

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Mémoire du Projet de fin d'étude

2^{ème} Année Master



Département: Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

**Suivi du procédé de production avec analyses
physicochimiques de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
dans la conserverie de CAB et calcul théorique du pK_a de
l'acide ascorbique en tant que vitamine majoritaire**

Présenté par :

BOUSSOUFA Rania

BOUGUERNE Oumayma

Sous la Direction de :

Y.BOULMOKH

Juillet 2021

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 encadreur Mme. **Boulmoukhi.Y**, 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 contrôle de qualité qui nous a suivis, fourni des renseignements et répondu à nos questions durant la période de notre stage.*

Nos remerciements vont également à tous les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.

*Nos sincères remerciements vont à notre enseignante Mme. **Belguidoum.K** pour ses aides et ses conseils.*

Nous remercions tous les enseignants et le personnel du département de génie des procédés.

Enfin nous remercions gracieusement toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce 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 **Fadila**, pour l'affection et l'amour qui ma
Donné, le courage et la force dans les moments les plus difficiles.*

*Mon père **Saadi**, 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 **Chayma, Imen.***

*Mon cher Frère **Sajed.***

*A mon frère décédé **Imad.***

*Ma belle et ma chère binôme **Rania.***

*A ma très chère cousine **Bouthayna.***

A tout ma famille.

*Ma chère tante **Houria.***

*A mes adorables amies **Amira, Bouthayna, Izdihar, Hiba, Yasmine, Meriem.***

*A mes chères collègues **Nora et Bassma.***

A toute ma promotion.

*Et surtout mon plus chère **Zinou.***

Oumayma

Dédicaces

*En premier lieu, je remercie **ALLAH**, pour m'avoir donné la santé, le courage, la force et m'a accordé son soutien durant les périodes les plus difficiles.*

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de gratitude

*À mes chers parents, et surtout **ma mère** pour ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et sa prière durant mon parcours scolaire, Que dieu leurs procure bonne santé et longue vie.*

À mes chères sœurs source de tendresse, de noblesse et d'affection:

Zineb, Rabab et Soumia.

*À mon frère : **Halim.***

*À mes poupées : **Aya, Ranin, Assilet la petite Tawba.***

*Sans oubliée **Ayoub et Adem.***

*À mon chère amie et binôme **Oumayma***

que Dieu la bénisse dans sa vie.

*À mes chères amies : **Meriem, Izdihar, Hibaet Yasmine***

qui ont cru en moi et qui ont toujours encouragé.

*À tous mes enseignants et mes collègues et surtout Mme **BOULMOKH.***

*À la personne la plus chère **Fares.***

Et enfin à ceux et celles qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin je les remercie du fond du cœur.

Rania

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Chapitre I : Composition chimique de la tomate

I.1. Description	5
I.2. Composition chimique	7
I.2.1. Composition organique.....	7
I.2.1.1. Les glucides	7
I.2.1.2. Les vitamines.....	8
I.2.1.2.1. La vitamine A.....	8
I.2.1.2.2. La vitamine B.....	9
I.2.1.2.3. La vitamine C.....	11
I.2.1.2.4. La vitamine E.....	12
I.2.1.2.5. La vitamine K.....	12
I.2.1.3. Les protéides et les lipides	12
I.2.2. Composition minérale	13
I.2.2.1. L'eau	13
I.2.2.2. Les sels minéraux	13
I.2.3. Aperçu générale sur la vitamine C.....	14
I.2.3.1. Propriétés physicochimiques	14
I.2.3.2. Propriétés antioxydantes.....	15
I.2.3.3. Méthodes de caractérisation de la vitamine C.....	15
I.2.3.4. Rôle de la vitamine C dans le corps humain	15
I.2.3.5. Effet de la carence en vitamine C	16
I.2.3.6. Le Scorbut	16

Chapitre II : Procédé de fabrication de la tomate

II.1.1. Récolte.....	18
II.1.2. Réception	18

II.1.3. Lavage	19
II.1.4. Triage.....	19
II.2. Procédé de fabrication	20
II.2.1. Broyage.....	20
II.2.2. Préchauffage	21
II.2.3. Tamisage	21
II.2.4. Concentration.....	22
II.2.5. Pasteurisation.....	22
II.3. Mise en boîtes et conditionnement.....	23
II.3.1. Remplissage et sertissage.....	23
II.3.2. Stérilisation et refroidissement	24
II.3.3. Séchage	25
II.3.4. Etiquetage	25
II.3.5. Mise en carton	25
II.3.6. Stockage	25

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Partie expérimentale	29
III.1.1. Traitement et analyses de l'eau.....	29
III.1.1.1. Traitement de l'eau	29
III.1.1.2. Analyses physico-chimiques de l'eau	30
III.1.1.2.1. Température.....	30
III.1.1.2.2. Aspect.....	30
III.1.1.2.3. Potentiel d'hydrogène pH.....	31
III.1.1.2.4. Conductivité électrique.....	31
III.1.1.2.5. Dureté.....	32
III.1.1.2.6. Dosage des Chlorures.....	33
III.1.1.2.7. Test d'alcalinité (TA et TAC).....	34
III.1.1.2.8. Manganèse	35
III.1.1.2.9. Fer total	36
III.1.1.2.10. Clore libre.....	37
III.1.1.2.11. Turbidité.....	37
III.1.2. Procédés de fabrication et analyse physicochimiques du concentré de tomate...	38
III.1.2.1. Procédé de fabrication de la tomate concentrée	38

III.1.2.2. Analyses physicochimiques de la tomate concentrée	40
III.1.2.2.1. Température.....	40
III.1.2.2.2. poids	40
III.1.2.2.3. Le résidu sec (Brix).....	41
III.1.2.2.4. Potentiel d'hydrogène pH.....	41
III.1.2.2.5. La viscosité	42
III.1.2.2.6. L'acidité.....	43
III.1.2.2.7. Test de stabilité.....	45
III.2. Partie théorique.....	46
III.2.1. Détermination des pK _a s de l'acide ascorbique.....	46
III.2.1.1. Cycle des réactions en phase gazeuse et en phase aqueuse.....	46
III.2.2. Méthode de calcul.....	47
III.2.2.1. La théorie de la fonctionnelle de la densité.....	47
III.2.2.2. Le logiciel GAUSSIAN.....	47
III.2.3. Formules pour la détermination des pK _a s	47

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Partie expérimentale	50
IV.1.1. Analyse de l'eau.....	50
IV.1.2. Analyses physico-chimiques du produit (CT)	51
IV.1.2.1. Le poids	52
IV.1.2.2. Le Brix	52
IV.1.2.3. Potentiel d'hydrogène (pH)	54
IV.1.2.4. La couleur	54
IV.1.2.5. La viscosité	55
IV.1.2.6. L'acidité	56
IV.1.2.7. Test de stabilité	56
IV.1.3. Comparaison de la qualité du produit fini fabriqué de la tomate fraîche et de la tomate stockée.....	58
IV.2. Partie théorique.....	60
IV.2.1. Molécule de l'acide ascorbique	60
Conclusion générale.....	64
Références	

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Fleur de tomate et schéma de la tomate en coupe transversale.....	5
Figure I.2: Diverses formes, tailles et couleurs de la tomate.....	6
Figure I.3: Principaux sucres de la tomate.....	7
Figure I.4: structure chimique de la vitamine A.....	8
Figure I.5: Structure chimique de la vitamine B1.....	9
Figure I.6: Structure chimique de la vitamine B2.....	9
Figure I.7: Structure chimique de la vitamine B3.....	10
Figure I.8: Structure chimique de la vitamine B5.....	10
Figure I.9: Structure chimique de la vitamine B6.....	11
Figure I.10: Structure chimique de la vitamine B9.....	11
Figure I.11: Structure chimique de la vitamine C.....	11
Figure I.12: Structure chimique de la vitamine E.....	12
Figure I.13: Structure chimique de la vitamine K.....	12
Figure I.14: Représentation du système redox : acide ascorbique, radical ascorbique libre et acide déhydroascorbique.....	15

Chapitre II

Figure II.1: Récolte de la tomate.....	18
Figure II.2: Réception.....	19
Figure II.3: Lavage et rinçage.....	19
Figure II.4: Triage automatique et manuel.....	20
Figure II.5: Broyage et découpage.....	20
Figure II.6: Préchauffage.....	21
Figure II.7: Extracteur de jus.....	22
Figure II.8: Evaporateur.....	22
Figure II.9: Pasteurisateur.....	23
Figure II.10: Remplissage et sertissage.....	24

Liste des figures

Figure II.11: Stérilisation et refroidissement.....	25
Figure II.12: Stockage.....	26
<i>Chapitre III</i>	
Figure III.1: Différents produits de la CAB.....	28
Figure III.2: Procédé de clarification de l'eau.....	29
Figure III.3: Procédé de traitement de l'eau destiné à la fabrication de la tomate concentrée.....	30
Figure III.4 : pH-mètre.....	31
Figure III.5: Conductimètre.....	32
Figure III.6: Test de la dureté.....	33
Figure III.7: Dosage des chlorures.....	33
Figure III.8: Dosage d'alcalinité.....	35
Figure III.9: Test du manganèse.....	36
Figure III.10: Test de Fer.....	36
Figure III.11: Test du chlore libre.....	37
Figure III.12: Turbidimètre.....	38
Figure III.13: Etapes préliminaires de fabrication de la tomate concentrée.....	38
Figure III.14: Procédés de transformation de la tomate.....	39
Figure III.15: Phases de conditionnement de la tomate concentrée.....	39
Figure III.16: Lecture de la température.....	40
Figure III.17: Mesure du poids.....	40
Figure III.18: Réfractomètre.....	41
Figure III.19: pH-mètre.....	42
Figure III.20: Consistomètre.....	43
Figure III.20: Titrage de l'acidité.....	44
Figure III.21: Test de stabilité.....	45

