate fraîche) est en quantité assez importante, l'usine fait de réserves de produit semi-fini, qui sera recyclé hors campagne et commercialisé. Pour cela, le produit est condensé à un Brix de 36-38% (triple concentré). Puis passe dans un stérilisateur serpentin, et subit un traitement thermique de 110°C [4].

- 1- Faisceau tubulaire 1^{er} effet
- 2- Faisceau tubulaire 2^{ème} effet
- 3- Faisceau tubulaire 3^{ème} effet

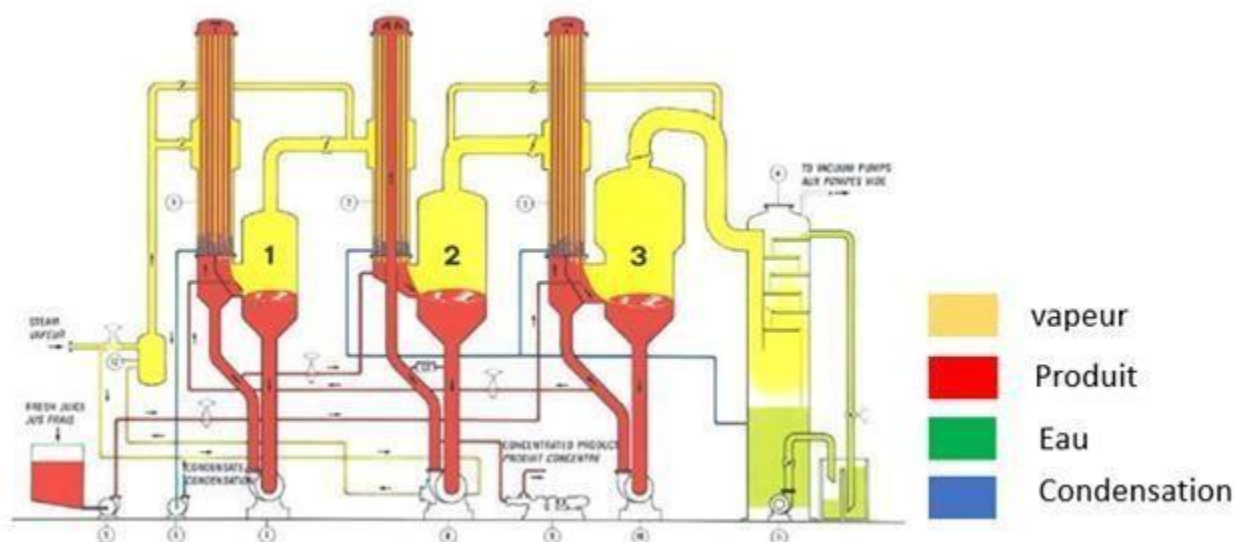


Figure II.6: Processus de concentration de jus de tomate.

II.2.8. Pasteurisation

La pasteurisation est une étape préparatoire avant la stérilisation. Il s'agit d'une opération réalisée par un appareil dénommé pasteurisateur. Le produit est porté à une température de 90 à 92°C pendant quelques secondes, elle permet la destruction de tous les germes pathogènes et l'élimination de la population microbienne qui pourrait être dans le produit concentré.



Figure II.7: Pasteurisateur.

II.2.9. Remplissage et Sertissage

À la sortie du concentrateur, le produit est récolté dans une cuve tampon, il passe ensuite dans un préchauffeur à 80°C, puis remplis dans des boîtes métalliques préalablement nettoyées par le jet d'eau chaude. Ce jet d'eau chaude a pour but de laver et en même temps de chauffer la boîte pour permettre une bonne stérilisation du contenu [5].

Le remplissage est suivi du sertissage. Il s'agit de fermer la boîte contenant le concentré hermétiquement. Il comporte deux opérations : le roulage et l'écrasement. La qualité du serti est très déterminante dans la durée de conservation et de la stabilité du contenu. A la sortie de la sertisseuse, un dateur insère sur cette même face la date de fabrication, d'expiration, l'heure de sortie du produit et le numéro du lot auquel appartient la boîte [6].



Figure II.8: Remplissage et sertissage.

II.2.10. Stérilisation et refroidissement

À l'intérieur d'un tunnel de stérilisation sur une longueur d'environ 20 mètres, dans la première partie se déroule la stérilisation par injection directe sur les boîtes avec l'eau surchauffée à 96°C dans un échangeur tubulaire pendant 8 min. Dans la longueur du tunnel, il y a la circulation des boîtes et les transportées par un convoyeur (un tapis roulant à la vitesse de 650 mm/min) vers la partie froide de tunnel ce qui consiste à injecter les boîtes par l'eau froide pour le refroidissement à 40°C. Ce refroidissement engendre un choc thermique permet la destruction de tous les microorganismes qui pourraient exister à l'intérieur des boîtes de concentré de tomate pour but d'assurer la bonne qualité microbiologique du produit fini.

Les boîtes de pâte de tomate doivent ensuite être rapidement refroidies pour éviter la détérioration de la flaveur et de la couleur à la suite de la rétention de la chaleur.



Figure II.9: Tunnel de stérilisation et de refroidissement de la purée de tomate.

II.2.11. Séchage et conditionnement

À la sortie du tunnel, un sécheur injecte de l'air sec sur les boites. Ces derniers biens séchés sont empaquetés de façon automatique dans des cartons de 12 pour les boites de 800g et de 24 pour celle de 400g. Ces cartons sont scotchés et stockés dans les hangars avant d'être livrés au marché au moins 21 jours après la date de fabrication ; ce qui permet de compléter les analyses du produit au laboratoire.

La figure suivante récapitule toutes les étapes de processus de fabrication du concentré de tomate.

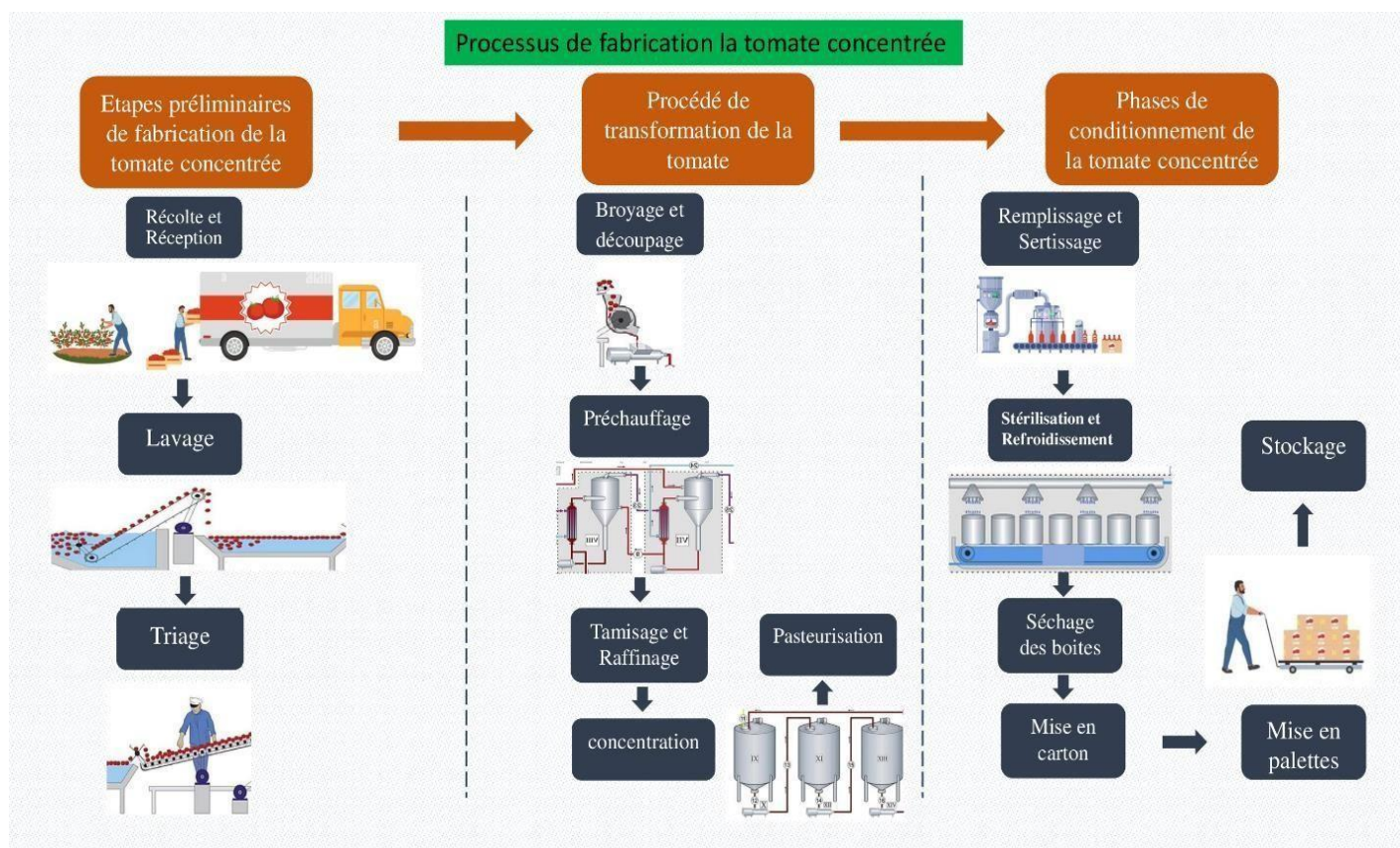


Figure II.10: Processus de fabrication de la concentrée de tomate.

Références bibliographiques

- [1] **Goose & al**, « Tomato paste and other tomato products. Food trade press 2nd edition », London V2, 1973, 270p.
- [2] **Moresi M, Liverotti C**, « Economic study of tomato paste production. J. Food Technology », 1982, 17: 177-199.
- [3] **Hayes & al**, «The production and quality of tomato concentrates. Cri. Review in food Sci and Nutr, 1998, 38 (7): 537-564.
- [4] Site web, « <http://www.djamiatic.net/tomate/cours/cours6.htm> », (consulté le 20/05/2022).
- [5] **Sadok D, Zedak S**, « Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de la conserve du concentré de tomate (TELLOISE), Master de l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaghanem, 2016.
- [6] **Yousfi M**, « Développement de la technologie agro-alimentaire dans la région de Touat, cas de la conserverie de tomate de Reggane », Master de l'Université Africaine Ahmed Draia Adrar, 2018.

Chapitre III :

Concepts fondamentaux de la rhéologie

III.1. Définitions

III.1.1. La rhéologie

La rhéologie est la science qui étudie l'écoulement et les déformations des matériaux lorsqu'ils sont soumis à des forces mécaniques. L'objet de la rhéologie est de déterminer les contraintes et les déformations en chaque point d'un milieu et de donner un cadre théorique permettant de décrire les comportements mécaniques complexes des matériaux, qu'ils soient solides ou liquides ^[1].