Figure III.22: Schéma d'un cycle représentant les réactions d'une molécule en phase gazeuse et en phase aqueuse.....**46**

Chapitre IV

Figure IV.1: Représentation des poids du produit fini.....**51**

Figure IV.2: Représentation du Brix à l'entrée et du produit fini.....**52**

Figure IV.3: Représentation du pH à l'entrée et du produit fini.....**53**

Figure IV.4: Représentation de la viscosité du produit fini.....**55**

Figure IV.5: Représentation de l'acidité du produit fini.....**56**

Figure IV.6: Molécule de l'acide ascorbique avec numérotation.....**60**

Figure IV.7: Molécule de l'acide ascorbique optimisée.....**60**

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Classification systématique de la tomate.....	7
Tableau I.2: Teneurs en composants organiques dans 100 g de tomate.....	13
Tableau I.3: Teneurs en composants minéraux dans 100 g de tomate.....	14

Chapitre IV

Tableau IV.1: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau.....	51
Tableau IV.2: Résultats du poids.....	52
Tableau IV.3 : Résultats du Brix.....	53
Tableau IV.4: Résultats du Ph	54
Tableau IV.5: Résultats de la couleur.....	55
Tableau IV.6: Résultats de la viscosité.....	55
Tableau IV.7: Résultats de l'acidité	56
Tableau IV.8: Pesage des boîtes du concentré de tomate destinées au test de stabilité.....	57
Tableau IV.9: Résultats du test de stabilité	57
Tableau IV.10: Paramètres du jus de tomate	58
Tableau IV.11: Comparaison des paramètres physicochimiques entre tomate fraîche et tomate stockée.....	59
Tableau IV.12: Valeurs des énergies de Gibbs des quatre OHs.....	61
Tableau IV.13: Les variations des énergies de Gibbs et pK_a s des OHs.....	61

Introduction générale

Introduction générale

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cette fameuse création a une place primordiale dans le régime alimentaire des individus à travers le monde, consommée fraîche ou concentrée. C'est une espèce de plante herbacée annuelle de la famille des solanacées, largement cultivée pour son fruit.

Le procédé de fabrication de la tomate concentrée nécessite des opérations depuis sa réception fraîche jusqu'à l'obtention d'un produit fini ayant la qualité requise selon les normes exigées, et cela ne peut être abouti qu'à travers des analyses effectuées sur l'eau et sur le produit avant et après l'étape d'évaporation.

La composition chimique de la tomate comprend essentiellement l'eau, les glucides, les fibres, les vitamines et les sels minéraux.

La vitamine C (l'acide ascorbique) est parmi les vitamines majoritaires, c'est un réducteur très puissant et possède de ce fait un pouvoir antioxydant, qui est au centre de son activité biochimique, en outre le goût acide de la tomate est dû principalement à cet acide.

Vu l'intérêt colossal de cette denrée alimentaire, un thème composé d'une partie expérimentale réalisée à la conserverie CAB sur la tomate concentrée et une autre théorique sur l'acide ascorbique s'est avéré intéressant.

Les objectifs soulignés dans ce travail sont:

- Un suivi des procédés de fabrication du concentré de la tomate (CT) précédé par un suivi de traitement de l'eau.
- Analyses physicochimiques de l'eau destinée pour le lavage de la tomate fraîche et la production de la tomate concentrée.
- Contrôle de la qualité du produit fini (CT).
- Une comparaison entre la qualité de la tomate concentrée (CT et DCT) à partir de la tomate fraîche et la tomate stockée.
- Estimation théorique de la force de l'acide ascorbique par calcul des pK_a s de ses quatre sites OHs en utilisant le logiciel GAUSSIAN.

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

- Chapitre I: Composition chimique de la tomate.
- Chapitre II: Procédés de fabrication de la tomate.
- Chapitre III: Matériels et méthodes.
- Chapitre IV: Résultats et discussions.

Chapitre I
Composition chimique
de la tomate

Chapitre I

Composition chimique de la tomate

Introduction

Ce chapitre comprend une description et la composition chimique de la tomate et un intérêt particulier a été donné à la vitamine C en tant que vitamine majoritaire de la tomate.

I.1. Description

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une espèce de plante herbacée annuelle de la famille des solanacées, largement cultivée pour son fruit. Ce terme désigne aussi ce fruit charnu, qui est l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé [1].

C'est une plante à port rampant, aux tiges ramifiées, anguleuse qui poussent jusqu'à une longueur de 2 mètres. Il existe trois ports : retombant, semi retombant et horizontal. De nos jours, il est difficile de déterminer la taille de la tomate puisqu'on utilise exclusivement des hybrides à croissance indéterminée. Les feuilles de la tomate sont persistantes et sont composées de 5 à 7 folioles et sont alternées sur la tige. Les graines sont petites (250 à 350 graines par gramme) et réparties dans des loges remplies de gel. Les fleurs sont actinomorphes, autogames, de couleur jaune et réunies en inflorescences pentamères (Figure I.1).

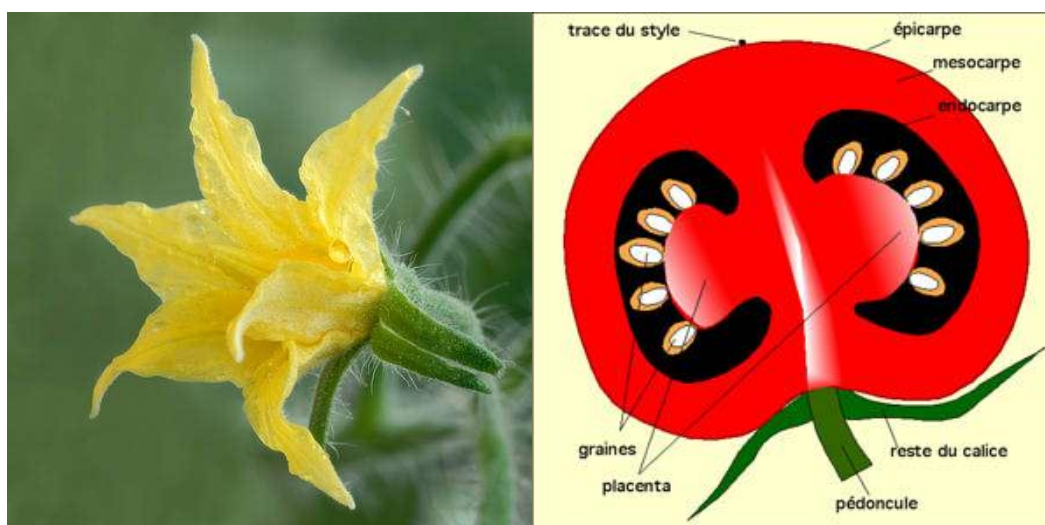


Figure I.1: Fleur de tomate et schéma de la tomate en coupe transversale [2, 3].

Les fruits charnus sont des baies à 2 ou 3 loges, à graines très nombreuses, de taille, de forme et de couleur très variées :

- la taille va de quelques grammes (tomate groseille) à près de 2 kg ;
- la forme est généralement sphérique, plus ou moins aplatie, plus ou moins côtelée, mais il en existe en forme de cœur ou de poire ;
- la couleur, d'abord verte, vire généralement au rouge à maturité, mais il en existe des blanches, des jaunes, des noires, des roses, des vertes, des violettes, des oranges et des bicolores [4].



Figure I.2: Diverses formes, tailles et couleurs de la tomate [5].

La classification systématique de la tomate est représentée dans le tableau suivant (tableau I.1) :

Tableau I.1: Classification systématique de la tomate [6].

Règne	Végétal
Sous-Règne	Cormophytes
Embranchement	Spermaphytes
Sous-Embranchement	Angiospermes
Classe	Gamopetales
Sous-Classe	Polemoniales
Famille	Solanaceae
Genre	Lycopersicum
Espèce	Lycopersicum esculentum

I.2. Composition chimique

I.2.1. Composition organique

I.2.1.1. Les glucides

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances organiques entrant dans la composition chimique des végétaux. La teneur en glucide varie en fonction de divers facteurs : luminosité, température, irrigation et engrais. Le glucose, le fructose et le saccharose sont les principaux sucres de la tomate [6].

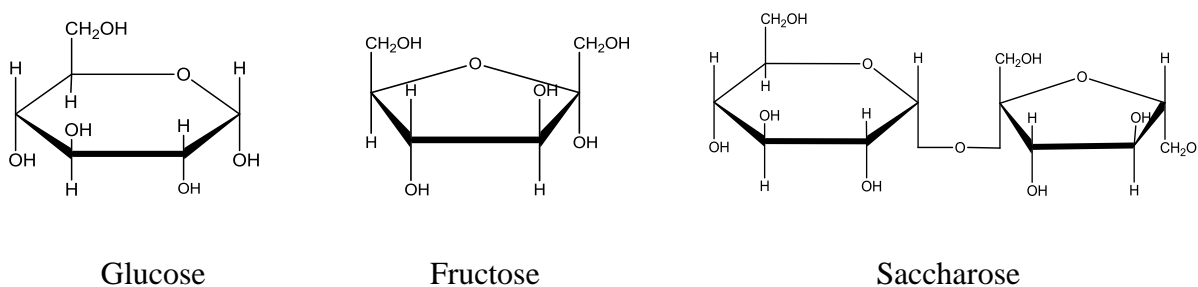


Figure I.3: Principaux sucres de la tomate.

I.2.1.2. Les vitamines

La tomate est reconnue pour sa richesse en vitamine C. Par ailleurs, ce fruit contient aussi des vitamines A, B, K et E. Parmi les vitamines B, sont principalement retrouvées la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la niacine (B3), l'acide panthoténique (B5), la vitamine B6 et les folates (B9) [7].

Le goût acide est un facteur déterminant dans l'acceptabilité des fruits et de leurs produits. De même, le rapport sucres/acidité donne une estimation du coefficient de maturité. Les caractéristiques sensorielles des saveurs sucrées et acides sont ainsi apparues bien corrélées aux mesures chimiques des teneurs en sucres et en acides. A l'inverse, les caractéristiques de texture sont relativement indépendantes des mesures physiques de fermeté ou d'élasticité du fruit [6].

I.2.1.2.1. La vitamine A

La vitamine A ou rétinol $C_{20}H_{30}O$, compte parmi les vitamines liposolubles.

L'apport alimentaire en vitamine A est réalisé sous 2 formes : les esters de rétinyle et les provitamines A.

Les esters de rétinyle, surtout présents sous forme de palmitate, se rencontrent préférentiellement dans les aliments d'origine animale : les huiles de foie de poisson (morue, flétan), et les foies d'animaux en sont très riches. On en trouve également dans les produits laitiers et le jaune d'œuf.

Les provitamines A sont fournies par les végétaux : fruits, légumes verts, tomate et carottes [8].

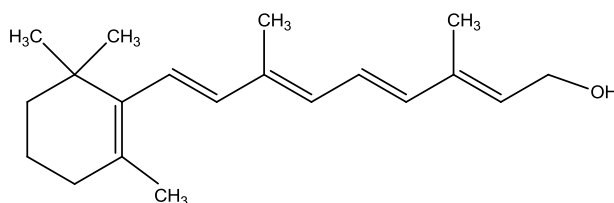


Figure I.4: structure chimique de la vitamine A.

I.2.1.2.2. La vitamine B

A. La vitamine B1

La thiamine $C_{12}H_{17}N_4OS^+$ est une molécule organique constituée de noyaux pyrimidine et thiazole reliés par un pont méthylène. Elle est hydrosoluble et thermolabile; et dénaturée à $100^{\circ}C$ [9].

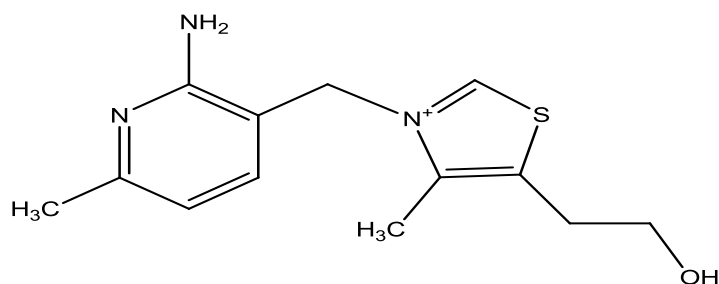


Figure I.5: Structure chimique de la vitamine B1.

B. La vitamine B2

La vitamine B2 (Riboflavine $C_{17}H_{20}N_4O_6$) est nécessaire à la synthèse de la flavine adénine dinucléotide (FAD) et de la flavine mononucléotide (FMN). Elle joue un rôle important dans la transformation des aliments simples (glucides, lipides et protéines) en énergie. Elle intervient dans le métabolisme de réparation des muscles [9].

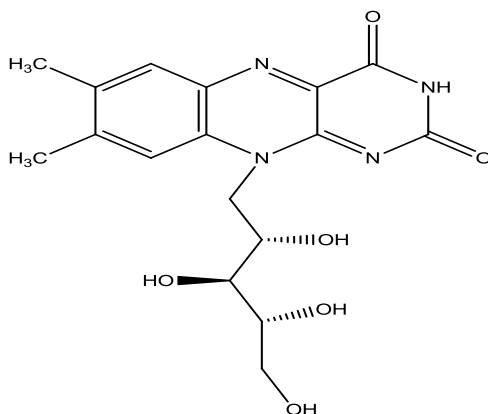


Figure I.6: Structure chimique de la vitamine B2.

C. La vitamine B3

Appelée niacine $C_6H_5NO_2$, on regroupe deux composés, l'acide nicotinique et le nicotinamide, qui ont les mêmes propriétés en tant que vitamines, également on la trouve dans les aliments comme la viande, le poisson, le lait, les œufs, et dans des sources moins souvent consommées, comme le foie et les levures, les céréales, fèves, blé, les pommes de terre, la tomate, les champignons et les fruits frais [10].

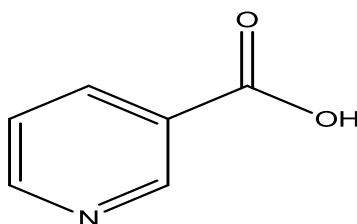


Figure I.7: Structure chimique de la vitamine B3.

D. La vitamine B5

Appelée également panthénol $C_9H_{17}NO_5$, la gelée royale est le produit naturel connu le plus riche en vitamine B5. Précurseur et constituant du coenzyme A [9].

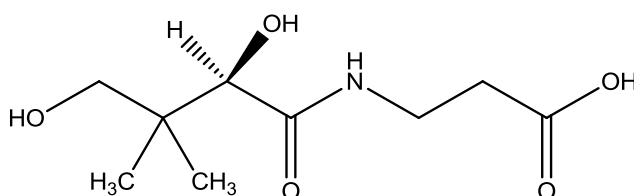


Figure I.8: Structure chimique de la vitamine B5.

E. La vitamine B6

La vitamine B6 (Pyridoxine $C_8H_{11}NO_3$) qui se trouve dans les germes de blé, levure de boulanger, son de blé, sardine, foie de bœuf, lentilles, banane, avocat, chou, flocons d'avoine, et la tomate, résiste à la chaleur et aux acides et à l'oxydation, Elle est détruite par les alcalins et la lumière, elle est soluble dans l'eau [9].

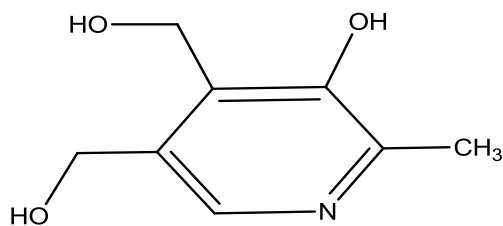


Figure I.9: Structure chimique de la vitamine B6.

F. La vitamine B9

La vitamine B9 (l'acide folique ou folates $C_{19}H_{19}N_7O_6$) se trouve majoritairement dans la levure, le foie de poulet, de bœuf ou de veau, poulet, germes de blé, l'épinard, fenouil, camembert, la tomate, laitue, brocolis, flocon d'avoine, banane, thon, et la carotte [9].

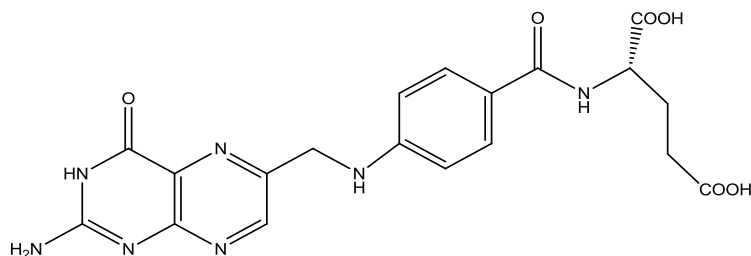


Figure I.10: Structure chimique de la vitamine B9.

I.2.1.2.3. La vitamine C

La vitamine C (acide ascorbique $C_6H_8O_6$) se trouve dans les fruits et les légumes suivants: Cerise, coriandre, piments rouges et verts, jus de citron, d'orange et de pamplemousse, persil, paprika, kiwi, fenouil, papaye, chou-fleur, chou, brocoli, et la tomate[9].

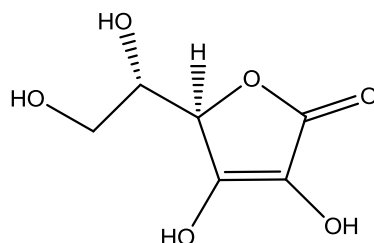


Figure I.11: Structure chimique de la vitamine C.

Tableau I.2: Teneurs en composants organiques dans 100 g de tomate [12].

Composants	Teneurs (mg/100 g)
Glucides	3900
Lipides	210
Protides	736
Fibres alimentaires	950
Vitamine A (béta-carotène)	0,592
Vitamine B1	0,057
Vitamine B2	0,035
Vitamine B3	0,530
Vitamine B5	0,310
Vitamine B6	0,100
Vitamine B9	0,022
Vitamine C	19
Vitamine E	0,813
Vitamine K	0,0056

I.2.2. Composition minérale

I.2.2.1.L'eau

Les végétaux renferment de 80 à 95 % d'eau. Cette teneur en eau est responsable de la fragilité des fruits et légumes à l'égard des chocs, des attaques par les micro-organismes et de leur dessèchement en atmosphère à faible humidité [6].

I.2.2.2. Les sels minéraux

Ils sont en général dissous dans le suc cellulaire, soit à l'état libre, soit à l'état de sels minéraux ou organiques [6].

Les minéraux majoritaires dans la tomate sont: le potassium, le chlore, le phosphore, le magnésium, le calcium et le sodium. Les autres minéraux comme le bore, chrome, cobalt, cuivre, fer, fluore, iode, manganèse, nickel, Sélénium, Zinc.