La rhéologie se décompose en plusieurs sortes d'études :

- **Rhéologie expérimentale** : détermination expérimentale des relations de comportement (entre contraintes et déformation ou vitesse de déformation).
- **Rhéologie structurale** : explication des comportements à partir de la structure du matériau.
- **Rhéologie théorique** : fournir des modèles mathématiques en nombre limité des comportements indépendamment de la structure microscopique ^[2].

III.1.2. La rhéométrie

La rhéométrie désigne la technique expérimentale permettant de déterminer les propriétés rhéologiques des matériaux (viscosité, l'indice d'écoulement, etc.) un certain nombre de tests rhéométriques peuvent être effectués pour déterminer les propriétés d'écoulement et de viscoélasticité d'un matériau. Ils dépendent en grande partie du type de rhéomètre utilisé et de ses capacités ^[3].

III.1.3. Le rhéomètre

Un rhéomètre est un appareil de laboratoire capable de faire des mesures relatives à la rhéologie (du grec *rheo*, couler et *logos*, étude) d'un fluide, qui est l'étude de la déformation et de l'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte extérieure. Il applique un cisaillement à l'échantillon. Généralement de faibles dimensions caractéristiques (très faible inertie mécanique du rotor), il permet d'étudier fondamentalement les propriétés d'écoulement d'un liquide, d'une suspension, d'une pâte, etc., en réponse à une force appliquée ^[4].

On distingue quelques types de géométrie de rhéomètre :

- **Cylindres coaxiaux** : l'échantillon est placé dans une chambre d'essai cylindrique dans laquelle est introduit un mobile tournant également cylindrique. Cette géométrie est adaptée à des produits liquides (Figure III.1).
- **Cône/Plan ou Plan/Plan** : l'échantillon est placé sur un plan, la mesure s'effectue à l'aide d'un mobile conique ou d'un plan. Le cône donne une meilleure précision, car le taux de cisaillement est homogène sur tout le cône (L'angle de cône θ est très faible $\leq 4^\circ$) pour obtenir un taux de cisaillement vertical constant dans le volume de mesure. Le plan permet lui de régler la distance plan/plan et ainsi de travailler avec des échantillons présentant des particules pouvant aller jusqu'à quelques centaines de microns.

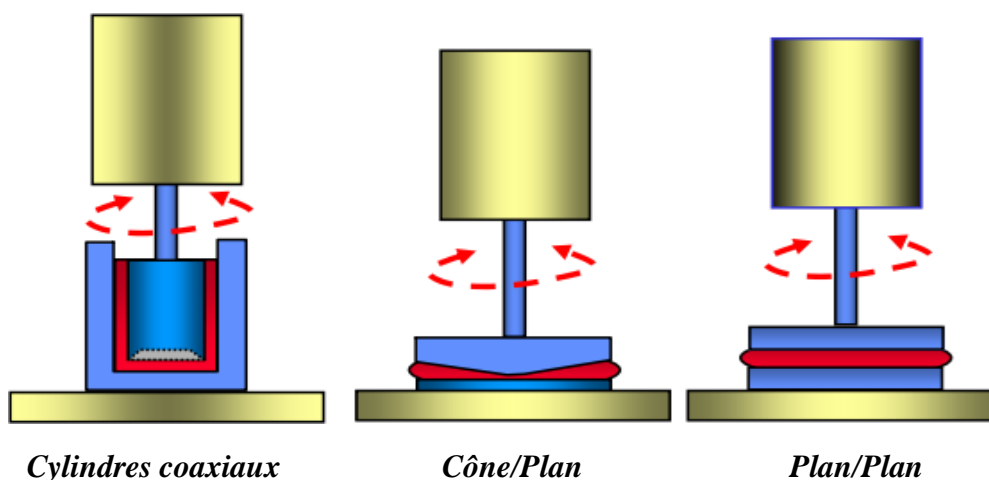


Figure III.1: Types de géométrie de rhéomètre.

III.1.4. La viscoélasticité

Elle représente la propriété de matériaux qui montrent des caractéristiques à la fois visqueuses et élastiques, lorsqu'ils subissent une déformation. Les matériaux visqueux, comme le miel, résistent bien à un écoulement en cisaillement et présentent une déformation qui augmente linéairement avec le temps lorsqu'une contrainte est appliquée. Les matériaux élastiques se déforment lorsqu'ils sont contraints, et retournent rapidement à leur état d'origine une fois la contrainte retirée. En rhéologie, le comportement d'un matériau viscoélastique linéaire est ainsi intermédiaire entre celui d'un solide élastique idéal symbolisé par un ressort de module E (ou G) et celui d'un liquide visqueux newtonien symbolisé par un amortisseur de viscosité η . L'élasticité d'un matériau traduit sa capacité à conserver et à restituer de l'énergie après déformation.

La viscosité d'un matériau traduit sa capacité à dissiper de l'énergie. Les polymères, en fait la plupart des matériaux, ont un comportement viscoélastique [5].

III.2. Comportement rhéologique des produits alimentaires

La détermination des propriétés rhéologiques des aliments est importante, car elles sont utiles pour étudier la qualité des aliments et pour concevoir des équipements et de la transformation des aliments. En outre, les paramètres rhéologiques sont cruciaux pour le calcul des opérations unitaires qui impliquent des phénomènes non seulement de transfert de quantité de mouvement, mais aussi de transfert de chaleur et de masse [6].

La caractérisation des propriétés rhéologiques de la nourriture revêt une importance croissante pour l'évaluation de la qualité des matières brutes, la prédiction du comportement des matières pendant leur traitement et pour le respect des exigences de stockage et de stabilité. Les tests rhéologiques sont utiles pour :

- Étude des propriétés de fluidité et de structure des matières premières utilisées dans la production alimentaire
- Amélioration de la texture, du goût et de la sensation en bouche des aliments
- Prédiction de la tenue des matières pendant leur traitement
- Mesure de la qualité du produit (contrôle qualité des produits alimentaires).

III.2.1 Résistance structurelle

La connaissance de la résistance structurelle de la nourriture est importante pour prédire son comportement et sa tendance à la sédimentation, par exemple : les garnitures comme les sauces pour la salade et le vinaigre contiennent des herbes et des morceaux de légumes en suspension. Si la suspension est bonne, ce mélange restera stable sans que le consommateur doive secouer le contenant pour distribuer les particules. Une garniture alimentaire stable fournit le profil et l'apparence désirés. Les propriétés structurelles fournissent également à un produit alimentaire les propriétés requises par le consommateur, comme un profil de goût, le corps d'une boisson ou le crémeux d'une glace, la viscosité d'un gâteau ou la sensation en bouche lorsqu'on avale l'aliment. Pour obtenir des renseignements sur toutes ces propriétés, les produits alimentaires peuvent être testés et analysés par rhéologie [7].

III.2.2. Propriétés d'écoulement

La connaissance des propriétés d'écoulement des aliments est importante pour prédire son comportement en matière de transformabilité et de remplissage. Le comportement d'écoulement joue également un rôle important dans la prédiction de la façon selon laquelle la structure de la nourriture est modifiée lorsque le consommateur mastique l'aliment avant de l'avalier. Le comportement d'écoulement peut également être influencé de la réfrigération ou une température de stockage ambiante à des températures élevées au niveau de la bouche [7].

III.3. Séquences de mesures

La caractérisation rhéologique des produits peut être déterminée par deux types d'expériences : des mesures en régime permanent et des mesures oscillatoires.

III.3.1 Mesures en régime permanent

Les propriétés rhéologiques des fluides sont généralement évaluées en appliquant une contrainte de cisaillement. La figure III.2 illustre une expérience idéale où un échantillon de fluide est en contact avec deux dalles parallèles de la zone A connue séparées par une matrice de distance. Alors qu'une dalle est fixe, l'autre se déplace à vitesse constante v en raison d'une force appliquée F . La couche de fluide près de la dalle supérieure se déplacera à la même vitesse, tandis que le fluide proche de la dalle inférieure restera au repos. Par conséquent, lorsque la condition d'état d'équilibre est obtenue, le fluide se déplace en suivant un profil de vitesse dans la direction x . En fait, la contrainte de cisaillement peut être calculée par l'équation (III.1), ce qui donne un gradient de vitesse du fluide appelé taux de cisaillement (équation III.2).

$$\tau = \frac{F}{S} \quad \text{Unité [Pa]} \quad (\text{III.1})$$

Où :

τ : force par unité de surface, elle s'exprime en N.m^{-2} ou bien en Pascal (Pa).

S : la surface élémentaire de l'entité considérée en m^2 .

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} \quad \text{Unité [S}^{-1}\text{]} \quad (\text{III.2})$$

La relation entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement donne les informations nécessaires pour reconnaître le type de fluide et son comportement pendant le traitement.

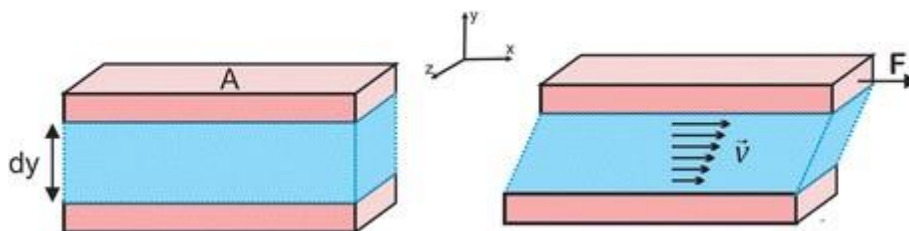


Figure III.2: Cisaillement dans le cas du modèle à deux plaques.

L'ensemble des forces (F) appliquées sur l'échantillon induit une contrainte de cisaillement (τ) qui est parallèle à la surface de la couche du produit (S). La variation de déplacement des couches de matériau les unes sur les autres correspond à la déformation. Sa dérivée par rapport au temps est le gradient de vitesse, autrement appelé taux de cisaillement.

➤ **Contrainte de cisaillement**

Une contrainte de cisaillement τ (lettre grecque « tau ») est une contrainte mécanique appliquée de manière parallèle ou tangentielle à une face d'un matériau, par opposition aux contraintes normales qui sont appliquées de manière orthogonale à la surface. C'est le rapport d'une force à une surface. Elle possède donc la dimension d'une pression, exprimée en pascals ou pour les grandes valeurs en mégapascals (MPa). On parle de contrainte de cisaillement r « shear-stress ».

➤ **Déformation de cisaillement**

On définit la déformation de cisaillement macroscopique subie par le fluide comme étant le déplacement horizontal de la surface supérieure « dx » divisé par la distance inter-plaques « dy ». On définit alors la déformation de cisaillement locale « shear strain » par l'équation (III.3). La déformation de cisaillement est dite constante si en tout point γ est égal à la déformation macroscopique ^[8].

$$\gamma = \frac{dx}{dy} \quad [\text{Sans unité}] \quad (\text{III.3})$$

➤ **Vitesse de cisaillement**

Par définition, la vitesse de cisaillement est la dérivée par rapport au temps de la déformation de cisaillement. Autrement dit c'est le rapport de la différence de vitesse entre deux lames et la distance qui les sépare (équation III.2).