Dans le tableau I.3, sont données les teneurs en composants minéraux dans 100g de tomate.

Tableau I.3: Teneurs en composants minéraux dans 100 g de tomate [12].

Composants	Teneur (mg/100 g)
Eau	93900
Bore	0,115
Calcium	8,90
Chlore	30
Chrome	0,020
Cobalt	0,0017
Cuivre	0,057
Fer	0,316
Fluore	0,024
Iode	0,0011
Magnésium	11
Manganèse	0,108
Nickel	0,0058
Phosphore	22
Potassium	235
Sélénium	0,0010
Sodium	3,3
Zinc	0,152

I.2.3. Aperçu générale sur la vitamine C

I.2.3.1. Propriétés physicochimiques

La vitamine C (acide ascorbique) de formule $C_6H_8O_6$ est un composé cristallisé, sous forme de poudre blanche, inodore et de saveur acide. Il est stable à l'état anhydre, et s'assombrit progressivement lorsqu'il est exposé à la lumière. La Vitamine C est très hydrosoluble, peu soluble dans l'alcool et les polyols et insoluble dans l'éther et le chloroforme [13], sa température de fusion entre 190-192°C.

I.2.3.2. Propriétés antioxydantes

L'acide ascorbique est un réducteur très puissant et possède de ce fait un pouvoir antioxydant, qui est au centre de son activité biochimique [13].

L'industrie agroalimentaire utilise l'acide L-ascorbique comme antioxydant sous la référence E300. C'est un réducteur qui réagit avec le dioxygène de l'air. Il empêche ainsi le dioxygène d'oxyder d'autres molécules organiques, ce qui provoquerait un rancissement (mauvais goût) ou un changement de couleur (brunissement) [6].

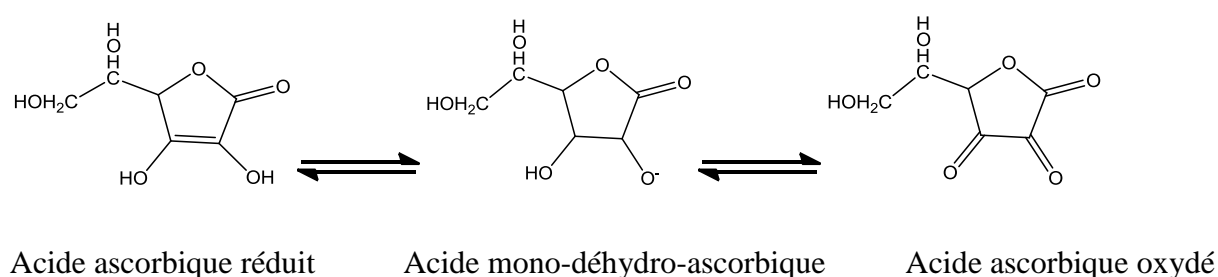


Figure I.14: Représentation du système redox : acide ascorbique, radical ascorbique libre et acide déhydroascorbique.

I.2.3.3. Méthodes de caractérisation de la vitamine C

Le dosage de la vitamine C peut se faire par diverses méthodes plus ou moins rapides et faciles à exécuter. Les méthodes les plus courantes sont la détection FT-IR et la détection par RMN qui sont non destructives. Les analyses par UV et fluorescence sont également très utilisées pour détecter la vitamine C. L'HPLC permet un dosage précis de la substance présente dans l'échantillon.

La caractérisation de la vitamine C peut aussi se faire par des méthodes titrimétriques avec différents réactifs comme le 2,6-Dichlorophenolindophenone (DCIP) et la tetrachlorobenzoquinone [13].

I.2.3.4. Rôle de la vitamine C dans le corps humain

La vitamine C est un antioxydant puissant, elle stimule la synthèse et l'entretien du collagène et de certains neurotransmetteurs comme la noradrénaline, elle est nécessaire aux

défenses anti infectieuses. Elle favorise l'absorption du fer, réduit les réactions allergiques en diminuant le taux d'histamine sanguin et réduit la nocivité des métaux toxiques (le plomb, le nickel, le cadmium) en favorisant leur élimination [9].

I.2.3.5. Effet de la carence en vitamine C

L'organisme humain peut stocker une partie de cette vitamine lorsque son apport alimentaire est élevé. La teneur du sang en vitamine C est de 2 à 7 mg/l.

Un déficit aigu entraîne chez l'être humain une fatigue, douleurs articulaires et osseuses et l'anémie. La carence en vitamine C non corrigée entraîne le Scorbut [9].

I.2.3.6. Le Scorbut

Le scorbut est la manifestation clinique de la carence en vitamine C. Des études sur modèle de scorbut expérimental ont montré que les anomalies dentaires apparaissent au bout de 6 mois de régime restrictif, soit bien après les signes cutanés (3 mois) [8].

Cette maladie fut une des principales causes de mortalité, ses symptômes sont bien définis : débutant par de la fatigue, se manifestant ensuite par des œdèmes des bras et des jambes, puis par des hémorragies touchant le nez et les gencives et des ecchymoses sous cutanées. Les dents se déchaussent, deviennent branlantes, et tombent parfois. Incapables de tenir debout, les sujets atteints meurent en quelques semaines d'épuisement, ou d'une complication infectieuse respiratoire [9].

Chapitre III
Procédés de fabrication de la
tomate

Chapitre II

Procédé de fabrication de la tomate

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons le procédé préliminaire, le procédé de transformation et les étapes de conditionnement de la tomate concentrée.

II.1. Procédé préliminaire

II.1.1. Récolte

La récolte des tomates a lieu entre le mois de juillet et aout, les tomates atteignent leurs maturités. La matière première qui transportée par l'engin de transport dans des caisses bien propres, est livrée par des meilleures moyens d'emballage et de transport [1].



Figure II.1: Récolte de la tomate [14].

II.1.2. Réception

Lors de la réception des camions (ces derniers sont réservées seulement au transport de la tomate), la marchandise est pesée puis subit un échantillonnage pour avoir sa qualité, ce contrôle se fait par prélèvement au hasard d'un échantillon afin de préciser le pourcentage des impuretés présentes telles que le pourcentage de matières étrangères, les corps soleil (les taches jaunes des tomates), les écrasées (taches noirs), et les véreux [7].



Figure II.2: Réception [15].

II.1.3. Lavage

Cette opération commune à tous les végétaux, consiste à éliminer toutes les souillures qui peuvent être à l'origine d'une éventuelle contamination. Les tomates sont lavées avec de l'eau tiède et chlorée dans des tanks ou dans des bacs sous pression ou sous agitation permanente, suivie d'un rinçage par aspersion d'eau à haute pression pour éliminer les résidus, les microorganismes, les insectes, les larves et les saletés adhérent aux fruits [16].



Figure II.3: Lavage et rinçage [17, 18].

II.1.4. Triage

Les tomates lavées sont transportées vers la chaîne de triage où sont enlevées, manuellement et automatiquement par trieuse les fruits pourris ou endommagés. Au cours de cette opération, le lavage se poursuit au niveau de chaque chaîne par un rinçage en continu (pulvérisation sous pression) de tout le système de transport au moyen de rampes glisseurs [19].



Figure II.4: Triage automatique et manuel [20].

II.2. Procédé de fabrication

II.2.1. Broyage

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 un tamis rotatif pour séparer le liquide des parties solides de la tomate. Les tomates débarrassées de leurs peaux et de leurs grains sont alors envoyées au broyeur qui est muni d'une multitude de lames bien aiguisées et fixées sur le rotor du moteur électrique qui assure le concassage [21].



Figure II.5: Broyage et découpage [22].

II.2.2. Préchauffage

Il consiste à chauffer les tomates broyées avec de la vapeur d'eau dans un milieu contrôlé. La température est voisine de 70°C, dont le but est de : ramollir la tomate, inhiber les microorganismes, chasser l'air et éviter aussi la décoloration (contrôle de température) [23].

Selon l'usage final du produit à fabriquer, deux modes de préchauffage sont pratiqués: il s'agit du COLD BREAK qui consiste à un broyage à température ambiante suivi d'un préchauffage à 60°C pour la production de concentré à viscosité moyenne et le HOT BREAK dont le principe consiste à porter les tomates immédiatement après leur broyage à la température de 90 à 95°C pendant un temps très court (15s) destiné à la production d'un produit à viscosité élevée [1].



Figure II.6: Préchauffeur [24].

II.2.3. Tamisage

Après une courte durée du préchauffage (2mn) la masse broyée est envoyée dans la passoire où se fait le tamisage, cette passoire est formée de 3 tamis situés en 3 étages à pores décroissants dont le plus petit appelé le finisseur.

Le fonctionnement de passoire doit être continuellement contrôlé pour éviter que des grains ou d'autres corps fibreux se trouvent dans le produit fini dans le cas de déchirure des tamis. Les déchets séparés par les 3 tamis tombent dans un récipient commun qui doit être éliminé.

Le jus de tomate doit être envoyé à l'aide de gravitation dans un récipient collecteur où il est réservé pendant une courte durée jusqu'à ce qu'il soit pompé au concentrateur [1].



Figure II.7: Extracteur de jus [20].

II.2.4. Concentration

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. Le jus de tomate raffiné est concentré par évaporation sous vide partielle dans des évaporateurs à multiple effets [16].



Figure II.8: Evaporateur [25].

II.2.5. Pasteurisation

Il s'agit d'une opération réalisée par un appareil dénommé roto-therme ou stabilisateur. Elle a pour but d'assurer la stabilité du concentré de tomate en détruisant d'éventuels germes présents dans le produit par un traitement thermique de quelques secondes

à une température supérieure à 88°C, ce traitement permet de prévenir l'altération par les microorganismes (lactobacilles) [1].



Figure II.9: Pasteurisateur [26].

II.3. Mise en boîtes et conditionnement

II.3.1. Remplissage et sertissage

C'est l'étape qui consiste à remplir les boîtes métalliques par le concentré obtenu. C'est une opération qui doit se faire rapidement de façon à éviter un trop grand contact du produit avec de l'air atmosphérique. Elle comporte une partie pesée pour la standardisation des poids, elle se fait avec une remplisseuse ou une doseuse-sertisseuse.

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. Il sera nécessaire de former un ouvrier spécialisé pour son utilisation. Le modèle avec plusieurs formats de boîte sera choisi [23].



Figure II.10: Remplissage et sertissage [27].

II.3.2 Stérilisation et refroidissement

La stérilisation a pour but d'inhiber les enzymes et toute forme de microorganismes, même les bactéries sporulées [16].

A l'intérieur d'un tunnel sur une longueur, les boîtes sont arrosées avec de l'eau surchauffée de température supérieure à 100°C. Le long du tunnel, la circulation des boîtes est assurée par un convoyeur qui est un tapis roulant [1].

La stérilisation des boîtes remplies de produit concentré se déroule dans des autoclaves contenant de l'eau chaude à 90-95 °C.

Cette étape permet la destruction de tous les micro-organismes qui pourraient exister à l'intérieur des boîtes de concentré de tomate. En suite les boîtes stérilisées sont refroidies avec de l'eau de température inférieure à 50°C [19].



Figure II.11: Stérilisation et refroidissement.

II.3.3. Séchage

Après stérilisation, les boîtes passent au séchoir qui, par injection d'air sec, assure le séchage complet des boites pour faciliter la mise en carton [1].

II.3.4. Etiquetage

Après le séchage des boites, elles seront étiquetées. Il s'agit de coller sur la boîte des étiquettes indiquant essentiellement la date limite de consommation, l'usine productrice, le poids et le Brix du contenu. Il faudra veiller à l'aspect esthétique de cette étiquette. La loi fixe le contenu des étiquettes [7].

II.3.5. Mise en carton

C'est l'emballage d'un certain nombre de boîtes dans un carton pour le stockage [23].

II.3.6. Stockage

Le stockage de produit fini se fait dans les conditions suivantes :

- Bonne aération.
- A l'abri de soleil.
- La température entre 25°C et 30°C.

Jusqu'au stade de commercialisation [1].



Figure II.12: Stockage.

Chapitre III
MatérielsetMéthodes

Chapitre III

Matériels et méthodes

Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les réactifs, le matériel, les modes opératoires, le procédé de traitement de l'eau, le procédé préliminaire et le procédé de fabrication de la tomate concentrée dans la partie expérimentale et brièvement nous illustrerons le cycle chimique et les formules pour le calcul des pK_{as} de quatre OHs de l'acide ascorbique dans la partie théorique.

Présentation de la conserverie CAB

La conserverie AMOR BENAMOR (CAB) fondée en 1984 a réussi d'être parmi les conserveries de l'agroalimentaire. Le groupe BENAMOR est situé à l'Est de l'Algérie dans la wilaya de Guelma.

La conserverie CAB est spécialisée dans la production de la tomate concentrée et double concentrée sous plusieurs formes, les piments (harissa), confitures telles que la confiture d'abricot, pêche, orange, ainsi que des différentes nouvelles sauces.



Figure III.1 : Différents produits de la CAB.

III.1. Partie expérimentale

III.1.1. Traitement et analyses de l'eau

III.1.1.1. Traitement de l'eau

La fabrication de la tomate concentrée exige l'utilisation d'une eau ayant des propriétés physicochimiques et microbiologiques bien précises.

Pour cela le procédé de traitement de l'eau est une étape primordiale afin d'obtenir un produit de qualité requise.

Dans les organigrammes ci-dessous, nous présentons les différentes étapes utilisés dans la conserverie CAB.

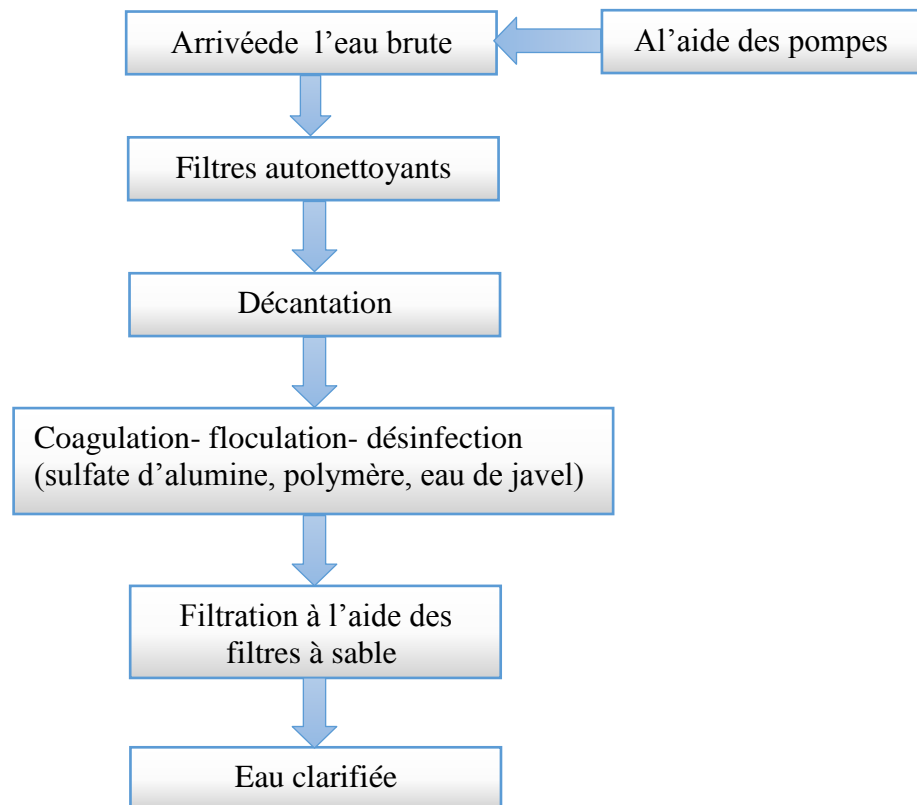


Figure III.2: Procédé de clarification de l'eau.

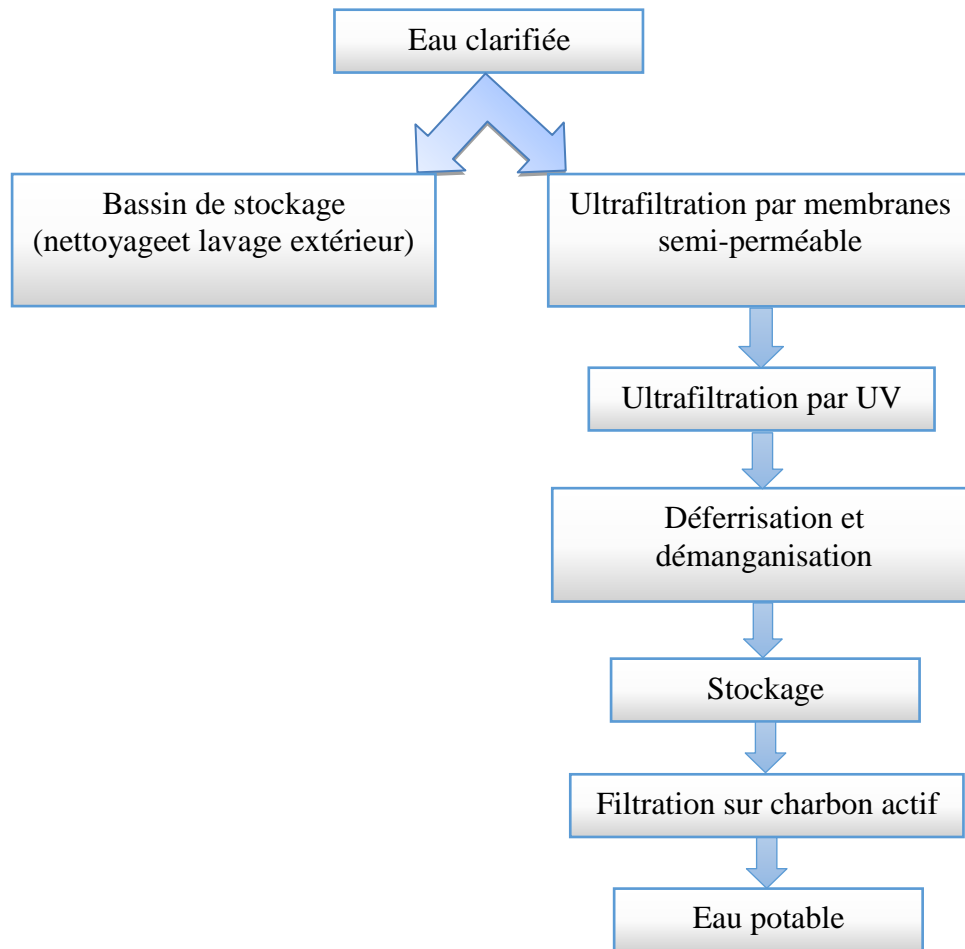


Figure III.3: Procédé de traitement de l'eau destiné à la fabrication de la tomate concentrée.

III.1.1.2. Analyses physico-chimiques de l'eau

III.1.1.2.1. Température

La mesure de la température est réalisée par un thermomètre dans le but de maintenir l'eau potable à une température égale ou inférieure à 25°C.