La valeur de taux de cisaillement dépend, non seulement de la vitesse de déplacement de la plaque mobile mais aussi, de l'épaisseur e cisailée. Si e est faible, il est possible d'atteindre des vitesses de cisaillement élevés même avec des vitesses v relativement faibles ^[9].

➤ **Viscosité dynamique (apparente) (η)**

La viscosité, propriété physique des matériaux, exprime l'effet de retard entre deux couches adjacentes d'un même matériau pendant son écoulement (Figure III.2). Elle représente donc la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. Sa connaissance est une chose primordiale dans l'étude rhéologique ^[10]. La viscosité dynamique est donnée par la relation suivante (cas des fluides Newtoniens) ^[10,11] :

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [\text{Pa.s}] \quad (\text{III.4})$$

III.3.2. Mesures oscillatoires

Les mesures oscillatoires permettent d'obtenir des informations sur la capacité du matériau à stocker de l'énergie élastique à travers le module élastique G' et sur son caractère dissipatif à l'aide du module visqueux G'' . Elles consistent à faire osciller les géométries avec une amplitude de déformation et une fréquence choisie ^[12].

Cette mesure permet de déterminer les propriétés viscoélastiques d'un matériau (module de conservation G' et de perte G'') en appliquant à l'échantillon une déformation sinusoïdale de pulsation (en rad. s^{-1}), et de fréquence :

$$f = \omega/2\pi \quad (\text{en Hz}). \quad (\text{III.5})$$

- **Le module de conservation (G')** représente la composante élastique en cisaillement et représente la portion réversible de la déformation suite à une sollicitation. Cet élément est représenté par le ressort dans la schématisation de la viscoélasticité (unité Pa) ^[13].
- **Le module de perte (G'')** représente la composante visqueuse en cisaillement de la solution et constitue la portion irréversible de la déformation suite à une sollicitation (Unité Pa) ^[14].

Le comportement mécanique de l'échantillon peut être étudié en faisant varier la fréquence des oscillations, ce qui permet d'observer les différents temps de relaxation. Cette technique est particulièrement intéressante pour étudier des phénomènes d'agrégation et de gélification. Pour sonder un matériau dans son état d'équilibre, il faut rester dans le domaine linéaire, domaine dans lequel la déformation ne modifie pas la structure [14].

III.4. Classifications des matériaux

Les matériaux peuvent être classés rhéologiquement en fonction de leur comportement d'écoulement (fig.III.3).

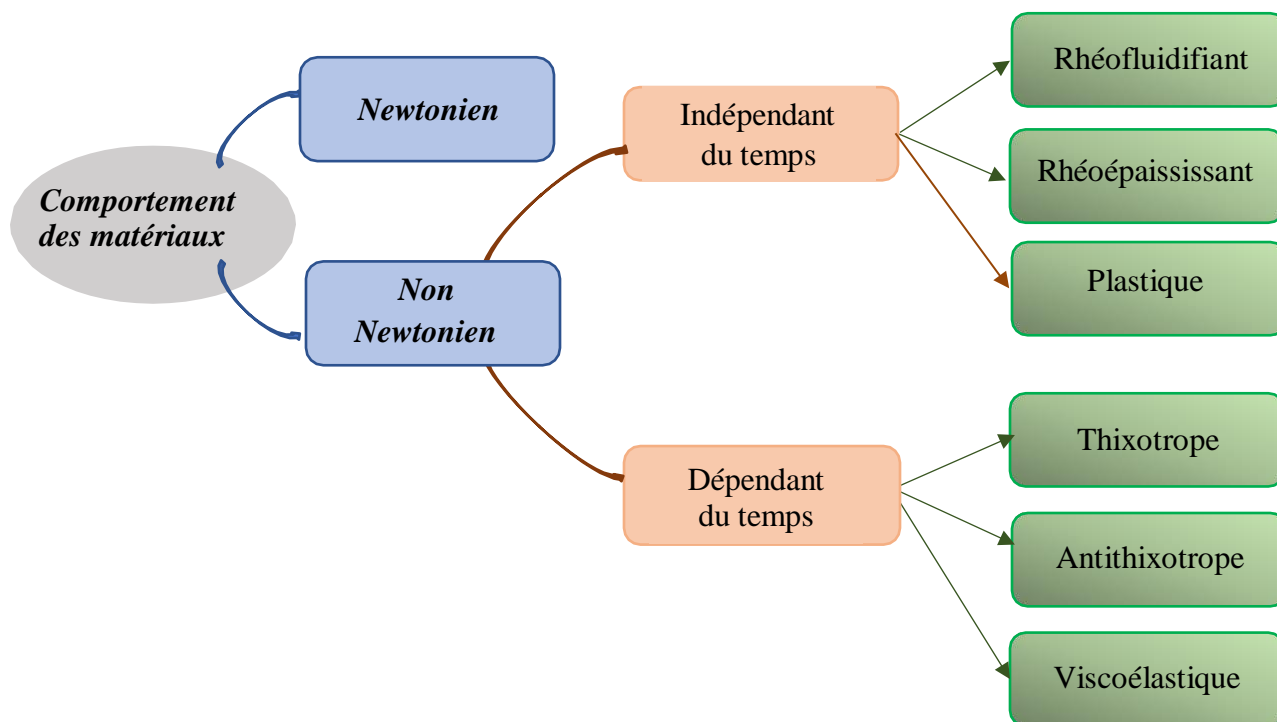


Figure III.3. Classification des matériaux en fonction de leur comportement d'écoulement.

Un matériau possède un comportement newtonien si sa vitesse de cisaillement est linéairement proportionnelle à la contrainte de cisaillement et dont la constante de proportionnalité est appelée viscosité (η), il suit la loi de Newton (équation III.4). Pour ces matériaux, la contrainte de cisaillement varie linéairement avec la vitesse de déformation (comme le montre la figure III.4). La fonction η est une constante qui coïncide avec la viscosité dynamique [15].

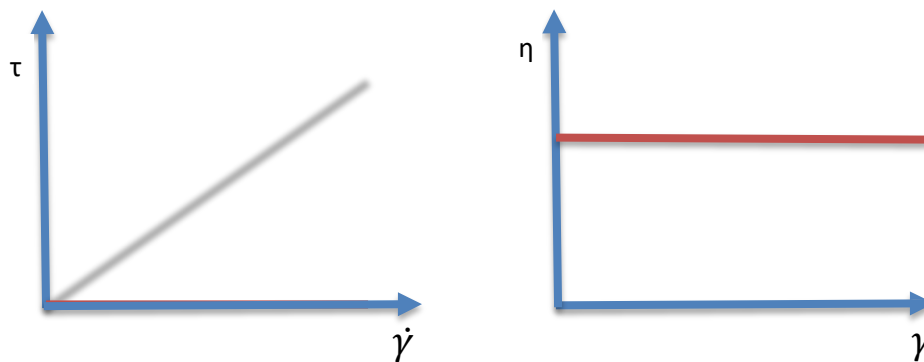


Figure III.4: Comportement newtonien ^[15].

Cependant, la plupart des aliments ne suivent pas la loi de Newton, en raison de changements structurels au cours de l'écoulement. Ils ont possédé un comportement non newtonien, ces matériaux peuvent également être classés comme matériaux possèdent un caractère non newtoniens indépendants du temps ou dépendants du temps. Dépendant du temps signifie que la structure change à mesure que le temps d'écoulement augmente ^[15].

Références bibliographiques

- [1] Groupe Français de Rhéologie, « Dictionnaire de rhéologie », 1990, 56 p.
- [2] Site web, « <http://eduscol.education.fr/rnchimie/phys/rheo/cours/rheo.htm> », (consulté le 15/05/ 2022).
- [3] Site web, « <https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/technology/rheometry> », (consulté le 15/05/2022).
- [4] **François Gorlier**, « Rhéologie des mousses de fluides complexes », thèse de doctorat, 2017.
- [5] **B.C. Chakraborty, Debdatta Ratna**, « Viscoelasticity » journal of Polymers for Vibration Damping Applications, 2020.
- [6] **Anaïs Coline Machado**, « Contribution à la rhéologie des suspensions : migration, rhéoépaississement », 2016
- [7] **Joël SCHER**, « Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires », Rhéologie des solides alimentaires, 2006.
- [8] **Mezger T. G**, « The Rheology Handbook », 2nd Edition, Vincentz Network, 2006.
- [9] **Gareche M**, « Caractérisation mécanique d'un fluide complexes », Thèse de magister I.N.H. 1997.
- [10] **Haddad Y.M**, « Viscoelasticity of engineering materials», first edition. Londre, Angleterre: Chapman and Hall, 1995, 378 p.
- [11] Site web,« <https://labomat.eu/fr/faq/586-bases-theoriques-de-la-mesure-de-viscosite.html> », (Consulté le 30/05/2021).
- [12] **Boudrahem N**, « Analyse du comportement hydrodynamique global de particules fluidisées par un fluide on-newtonien », Mémoire de magister de l'Université A. Mira (Bejaia), 2012.
- [13] **Jon J. Major**, «Stress, deformation, conservation, and rheology: A survey of key concepts in continuum mechanics».
- [14] Auteur inconnu, « Fundamentals of Rheology », cours de la rhéologie.
- [15] **Barnes H**, « thixotropy- A review, Journal of Non-Newtonian », Fluid Mechanic, 1997, pp.133.

Chapitre IV :

Matériels et Méthodes

Introduction

Le laboratoire est destiné à contrôler le produit au cours des différentes étapes de la fabrication, il doit être un secteur très actif au sein de l'unité.

Dans la partie expérimentale, nous avons effectué des analyses physico-chimiques au niveau du laboratoire central CAB, tandis que les analyses rhéologiques ont été menées au niveau de laboratoire d'analyses industrielles et génie des matériaux LAIGM de l'université de Guelma.

Ce chapitre présente les différentes méthodologies de mesures et d'analyses qui ont été utilisées dans l'ensemble des travaux expérimentaux.

IV.1. Analyses physico-chimiques

Plusieurs paramètres physico-chimiques ont été mesurés : le poids, la température, le Brix, le pH, la couleur, la viscosité et l'acidité, suivant la norme AFNOR (Association française de normalisation) ou la norme algérienne.

IV.1.1. Détermination du poids

Les quantités de remplissage pour le conditionnement de tomate sont régies par des réglementations strictes. Pour se conformer à ces réglementations, les quantités de remplissage ne doivent pas être inférieures à une valeur minimale spécifiée. La mesure du poids permet de vérifier si le remplissage a été fait convenablement. Elle s'applique sur le produit fini, à l'aide d'une balance préalablement tarée avec une boîte vide.



Figure IV.1: Mesure de poids.

IV.1.2. Détermination de la température

On mesure la température du produit fini après l'ouverture d'une boîte de tomate où la sonde d'un thermomètre est insérée au centre du produit à analyser et la valeur de la température est notée après stabilisation.



Figure IV.2: Mesure de la température.

IV.1.3. Détermination du pH

Le potentiel Hydrogène exprime si la tomate est acide ou alcaline, il représente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de la tomate. Il définit en outre l'appartenance du produit aux différentes catégories de conserves classées selon le pH. Le pH de la tomate en double concentré mesuré à la température de 20°C à l'aide d'un pH-mètre doit se situer entre 4,0 et 4,50. Selon la norme de la conserve alimentaire d'origine végétale, les valeurs de pH ne doivent pas dépasser 4,5.



Figure IV.3: Mesure du pH.

IV.1.4. Détermination du degré Brix

Le degré Brix est la mesure de la matière sèche soluble (la teneur en sucre des concentrés de tomates) qui celle-ci s'exprime en pourcentage. Il est mesuré à l'aide d'un réfractomètre (LR01) qui détermine l'indice de réfraction de la lumière traversant l'échantillon à analyser.

➤ **Mode opératoire**

- Dans un bécher, homogénéiser le jus ou la pâte de tomate à l'aide d'une spatule.
- Etalonner le réfractomètre avec l'eau distillée.
- Mettre sur la plaque de l'instrument du réfractomètre une petite quantité de l'échantillon (produit fini).
- Cliquer sur la touche 'entrée'.
- Attendre 15 secondes, lire la valeur de Brix sur l'appareil.
- Répéter cette opération trois fois.
- Nettoyer le réfractomètre avec de l'eau distillée après chaque lecture pour s'assurer qu'aucune particule ne reste sur la plaque de l'appareil.



Figure IV.4: Procédé de détermination du Brix par réfractomètre.

IV.1.5. Détermination de la viscosité

Les mesures de la viscosité sont effectuées grâce au consistomètre de Bostwick, qui est une cuve rectangulaire contenant deux sections, une petite section pour vider le produit à évaluer (pâte de tomate) et une grande section contenant des graduations avec des graduations de 0,5 cm pour lire la distance parcourue par le produit.

Le consistomètre est spécialement conçu pour les denrées alimentaires, il détermine la consistance des matériaux visqueux et fluides de comportement intermédiaire entre les corps de Bingham et les fluides pseudo-plastiques. Il détermine leur consistance par mesure de la distance parcourue sous leur propre poids dans un temps donné [1].

➤ Mode Opératoire

- Diluer une certaine quantité de double concentré de tomate dans un bêcher à 12,5%.
- Chauffer pendant 10 minutes puis rajouter de l'eau distillée.
- La température doit être à $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Mettre en marche le chronomètre lorsque la porte qui sépare les deux sections est ouverte pendant une durée de 30 s,
- Lire la distance parcourue par l'échantillon durant cette période. Les valeurs sont exprimées en cm Bostwick.
- Nettoyer le consistomètre et sécher convenablement l'appareil avant de le réutiliser.

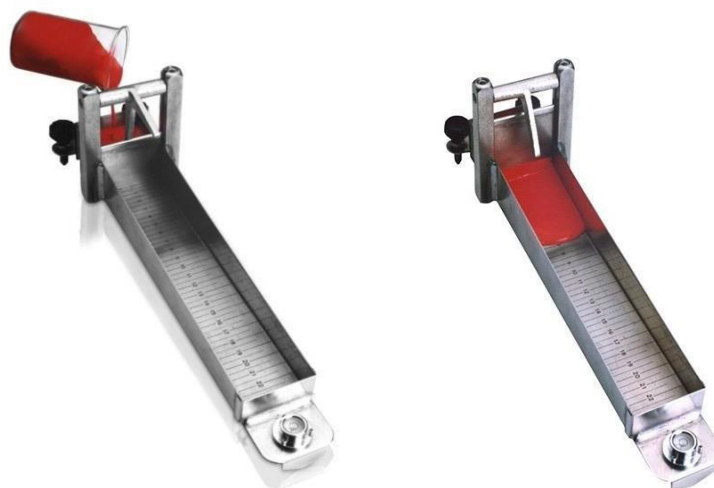


Figure IV.5: Mesure de la viscosité par Consistomètre de Bostwick.

IV.1.6. Détermination de l'acidité

Cette mesure permet la détermination de la quantité d'acides présents dans les produits à analyser (acidité naturelle et acidité développée), reflétant ainsi les composés acides d'une solution. L'acidité nous renseigne sur l'état du produit : sur la gravité des altérations microbiologiques. Le but de cette analyse est de mesurer approximativement la teneur totale du produit en acide naturel par un dosage basique avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1M.

➤ Mode opératoire

- Peser 10 g de concentré de tomate dans un bécher,
- Y ajouter 100 ml d'eau distillée,
- Mettre sous l'agitation jusqu'à homogénéisation,
- Ajuster à 250 ml avec de l'eau distillée refroidie et agiter puis filtrer,
- Prélever 50 ml de filtrat, mettre dans un bécher de 1 litre,
- Diluer avec 300 ml de l'eau distillée et agiter le mélange,
- Grâce à un pH-mètre, faite la lecture de pH en même temps que la titration avec la soude (NaOH) jusqu'à la valeur 8,10. Noter le volume de NaOH versé V,
- L'acidité est déterminée par la formule suivante ;

$$\text{Acidité} = (1400 \cdot V) / (50 \cdot \text{Brix})$$



Figure IV.6: Filtration et titration de la solution tomate-eau distillée.

IV.1.7. Détermination de la couleur

La détermination de la couleur s'effectue par un spectrophotomètre. Selon le principe de base de la colorimétrie, l'ensemble des couleurs peut être représenté sous la forme d'un espace colorimétrique à 3 dimensions, où chaque couleur est définie par 3 paramètres indépendants [2].

La couleur peut être définie par :

- ✓ L'indice de luminance L^* : variant de 0% à 100% représentant le noir et le blanc respectivement.
- ✓ L'indice de jaune b^* : sa valeur 0 correspond à une couleur neutre entre le jaune et le bleu.
- ✓ L'indice de rouge a^* : la valeur positive de a^* représente la quantité de rougeur de la couleur de piments, alors que la valeur négative représente la quantité de verdeur (couleur verte).

La couleur d'espace est basée sur la perception visuelle humaine de couleurs complémentaires par conséquent, lorsque les valeurs de L^* et de a^* augmentent, la couleur perçue devient plus claire et plus rouge respectivement [2].

➤ Mode Opératoire

- Préparer une solution mère de DCT à 12,5 % et mesurer le poids.
- Calculer la quantité de l'eau distillée qu'il faut ajouter au mélange par cette formule :

$$(Poids * Brix) / (12,5 - Poids)$$

- Ajouter l'eau distillée et agiter bien.
- Remplir le porte échantillon à deux trières (2/3) de son volume.
- Cliquer sur le bouton ALLER de colorimétrie.
- Prendre les résultats de la couleur

a : la teneur de tomate en pigment rouge.

b : la teneur de tomate en pigment jaune.

a/b : la couleur de tomate (pigments rouges / pigments jaune).

L : luminosité de tomate.



Figure IV.7: Détermination de la couleur de tomate par Spectrophotomètre.

IV.2. Contrôle qualité de la tomate

Il portera sur les caractères physiques, organoleptiques et chimiques d'une part et d'autre part sur la stabilité et la qualité du serti.

IV.2.1. Contrôle de sertissage

Pendant la pasteurisation, si le serti est mal fait, la pâte de tomate sortira de la boîte. Il s'agit bien d'un critère de contrôle. On peut aussi observer le même phénomène durant la trempe (différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur). Sinon, on peut supposer que le serti est bon. Cependant, on ne peut rien dire si cela va durer plus longtemps ^[4].

IV.2.2. Contrôle de la stabilité

Il est essentiel de conserver des échantillons de chaque production au laboratoire et de les surveiller un peu plus longtemps. Si la boîte n'est pas rouillée, il sera conclu que le contenu est en bon état. Pour le contrôle des propriétés du concentré, il faut également vérifier :

Il est nécessaire de conserver des échantillons de chaque production au laboratoire et de les contrôler pendant une période assez longue. Si la boîte n'est pas rouillée alors l'échantillon est en bon état. Pour les contrôles des caractéristiques du concentré, il faut aussi vérifier :

- La couleur : rouge,
- La texture et la consistance,
- Le taux d'impureté,

- La saveur et l'arôme,
- La teneur en sucres, vitamines et minéraux,
- L'acidité,

Il s'agira de comparer ces valeurs aux normes

➤ **Mode opératoire**

Prendre 3 boîtes de la même série

- ✓ La première comme un témoin à la température ambiante.
- ✓ La deuxième, étuvé à 37°C.
- ✓ La troisième, étuvé à 55°C.

Laisser les boîtes 7 jours dans leur étuve.

Le 8^{ème} jour, comparer le pH des boîtes étuvés avec celui du témoin, si la variation de pH est supérieure à 0,5 unités, cela indique la présence d'une activité bactérienne.



Figure IV.8: Contrôle de stabilité (Étuve de 37° et 55°).

IV.3. Analyses rhéologiques

Les analyses rhéologiques sont effectuées au niveau de laboratoire LAIGM, l'outil de mesure utilisé est un rhéomètre de type Bohlin CVO. Ce rhéomètre possède une enceinte thermorégulée et permet la réalisation d'essais soit en rotation simple, soit en oscillation. Lors d'une mesure, le module du rhéomètre enregistre la contrainte de cisaillement, en Pa, c'est-à-dire la résistance qu'exerce le matériau pour sa mise en mouvement à une certaine vitesse, convertie

En gradient ou vitesse de cisaillement, en s^{-1} . Pour les essais en rotation, cette contrainte est traduite en viscosité, par la loi de Newton. Pour les essais en oscillation, cette contrainte est traduite en module de perte G'' et en module de stockage G' . Le module de perte G'' caractérise le comportement visqueux (liquide) tandis que le module de stockage G' caractérise le comportement élastique (solide), c'est-à-dire la rigidité du matériau viscoélastique^[4].

IV.3. Mesures rhéologiques

Un rhéomètre est plus sophistiqué qu'un viscosimètre, ses modèles permettent de déterminer les grandeurs rhéologiques intrinsèques de la matière, qui dépendent notamment du temps (ou de la vitesse angulaire ω) et de la température. Le rhéomètre permet de mesurer :

- ❖ La viscosité dynamique, η , en fonction du taux de cisaillement (tracé de la courbe de viscosité), de la température, du temps, etc. ;
- ❖ La contrainte tangentielle τ en fonction du taux de cisaillement (courbe d'écoulement) ; en mode oscillation (essai dynamique) :
- ❖ Le modules de conservation G' et de perte G'' .

Les mesures rhéologiques permettent de décrire le comportement de l'échantillon à l'état liquide (plus ou moins visqueux) ou pâteux, à la limite du solide et d'étudier l'effet des propriétés des particules d'une suspension sur les propriétés rhéologiques^[5].

IV.3.2. Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux utilisés dans les analyses rhéologiques (figure IV.9) sont les suivants :

➤ **Rhéomètre Bohlin CVO** : est un rhéomètre de type Cône/Plan en titane de 40mm de diamètre, et un angle de 4° , le plan inférieur est fixe (stator), la géométrie supérieure tourne (rotor) ou oscille à une faible distance, l'échantillon en faible quantité remplissant le volume de mesure. Ce rhéomètre rotatif mesure la résistance de l'échantillon entre le rotor et le stator.