III.1.1.2.2. Aspect

L'aspect de l'eau potable est jugée normal ou anormale selon sa limpidité, sans odeur et sans couleur.

III.1.1.2.3. Potentiel d'hydrogène pH

Le pH est une grandeur sans unité. Un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. Un milieu neutre affiche un pH égal à 7. C'est le cas de l'eau pure à 25 °C [28].

- **Mode opératoire**

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Figure III.4), après étalonnage, par immersion directe de sa sonde dans l'échantillon d'eau à analyser. La lecture se fait après stabilité de la valeur affichée [7].



Figure III.4 : pH-mètre.

III.1.1.2.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, ce qui permet d'évaluer la teneur de l'eau en ions.

- **Mode opératoire**

La conductivité électrique a été mesurée après l'étalonnage de l'appareil et le nettoyage de sa sonde avant de l'introduire dans l'eau. Pour la lecture, il faut attendre que la valeur de la CE se stabilise [7].



Figure III.5: Conductimètre.

III.1.1.2.5. Dureté

La dureté de l'eau est la concentration totale en sels de calcium et magnésium. Elle est exprimée en degré français : 1 °f (degré français) correspond à 4 mg de calcium par litre d'eau. [29]

- Eau dure : supérieure à 30°f.
 - Eau moyennement dure : entre 15 et 30°f.
 - Eau douce : inférieure à 15°f.
- **Mode opératoire**
 - On prend 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
 - Ensuite, on ajoute quelques gouttes de tampon k10 (ammoniac) et un peu de poudre de noire d'urochrome.
 - On fait une agitation pour avoir l'apparition de la couleur violette.
 - A la fin, on fait le titrage avec l'EDTA jusqu'à l'apparition de la couleur bleue, et on lit le volume versé.

- **Formule**

$$TH (°f) = V \cdot 4.$$

III.1

V: Volume de l'EDTA (ml)

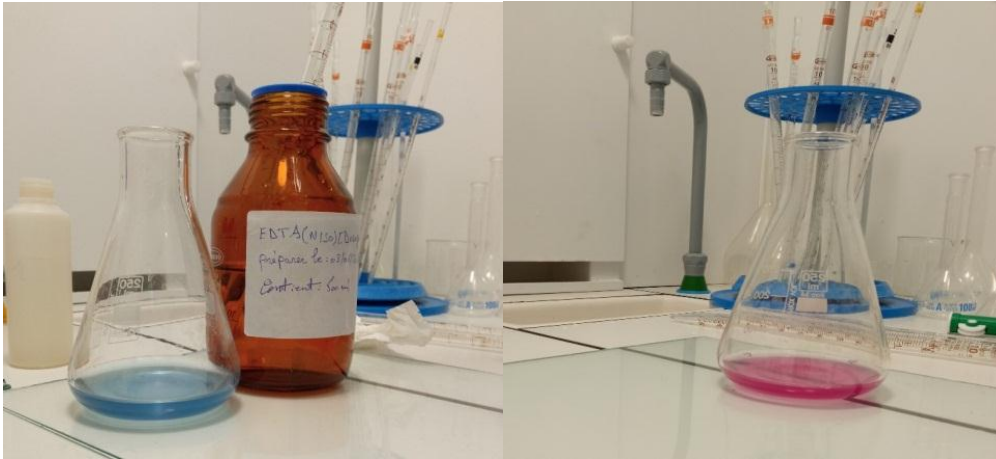


Figure III.6: Test de la dureté.

III.1.1.2.6. Dosage des chlorures

Les chlorures de sodium, de calcium, de potassium et de magnésium sont des sels, qui sont présent dans l'eau potable utilisée dans la conserverie de tomate à des concentrations variées [30].

- **Mode opératoire**

- On introduit 25 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer.
- Puis, on ajoute 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium (apparition du couleur jaune).
- On verse ensuite au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent AgNO_3 jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge brique.
- A la fin, on lit le volume versé.



Figure III.7: Dosage des chlorures

- **Formule**

$$\text{Cl (mg/l)} = V * 4 * 7,1 \quad \text{III.2}$$

V: Volume de AgNO₃ (ml)

III.1.1.2.7. Test d'alcalinité (TA et TAC)

L'alcalinité de l'eau se définit comme étant sa capacité à neutraliser un acide. L'alcalinité de l'eau naturelle est liée principalement aux ions hydroxydes (OH⁻), les ions carbonates (CO₃²⁻) et les ions hydrogencarbonates (HCO₃⁻) et certaines formes de matière organique contribuent légèrement à son alcalinité.

On distingue deux types d'alcalinité : Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC), ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en (bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes) contenues dans l'eau. Le TA et le TAC s'expriment généralement en degré français (°f) [31].

Titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond à la mesure de la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates : $\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2[\text{CO}_3^{2-}]$

- **Mode opératoire**

- On prend 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- Puis on ajoute avec agitation quelques gouttes de l'indicateur coloré; la phénolphthaléine (PP).
- La coloration rose persistante indique la présence des alcalins dans ce cas on fait un titrage par H₂SO₄ jusqu'à la disparition de la couleur rose, et la transparence de la solution veut dire l'absence de l'alcalinité.
- Après tirage, on lit le volume versé V₁.

- **Formule**

$$\text{TA (°f)} = V_1 * 4. \quad \text{III.3}$$

Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC est la teneur d'une eau en hydroxydes, carbonates, hydrogencarbonates :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-].$$

- **Mode opératoire**

- On prend 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On ajoute quelques gouttes de méthyle d'orange ;
- On fait le titrage avec l' H_2SO_4 et on lire le volume déversé V_2 jusqu'à l'apparition de la couleur orange.

- **Formule**

$$\text{TA (}^\circ\text{f)} = V_1 + V_2 * 4.$$

III.4

V_1, V_2 : Volumes de H_2SO_4 (ml)



Figure III.8: Dosage d'alcalinité.

III.1.1.2.8. Manganèse

Le manganèse est un élément chimique naturellement présent dans le sol. Il peut se dissoudre dans les eaux souterraines et les contaminer. L'eau potable peut parfois contenir du manganèse, mais cet élément se trouve principalement dans les aliments [32].

- **Mode opératoire**

- On prend 5 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On ajoute 8 gouttes de (A) et 8 gouttes de (B).
- Après 2 minutes, on ajoute (C).
- Après 5 minutes, on lit le résultat.

NB: (A), (B), (C) sont des indicateurs.



Figure III.9: Test du manganèse.

III.1.1.2.9. Fer total

Le fer est présent à des quantités minimales dans l'eau potable par rapport au manganèse.

- **Mode opératoire**
 - On introduit 5 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer.
 - On ajoute 6 gouttes d'indicateur régent.
 - Après 5 minutes, on compare avec une étiquette de coloration et on lit la valeur.

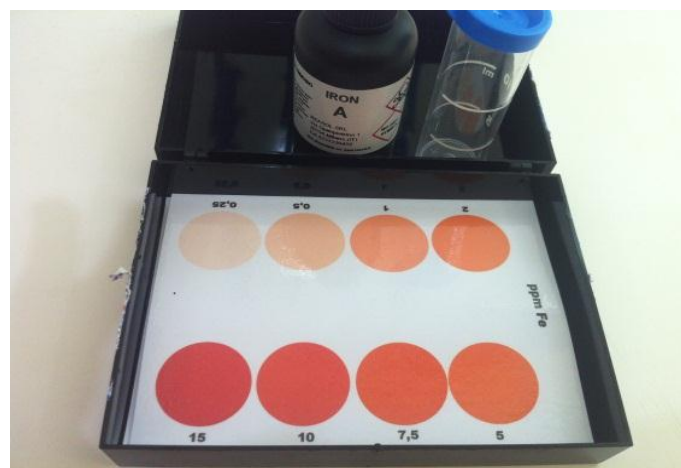


Figure III.10: Test de Fer.

III.1.1.2.10. Clore libre

La détermination de la concentration du chlore libre en ppm est mesurée par la méthode colorimétrique.

- **Mode opératoire**

- On verse 5 ml d'eau avec un comprimé (DPD) avec agitation.
- On compare la couleur obtenu avec l'étiquette qui comprend plusieurs couleurs avec les valeurs correspondantes (0,1 - 0,5).



Figure III.11: Test du chlore libre.

III.1.1.2.11. Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent.

On mesure la turbidité en unité de turbidité néphélométrique (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau. La turbidité peut s'échelonner de moins d'une UTN à plus de 1000 UTN. À 5 UTN, l'eau est visiblement trouble; à 25 UTN, elle est noirâtre [33].



Figure III.12: Turbidimètre.

III.1.2. Procédés de fabrication et analyse physicochimiques du concentré de tomate

III.1.2.1. Procédé de fabrication de la tomate concentrée

Dans les organigrammes ci-dessous, sont présentés le procédé préliminaire (Figure III.13), le procédé de transformation de la tomate (Figure III.14) et les phases de conditionnement de la tomate concentrée (Figure III.15).

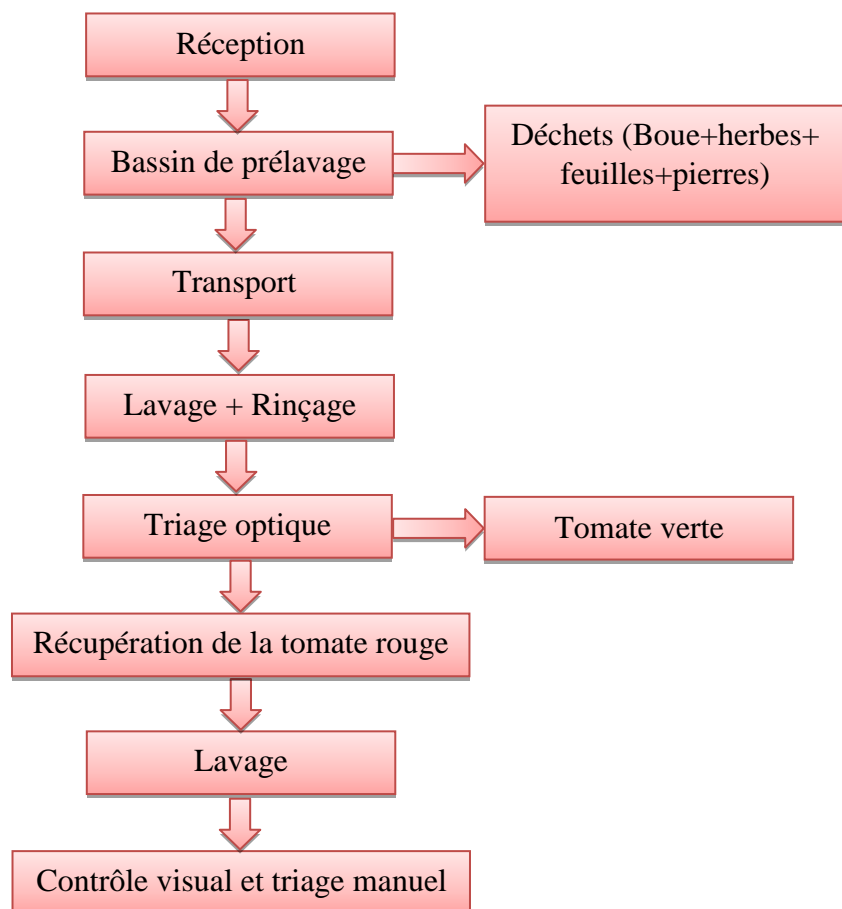


Figure III.13: Etapes préliminaires de fabrication de la tomate concentrée.

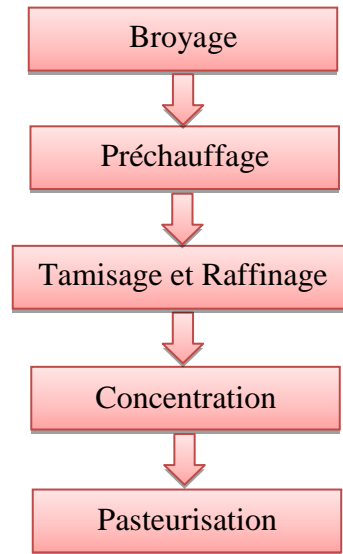


Figure III.14: Procédé de transformation de la tomate.

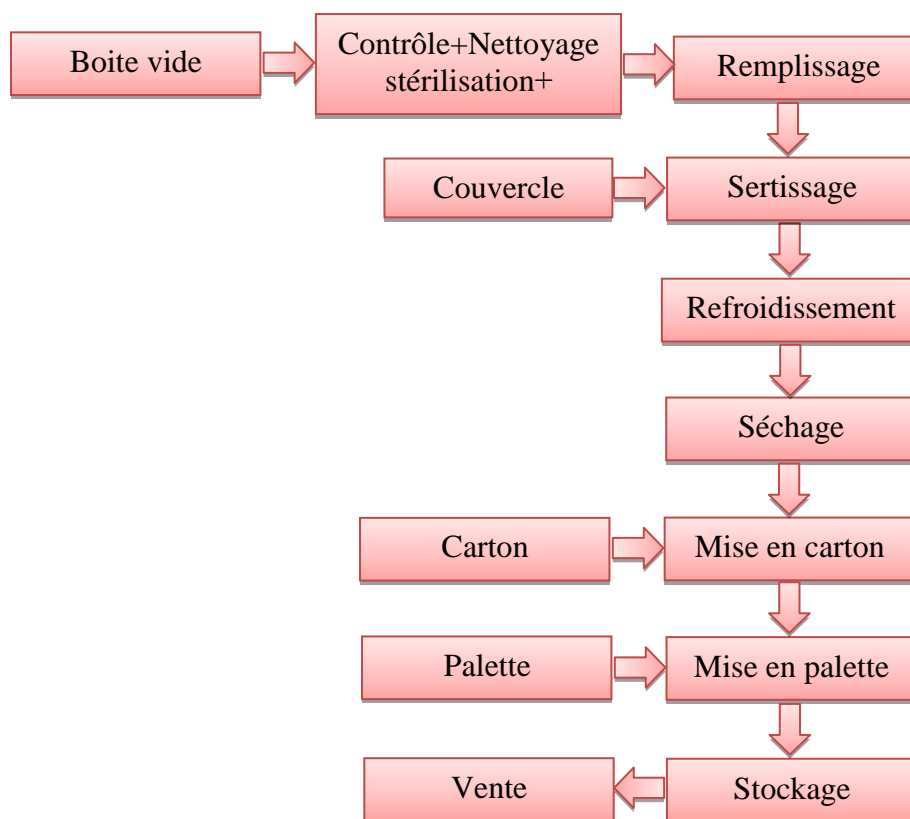


Figure III.15: Phases de conditionnement de la tomate concentrée.

III.1.2.2. Analyses physicochimiques de la tomate concentrée

Plusieurs paramètres physicochimiques ont été mesurés ou calculés du concentré de tomate (CT).

III.1.2.2.1. Température

La mesure de la température est réalisée à l'aide d'un thermomètre électrique où la sonde est mise au centre du produit à analyser. La lecture est faite après la stabilisation de la valeur.



Figure III.16: Lecture de la température.

III.1.2.2.2. poids

La mesure du poids est réalisée à l'aide d'une balance où le produit est mis dans les boîtes d'emballage.



Figure III.17: Mesure du poids.

III.1.2.2.3. Le résidu sec (Brix)

Le Brix est le principal paramètre technologique dans les concentrés de tomate. Il représente le degré de concentration du jus de tomate [7].

L'échelle de Brix sert à mesurer en degré Brix ($^{\circ}\text{B}$ ou $^{\circ}\text{Bx}$) la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble. Un degré Brix équivaut à 1 gramme de saccharose pour 100 grammes de solution [34].

- **Mode opératoire**

- On refroidit l'échantillon (quelques gouttes de jus de tomate) à une température [18°C - 22°C] avant de le mettre dans le réfractomètre.
- On dépose l'échantillon (quelques gouttes de jus de tomate) dans le réfractomètre, puis avec une spatule on mélange pour soit homogène.
- On ferme le couvercle, ensuite on appuie sur le bouton 'Start'.
- On attend 15 secondes, après on lit le pourcentage de Brix.



Figure III.18: Réfractomètre.

III.1.2.2.4. Potentiel d'hydrogène pH

La mesure du pH des échantillons indique leur acidité. Une tomate de bonne qualité a un pH entre 4,00 et 4,50. L'appareil utilisé est un PH-mètre calibré. A cet effet, le pH d'une quantité de tomate bien mélangée de température entre 18 et 22°C est mesuré.



Figure III.19: pH-mètre.

III.1.2.2.5. La viscosité

Ce paramètre physique a pour but de déterminer la résistance au mouvement du concentré de tomate à son écoulement dans un consistomètre en inox qui est constitué d'une cuve rectangulaire en inox formant un plan incliné et séparé en deux parties par une porte guillotine. La première partie sert de réservoir au produit à évaluer et la deuxième partie est graduée tous les 0,5 cm en partant de la porte jusqu'à la partie opposée.

- **Mode opératoire**

- On prend certaine quantité de concentré de tomate de température du [18-22°C] et on dilue dans un bécher jusqu'à 12,5% de Brix.
- On place l'appareil correctement jusqu'à ce qu'on voit la bulle de niveau devant l'appareil au centre.
- On retient l'échantillon dans le compartiment par pression sur le bras vers le bas.
- On enlève l'excès avec une spatule.
- On libère le bras puis on laisse l'échantillon s'écouler.
- On attend 30 secondes et on lit la distance parcourue en cm qui est la viscosité.

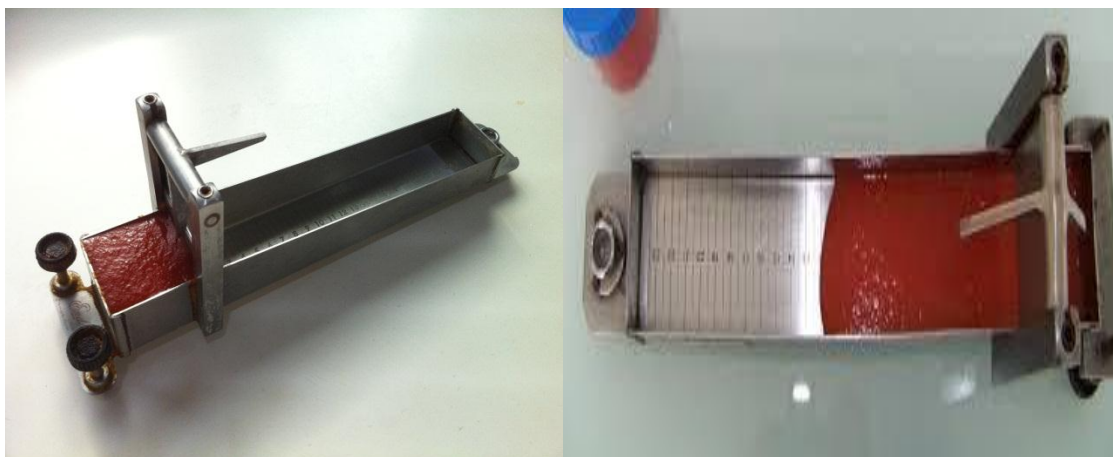


Figure III.20: Consistomètre.