- **Compresseur** : un dispositif électrique qui sert à comprimer le gaz.
- **Régulateur (unité de chaleur Peltier)** : un instrument pour contrôler la température.
- **Un logiciel** permet la programmation et le contrôle des paramètres d'essai [valeur de l'entrefer, déformation, temps, fréquence, isotherme, paliers, rampe ou profil de température (association de rampes et de paliers), contrainte de cisaillement ou gradient de vitesse dans le fluide, etc.], la sauvegarde et le traitement des données.



Figure IV. 9 : Dispositif expérimental de l'étude rhéologique.

IV.3.3. Principe de rhéomètre

Le rhéomètre Bohlin CVO c'est un rhéomètre rotatif, la gamme de gradients de vitesse accessibles avec cet appareil est comprise entre $0,0716$ et 5012 s^{-1} pour la géométrie cône-plan dont nous disposons. Pour le mode oscillatoire, il permet de travailler dans une gamme de fréquence entre 10^{-5} et 100 Hz .

Les spécifications techniques du rhéomètre sont :

- Déformation : $1,432 \cdot 10^{-5}$ - $1,432 \cdot 10^{10}$.
- Contrainte : 10^{-4} à 300 rad.s^{-1}
- Fréquence d'oscillation : $7,5 \cdot 10^{-7}$ à 628 rad.s^{-1}
- Contrôle de la température : -180°C à 550°C

Le principe de rhéomètre comporte les étapes suivantes :

- **Démarrage**
 - ✓ Allumer le compresseur jusqu'à atteindre 3bar.
 - ✓ Allumer l'unité de chaleur Peltier.
 - ✓ Allumer le PC.
 - ✓ Allumer le rhéomètre.
 - ✓ Placer la géométrie (cône $40/4^\circ$) sur le rhéomètre.
- **Initialisation**

Pour initialiser l'appareil on suit les étapes suivantes (l'initialisation doit se faire à chaque utilisation de l'appareil) :

- ✓ Appuyer sur la touche zéro et appuyer la flèche ‘bas’ jusqu’à s’afficher 0000 comme Gapsize.
- ✓ Appuyer ensuite sur la flèche ‘haut’.
- **Mettre l’échantillon**
- ✓ Placer l’échantillon sur la surface plane, a une quantité qui ne doit pas dépasser la surface de la géométrie utilisée et pas moins.
- ✓ Appuyer sur la flèche bas jusqu’à ce que s’affiche 150 sur le Gap size, puis utiliser le logiciel pour démarrer l’essai.

Références bibliographiques

- [1] Site web, « <http://www.djamiatic.net/tomate/Cours/cours15.htm> », (consulté 125/05/2022).
- [2] **Moëvi I**, « Le point sur la couleur de la viande bovine », NTERBEV : 149, rue de Bercy – 75595 Paris, 2006, 113p.
- [3] **Yousfi M**, « Développement de la technologie agro-alimentaire dans la région de Touat, cas de la conserverie de tomate de Reggane », Master de l'Université Africaine Ahmed Draia Adrar, 2018.
- [4] **Dominique D, Alain P**, « Mesure de la viscosité-viscosimètres et rhéomètres », techniques de l'ingénieur, 2021.
- [5] **El Kissi N, Nigen S, Pignon F**, « Glissement et rhéométrie », journal Rhéologie, Vol.10,13-39 (2006).

Chapitre V :

Résultats et Discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des analyses physico-chimiques sur le concentré de tomate qui sont effectués au niveau de l'industrie CAB, ainsi que des résultats d'analyses rhéologiques sur les trois variétés de tomate CAB (simple, double et triple concentrée) qui sont effectuées au niveau de laboratoire LAIGM.

V.1. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur cinq échantillons de la purée de tomate de type double concentrée. Celles-ci permettent d'apprécier la qualité des produits à travers les paramètres : le Potentiel d'Hydrogène (pH), le taux de matière sèche, la couleur, la viscosité et l'acidité.

V.1.1. Poids

Les résultats des poids des cinq échantillons analysés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1: Résultats du poids.

Échantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Intervalle D'acceptation
Poids(g)	401,1	400	398	402,1	401	390-410

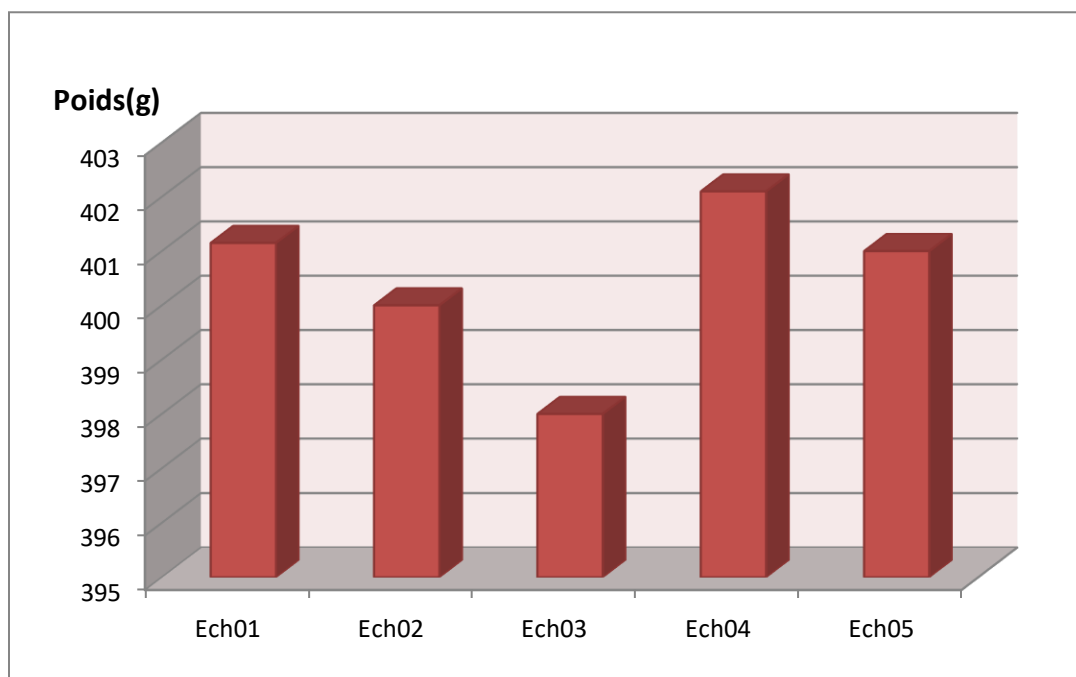


Figure V.1: Histogramme des poids des échantillons analysés.

Selon les résultats obtenus, les poids des cinq échantillons sont acceptables et le remplissage des produits finis a été fait convenablement. Ce qui signifie que le concentré de tomate conforme aux réglementations de remplissage.

V.1.2. PH

Le pH joue un rôle essentiel dans l'évaluation de la qualité organoleptique des tomates, ce paramètre est mesuré à une température ambiante de 22°C. Les pH qui ont été mesurés pour les cinq échantillons analysés, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.2: Résultats du PH des échantillons analysés.

Échantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Norme
PH	4,14	4,16	4,15	4,14	4,04	$\leq 4,5$

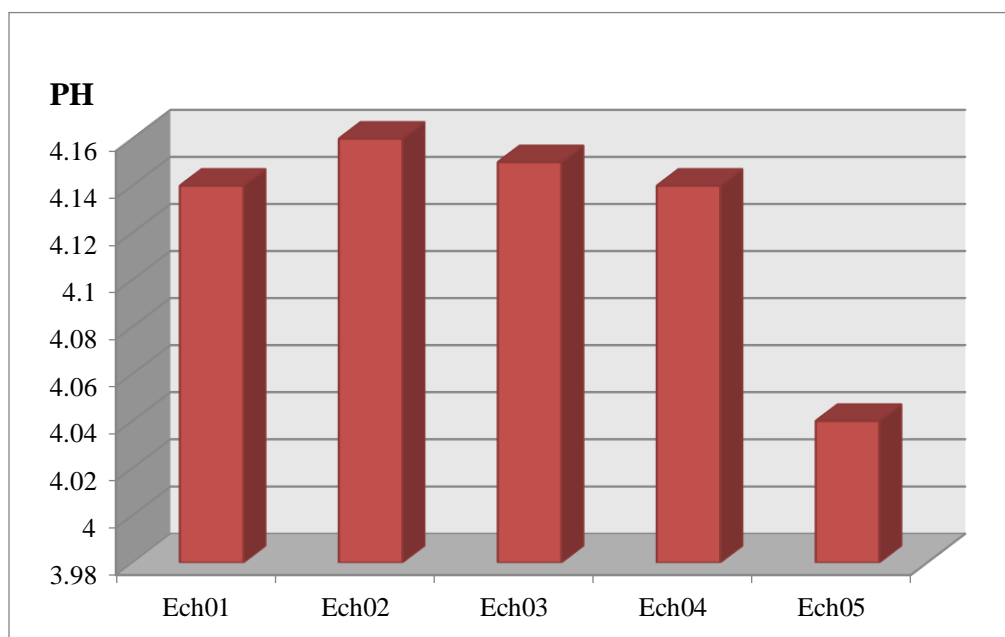


Figure V.2: Histogramme de PH des échantillons analysés.

D'après les résultats obtenus, les valeurs de pH de cinq échantillons de concentré de tomate sont variées entre (4,04 – 4,14), ces teneurs sont conformes à la norme française (NF ISO 11289) qui exige un $\text{pH} \leq 4,50$. Une légère différence de pH a été notée entre les différents échantillons, cela est probablement lié au stade de maturation et des variétés de tomate utilisées lors de la transformation.

Le pH des tomates relativement faible ($\text{pH} < 4,5$) est un avantage du point de vue de la stabilité. En effet, ce niveau inférieur de pH réduit considérablement le taux et la gamme de micro-organismes pouvant se développer sur le produit.

V.1.3. Brix

C'est le paramètre le plus important dans les analyses physico-chimiques de la tomate concentrée, il représente le pourcentage de concentration en jus de tomate. Nous avons mesuré le Brix pour cinq échantillons à une température comprise entre 20 et 22°C. Les résultats du Brix des échantillons sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3: Résultats du Brix des échantillons analysés.

Échantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Norme
Brix (%)	22,6	22,29	21,41	22	21,7	22

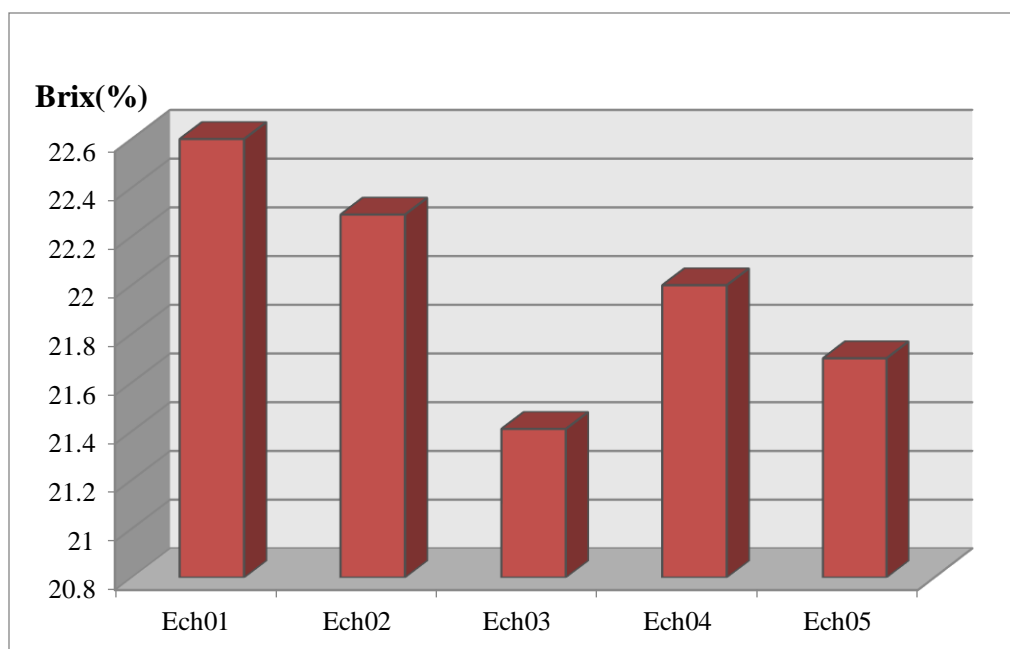


Figure V.3: Histogramme du Brix des échantillons analysés.

Le Brix est un paramètre clé, son rôle est de préciser le type de concentré de tomate, la lecture de l'histogramme montre que les Brix mesurés pour les cinq échantillons analysés sont proches à la norme, ces teneurs sont alors acceptables. Cette légère différence entre chaque échantillon à l'autre est peut-être due aux conditions de stockage non-identiques tandis que la chaîne de fabrication de la purée de tomate n'affecte pas le taux de la matière sèche.

L'échantillon numéro 1 est le plus qualifié à cause de leur valeur élevée de Brix. Ceci est un signe de goût et de qualité, plus son taux est élevé, plus l'échantillon est sucré.

V.1.4. Couleur

La couleur de cinq échantillons (produit final obtenu) a été représentée par le rapport a/b (la couleur rouge/la couleur jaune) dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.4: Les valeurs de rapport a/b.

Echantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Normes
Couleur (a/b)	1,83	1,79	1,84	1,75	1,81	1,75-1,85

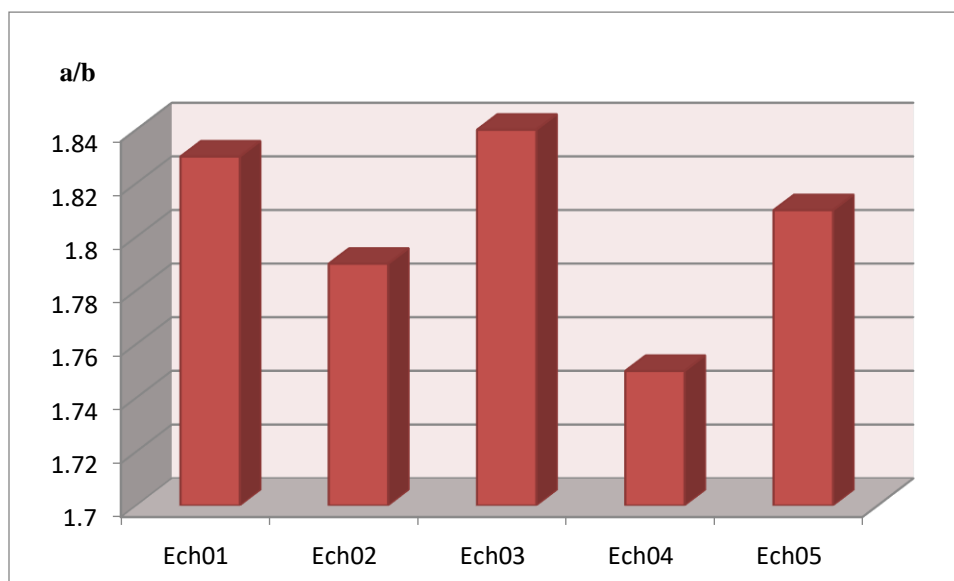


Figure V.4: Histogramme de la couleur des échantillons analysés.

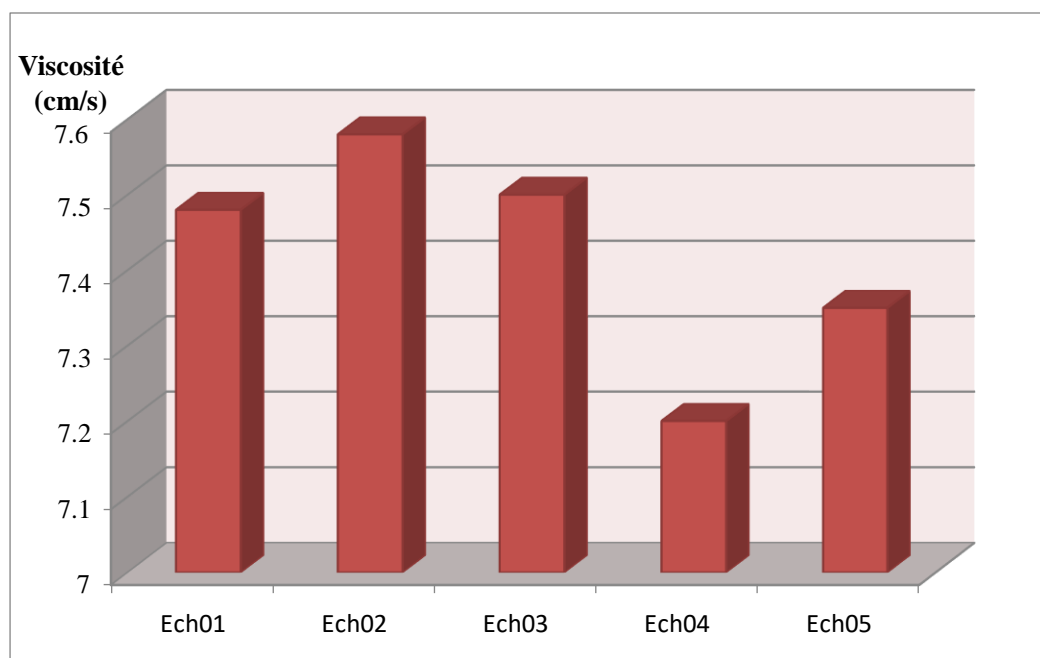
Ce paramètre organoleptique est précisé par le rapport a/b, les résultats obtenus montrent que la couleur des cinq échantillons du produit fini est conforme par rapport à la valeur exigée par la norme algérienne adoptée pour les conserves alimentaires. En effet, la couleur de la tomate est le critère de choix le plus déterminant. C'est le paramètre qui oriente le choix d'une purée parmi un lot.

V.1.5. Viscosité

La viscosité est un facteur technologique important qui est en relation avec la teneur des fruits en substances insolubles dans l'alcool : protéines, pectines, polysaccharides. Les résultats de la viscosité des cinq échantillons sont représentés dans le tableau V.5.

Tableau V.5: Résultats de la viscosité des échantillons analysés.

Echantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Norme
Viscosité (cm/s)	7,48	7,58	7,5	7,2	7,35	7-8

**Figure V.5: Histogramme de la viscosité des échantillons analysés.**

Les mesures obtenues des cinq produits finis sont acceptables (7,2 – 7,58) et conformes aux normes (7 - 8). La variation de la viscosité influe sur la qualité du produit fini, ses mesures sont réalisées pour déterminer un paramètre technologique très important, c'est la consistance de la purée de tomate.

V.1.6. Acidité

L'acidité est la teneur totale en acides organiques naturels, est un paramètre de qualité de la purée de tomate, les résultats de l'acidité des cinq échantillons analysés sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.6: Résultats de l'Acidité des échantillons analysés.

Échantillon	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Norme
Acidité (%)	5,37	6,3	7,2	6,8	6,36	<10

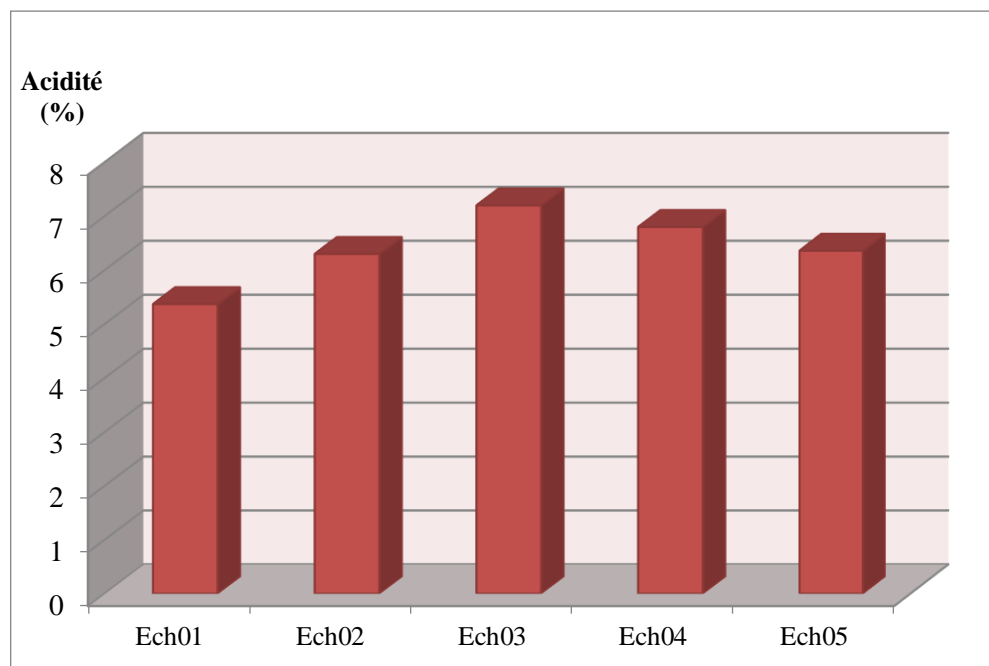


Figure V.6: Histogramme de l'acidité des échantillons analysés.

Nous remarquons, que les résultats obtenus pour les cinq échantillons du concentré de tomate sont variés entre 5,37 à 7,2 %. Ces résultats sont conformes aux normes Algériennes qui exigent que l'acidité du concentré de tomate maximale soit égale à 10%.

L'échantillon 01 montre une teneur en acidité inférieure que les autres, cela peut être lié au stade de maturation et des variétés de tomate utilisées lors de la transformation. Le produit reste conforme puisqu'aucune valeur n'est supérieure à 10%.

V.2. Test de stabilité

Après sept jours, les boîtes incubées dans les étuves ont été comparées avec les témoins. Les résultats présentés dans le tableau V.7 montrent qu'il n'y a aucun changement d'odeur et de couleur, ni modification dans l'emballage (bombage, fuitage ou flochage), cela signifie l'absence des *Clostridium sulfito-réducteurs* qui sont responsables du bombage des boîtes et d'odeur. Ainsi que les valeurs de pH obtenues sont comprises entre 0,01 à 0,04 unités. On conclure que le produit pourra donc être livré à la commercialisation, sans être soumis à des analyses microbiologiques.

Tableau V.7: Résultats du test de stabilité.

Déformation d'emballage	Modification d'odeur et de couleur	Flochage	Fuitage	Bombage	Le poids(g)	pH
Témoin 1 à 25°C	Abs	Abs	Abs	Abs	400	4,19
Témoin 2 à 25°C	Abs	Abs	Abs	Abs	403	4,18
Boite 1 à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs	402	4,16
Boite 2 à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs	398	4,17
Boite 1 à 55°C	Abs	Abs	Abs	Abs	401	4,15
Boite 2 à 55°C	Abs	Abs	Abs	Abs	395	4,16
Variation du pH	Boite à 37°C/Témoin à 25°C : 0,03 Boite à 55°C/ Témoin à 25°C : 0,04				-	Normes < 0,5

V.3. Comportement rhéologique de la purée de tomate

Nous présentons dans cette partie une étude des caractéristiques rhéologiques de la purée de tomate dans les deux régimes permanent et oscillatoire.

V.3.1. Régime permanent

Dans ce régime, nous avons précisé le comportement rhéologique de la tomate d'après l'étude des courbes d'écoulement et d'évolution de la viscosité en fonction du gradient de vitesse. L'effet de la concentration des trois variétés de tomate (simple, double et triple concentrée) ainsi que l'effet de la température sur les caractéristiques de la purée de tomate sont aussi présentés dans cette partie.

V.3.1.1. Évolution de la viscosité et de la contrainte

Le rhéogramme suivant présente l'évolution de la viscosité de tomate et de la contrainte appliquée en fonction de la vitesse de cisaillement. Cet essai est réalisé dans les conditions suivantes : $T=25^{\circ}\text{C}$ et $\dot{\gamma}$ variée entre $[0,07-50 \text{ s}^{-1}]$.

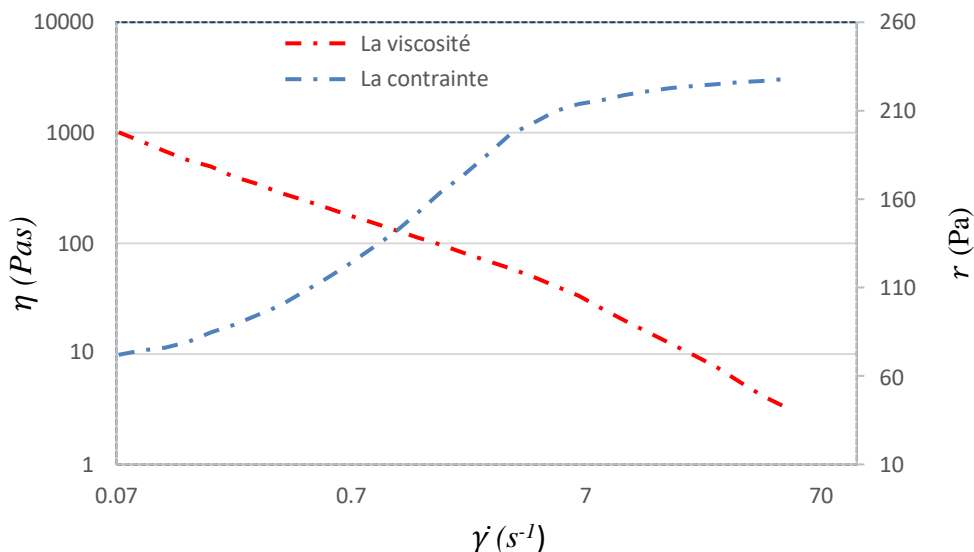


Figure V.7: La viscosité et la contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement.

Les résultats de ce rhéogramme montrent que :

- La viscosité de la purée de tomate n'est pas constante, elle est dépendue de la vitesse d'écoulement. Il est possible de définir une viscosité équivalente pour chaque valeur de la γ : celle-ci est le rapport de la contrainte à la vitesse de déformation. La viscosité décroît très significativement, ce qui correspond à une diminution de la densité des enchevêtrements entre les chaînes macromoléculaires de la tomate.
- La purée de tomate est caractérisée par une évolution non linéaire de la contrainte en fonction de la vitesse de cisaillement.

Les résultats ont indiqué que la purée de tomate se comporte comme un fluide non newtonien pseudoplastique.

V.3.1.2. Effet de la concentration sur la viscosité

L'évolution de la viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement pour les trois variétés de tomate (simple, double et triple concentrée) est représentée sur le rhéogramme suivant.

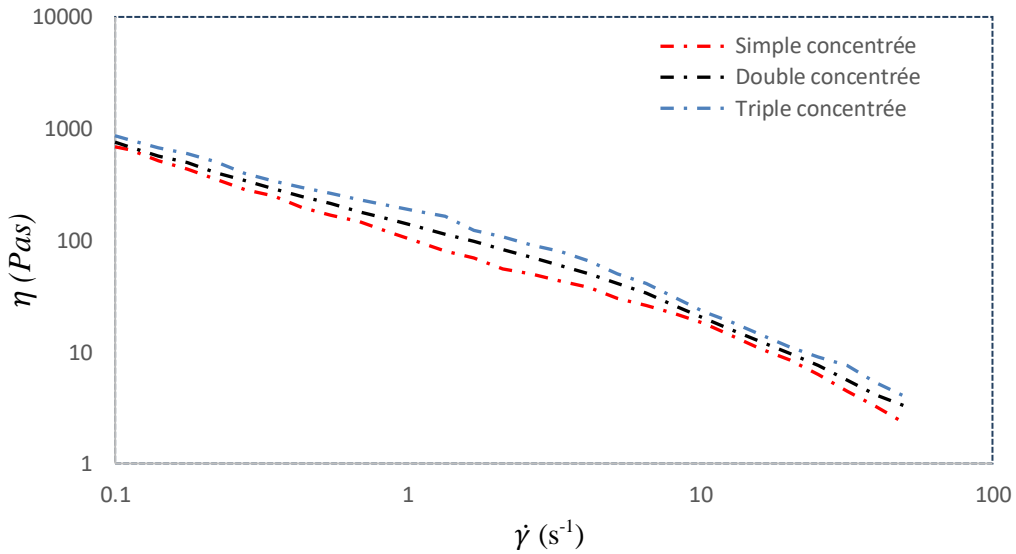


Figure V.8: l'évolution de la viscosité de différentes variétés de tomate.

Ce rhéogramme montre l'effet de la concentration sur la viscosité de la tomate, tel que l'amélioration de viscosité résulte d'une augmentation de la concentration. Et on comprend aisément que la pseudoplasticité est d'autant plus marquée quelle que soit la concentration.

V.3.1.3. Effet de la température sur la viscosité

La figure ci-dessous montre l'effet de la température sur la viscosité de la purée de tomate.

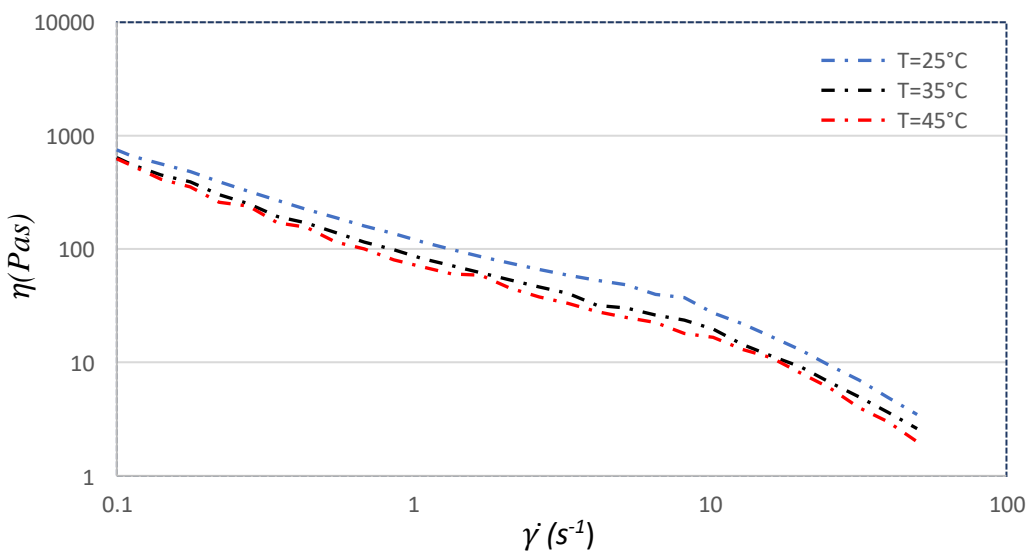


Figure V.9: Effet de la température sur la viscosité.

D'après ce rhéogramme l'augmentation de la température indiquant une diminution de la viscosité. Des résultats similaires ont également été rapportés par Sharoba et al. (2005). Ces résultats ont également confirmé l'observation obtenue par Ibarz et al. (1996), qui ont rapporté que la température avait un effet important sur la consistance de la tomate. Les rhéogrammes de la viscosité montrent clairement le caractère pseudo-plastique non newtonien de la purée de tomate quelle que soit la température. En outre, on peut observer que les courbes d'évolution de la viscosité présentent des tendances similaires pour toutes les températures d'essai.

V.3.2. Régime oscillatoire

Pour étudier la nature viscoélastique de la purée de tomate, deux paramètres ont été mesurés: le module élastique (G') et le module visqueux (G''). Le terme de module élastique (G') indique la capacité du matériau à stocker l'énergie, tandis que le terme de module visqueux (G'') indique la capacité du matériau à dissiper l'énergie qui a été utilisée par la suite pendant l'écoulement. Les tests dynamiques commencent avec un balayage en déformation pour déterminer la plage viscoélastique linéaire, puis d'autres tests peuvent être utilisés pour déterminer les caractéristiques supplémentaires du comportement viscoélastique.

V.3.2.1. Balayage en déformation

Nous représentons sur le rhéogramme suivant (figure V.10) la variation des modules (G') et (G'') en fonction de la déformation.

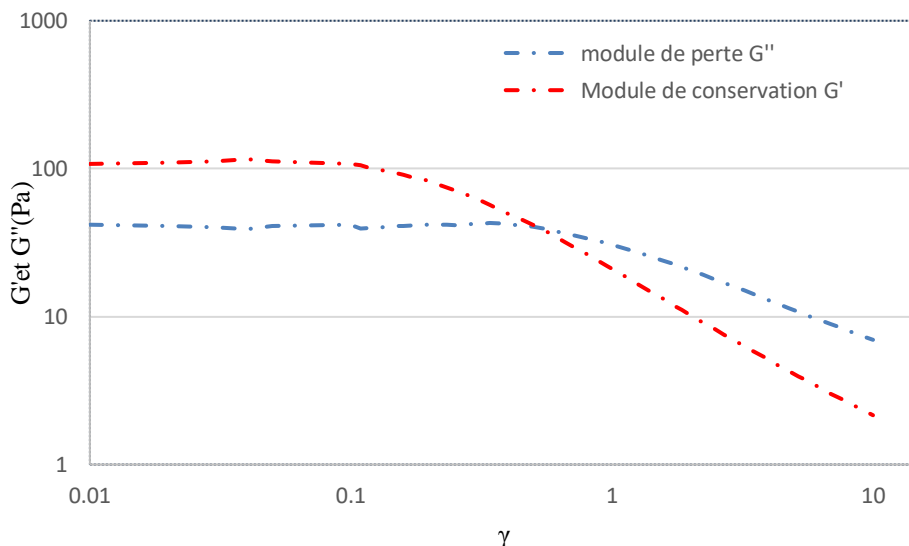


Figure V.10: Le module G' et G'' en fonction de la déformation.

On constate que les modules (G') et (G'') sont indépendants de la déformation sur la plage du balayage en déformation entre [0,01-0,12] et le module élastique est prédominant dans cette zone. Une augmentation supplémentaire de la déformation entraîne une diminution à la fois de G' et de G'' jusqu'à $\sim 0,19$; au-dessus de laquelle (c'est-à-dire au-dessus d'une déformation élastique) les deux modules chutent précipitamment (indiquant une caractéristique d'amincissement) et le comportement devient visqueux.

V.3.2.2. Balayage en fréquence

Dans la zone de linéarité entre G' et G'' la contrainte est égale à 1Pa. L'essai de balayage en fréquence doit être effectué à cette valeur de contrainte afin d'éviter les conditions du viscoélastique non linéaire et à un intervalle de fréquence entre [0,5Hz - 10Hz].

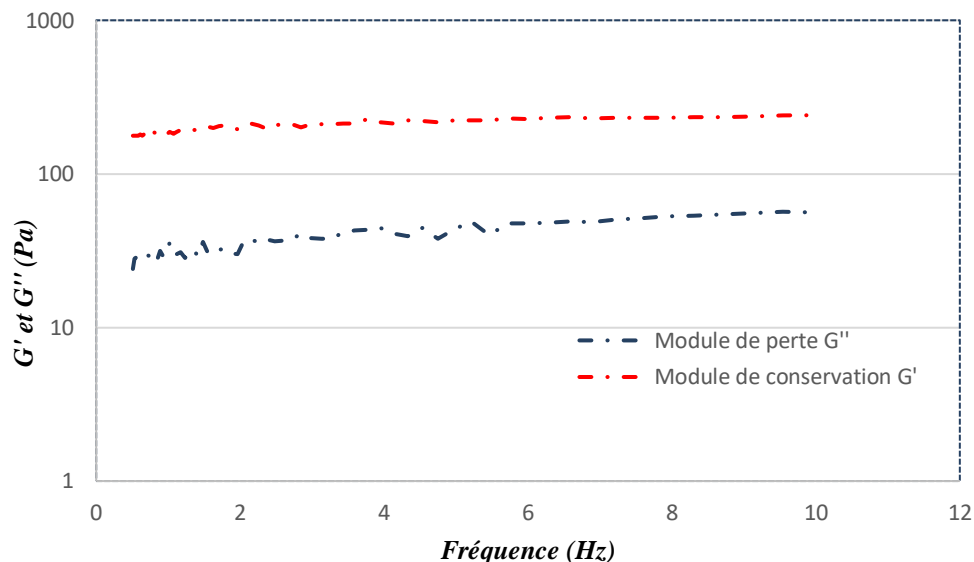


Figure V.11 : Le module G' et G'' en fonction de la fréquence.

L'analyse des résultats des mesures montrent que le module élastique (G') atteint des valeurs plus élevées que les valeurs du module visqueux (G'') et pendant toute la plage de la fréquence testée ; l'échantillon de la purée de tomate présente un comportement purement élastique ; (G'') négligeable par rapport au (G').

V.3.2.3. Stabilité de la purée de tomate au stockage

Les produits alimentaires tels que la purée de tomate et ses dérivés s'ils ne sont pas correctement formulés, ont une mauvaise stabilité au stockage. Les tests rhéologiques peuvent évaluer cette stabilité. Dans les conserves alimentaires en particulier, la tomate, la structure sous-jacente est ce qui maintient la stabilité du produit contre la sédimentation ou la séparation. Le module de conservation G' de tomate représente un bon indice de son caractère solide qui découle de la structure du réseau.

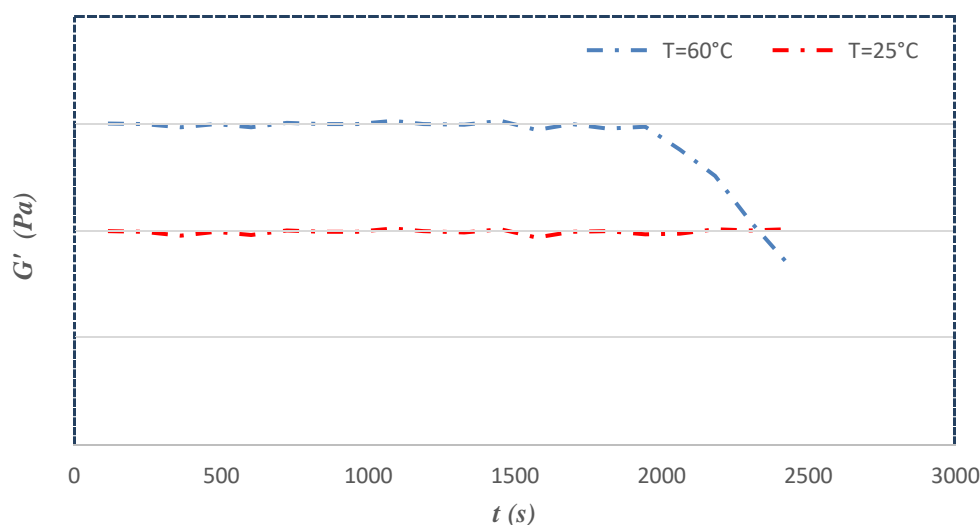


Figure V.12 : La stabilité de la tomate à travers le module G' (fréq=1Hz et $\tau=0,1\text{Pa}$).

La mesure de G' en fonction du temps à une température élevée fournit une méthode simple pour juger de la stabilité de tomate. Les résultats présentés dans la figure V.12 montrent que la tomate est présentée une bonne stabilité à une température $T=25^{\circ}\text{C}$ et une mauvaise stabilité à 60°C à partir de 33 min.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude s'est portée sur l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques de la purée de tomate locale (CAB). Nous avons présenté dans ce projet les analyses expérimentales afin de suivre les étapes de production de tomate et d'apprécier leur qualité et leur conformité aux normes exigées aux visant à satisfaire le consommateur et à assurer une meilleure compétitivité sur le marché.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées au niveau de laboratoire de l'industrie CAB montrent que le concentré de tomate est conforme aux normes requises ; le poids est approprié aux réglementations de remplissage, le pH des tomates est relativement faible ($\text{pH} < 4,5$) qui assure leur stabilité avec une teneur en matière sèche (degré de Brix) de 20%, l'étude colorimétrique montre que la tomate CAB a un éclat et couleur acceptables ainsi que l'acidité et la viscosité sont appropriés.

Les résultats de test de stabilité de la tomate montrent que ce produit pourra être livré à la commercialisation, sans être soumis à des analyses microbiologiques.

Les tests rhéologiques réalisés caractérisent, en fonction des conditions expérimentales, le comportement rhéologique de la tomate. Les résultats de ces analyses nous ont permis de conclure un ensemble d'appréciations sur le caractère de la purée de, à savoir :

- La viscosité de la purée de tomate n'est pas constante, elle est dépendue de la vitesse d'écoulement.
- La contrainte évoluée non linéairement en fonction de la vitesse de cisaillement.
- La purée de tomate se comporte comme un fluide non newtonien pseudoplastique.
- L'augmentation de la concentration améliore la viscosité de tomate.
- La viscosité dépend fondamentalement de la température de la tomate, elle est diminuée avec l'augmentation de la température (plus la température est élevée, plus l'agitation moléculaire est grande, moins la tomate oppose de résistance).
- Le module de perte (G'') négligeable par rapport au module de stockage (G') ce qui indique que L'échantillon de la purée de tomate présente un comportement purement élastique.
- La mesure de G' en fonction du temps à une température élevée fournit une méthode simple pour juger de la stabilité de tomate.

L'ensemble des résultats des analyses physico-chimiques ont affirmé la bonne qualité et la conformité du concentré de tomate aux normes algériennes et internationales et sont

Identiques aux valeurs de la littérature. Tandis que la caractérisation des propriétés rhéologiques de la tomate revêt une importance croissante pour son évaluation de la qualité, la prédiction de son comportement pendant leur traitement et pour le respect des exigences de stockage et de stabilité.

Résumé

Dans cette étude, notre choix du thème s'est porté sur une des denrées alimentaires trop demandées par le consommateur qui est « la tomate » sous forme de conserve. Dans ce contexte, on s'est basé sur l'évaluation des caractéristiques physico-chimique et rhéologiques de tomate à travers les paramètres : le Potentiel d'Hydrogène (pH), le taux de matière sèche, la couleur, la viscosité et l'acidité, la contrainte et les modules de perte et de conservation, qui affirment clairement la conformité de tomate CAB par rapport aux normes exigées et sa stabilité et apprécié son comportement mécanique.

Mots clés : purée de tomate, analyses physico-chimiques, rhéologie, Brix.

abstract

In this study, our choice of theme fell on one of the foodstuffs in high demand by the consumer, which is the tomato in canned form. In this context, we based ourselves on evaluation of the physio-chemical and rheological characteristics of tomato through the parameters: the Hydrogen Potential (pH), the rate of dry residue, the color, the viscosity and the acidity, constraint and the modules of loss and conservation, which clearly affirm the conformity of tomato CAB with respect to the required standards and its stability and appreciated its mechanical behavior.

Keywords: tomato puree, physio-chemical analyses, rheology, Brix.

ملخص

في هذه الدراسة ، وقع اختيارنا للموضوع على إحدى المواد الغذائية التي يرتفع الطلب عليها من قبل المستهلك ، وهي "الطماطم" في شكل معلب. في هذا السياق ، اعتمدنا على تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والريولوجية للطماطم من خلال المعلمات: الرقم الهيدروجيني ، ومعدل المادة الجافة ، واللون ، واللزوجة والحموضة، الإجهاد القيد و مقاييس الحفظ و الضياع، والتي تؤكد بوضوح مطابقة الطماطم للمعايير المطلوبة واستقرارها وتقدير سلوكها الميكانيكي. **الكلمات المفتاحية:** معجون الطماطم ، التحليلات الفيزيائية والكيميائية ، الريولوجيا ، تركيز المادة الجافة.