III.1.2.2.6. L'acidité

Une acidité titrable de l'échantillon, correspond à la somme des acides organiques et minéraux libres, à savoir l'acide malique, citrique, oxalique et pour déterminer cette acidité il faut faire un titrage ; en utilisant un indicateur coloré.

Le but de cette analyse est de mesurer approximativement la teneur totale du produit en acide naturel comme l'acide ascorbique par un dosage basique avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) [21].



- **Mode opératoire**

- On pèse 10 g de concentré de tomate dans un bécher.
- On ajoute une quantité d'eau avec un barreau magnétique, puis on lance l'agitation.
- Pendant quelque minute, on vu que le mélange soit homogène.
- On déverse le mélange dans une fiole jaugée de 250 ml, et on continue avec l'eau jusqu'à trait de jauge.
- On met sur l'agitateur quelque minute pour qu'il soit homogène.
- On filtre le mélange, puis on prélève 50 ml de filtrat.
- On ajoute 300 ml d'eau au 50 ml de filtrat, puis on met sur l'agitateur.
- On met le pH mètre dans le mélange, et on démarre le titrage avec le NaOH jusqu'au point de pH=8.1.
- On lit le volume de chute V, puis on calcule l'acidité.

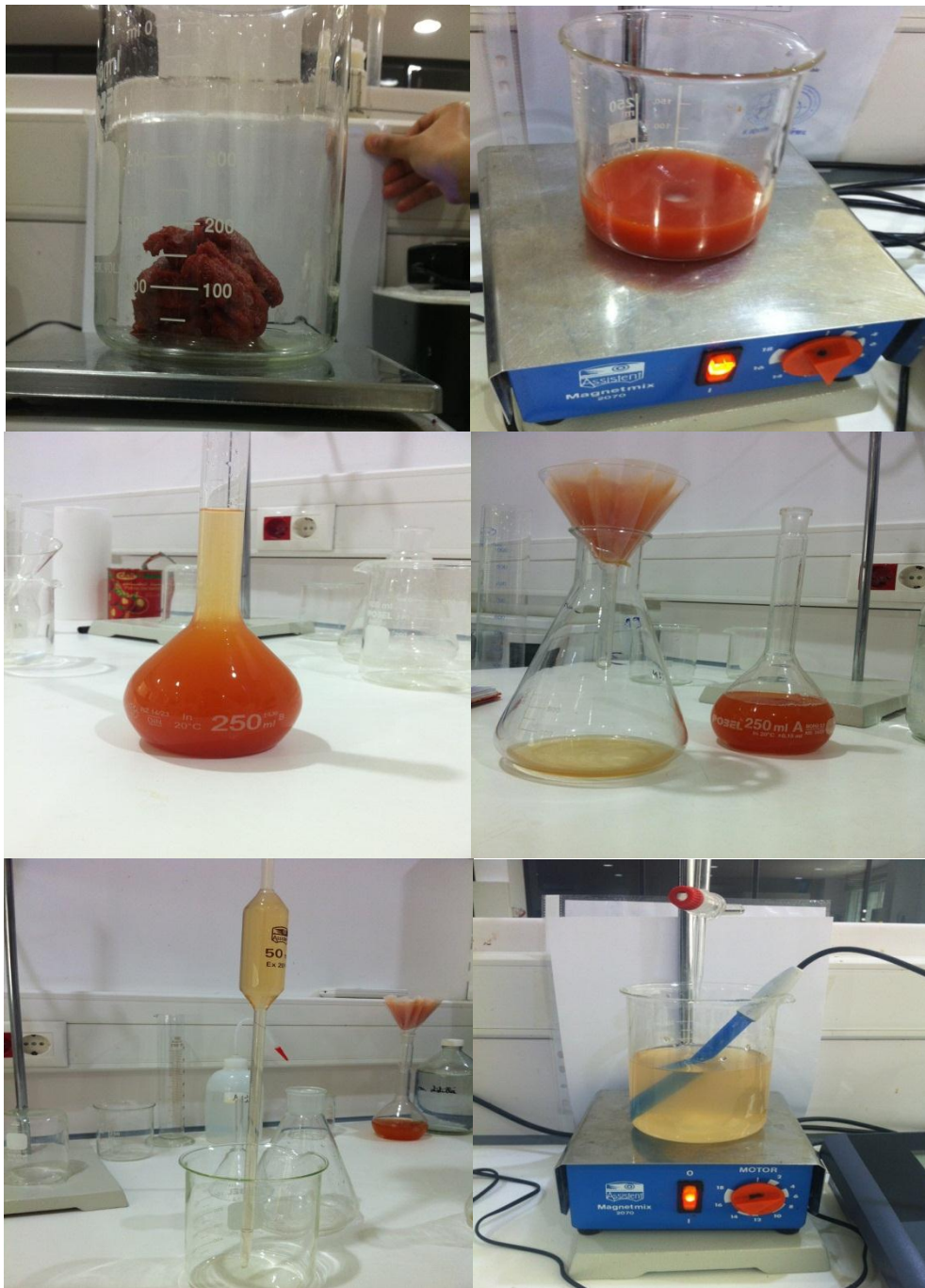


Figure III.20: Titrage de l'acidité.

- **Formule**

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

V: Volume de NaOH (ml)

III.6

III.1.2.2.7. Test de stabilité

Le but de ce test est étudier les paramètres microbiologiques de la tomate à différentes températures (25, 37 et 55°C).

- **Mode opératoire**

- On prend six boites de tomate.
- On met deux boites à la température ambiante de 25°C comme des témoins.
- On met deux boites aussi dans l'étuve de température de 37°C, et 2 autres boites dans l'étuve de 55°C.
- On laisse sept jours, après on prend les six boites.
- On remarque la modification d'odeur et de couleur et les autres paramètres optiques avec des boites de témoins.
- On mesure le pH et on compare avec le pH des témoins.

La variation de pH (pH de témoin – pH de boite 37°C ou 55°C doit être inférieure à 0,5).



Figure III.21: Test de stabilité.

III.2. Partie théorique

III.2.1. Détermination des pK_a s de l'acide ascorbique

Dans le cas des acides faibles, on définit la constante d'équilibre de dissociation de l'acide ou constante d'acidité (K_a).

A partir du K_a (la constante d'acidité) on définit le pK_a (potentiel de la constante d'acidité), on utilise généralement le pK_a plutôt que le K_a pour déterminer la force d'un acide.

On remarque que plus l'acide est fort plus le pK_a est petit. En effet, si celui est fortement dissocié, la concentration $[AH]$ devient faible [35].



$$K_a = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[AH]} \quad \text{III.8}$$

$$pK_a = -\log K_a \quad \text{III.9}$$

III.2.1.1. Cycle des réactions en phase gazeuse et en phase aqueuse

La figure III.22 représente un schéma d'un cycle des réactions pour la détermination des énergies libres.

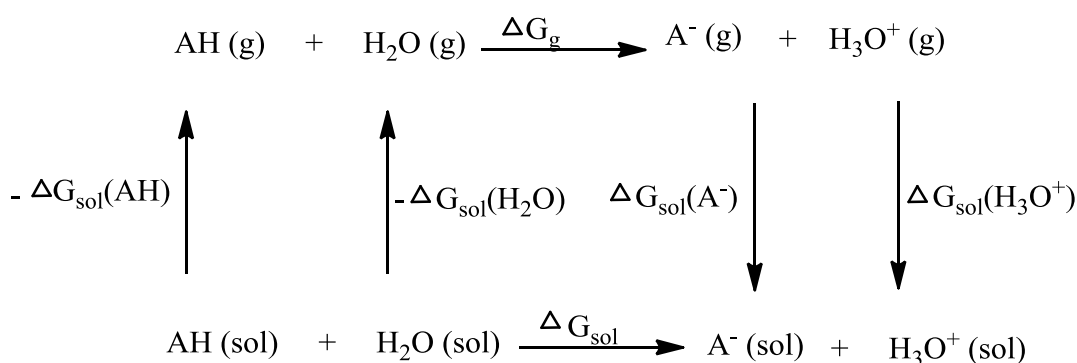


Figure III.22: Schéma d'un cycle représentant les réactions d'une molécule en phase gazeuse et en phase aqueuse [36].

III.2.2. Méthode de calcul

Les énergies libres en phase gazeuse et en phase aqueuse de l'acide ascorbique et les radicaux libres ont été déterminées par la méthode DFT (la théorie de la fonctionnelle de la densité) en utilisant le logiciel GAUSSIAN 09 et GAUSS View 5.0.8.

III.2.2.1. La théorie de la fonctionnelle de la densité

La théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) se distingue des méthodes basées sur les équations Hartree Fock (HF) car elle s'appuie sur la notion de densité électronique $\rho(\mathbf{r})$ et non sur celle de fonction d'onde multiélectronique [37].

III.2.2.2. Le logiciel GAUSSIAN

GAUSSIAN est un logiciel de modélisation moléculaire, créé à l'origine par John Pople et sorti en 1970 (GAUSSIAN 70). C'est un logiciel qui est rapidement devenu un programme de structure électronique très populaire et largement utilisé. Il se base sur les lois basiques de la mécanique quantique, de ce fait, il prédit de nombreuses propriétés électroniques et moléculaires d'atomes, de molécules et aussi de réactions chimiques. Ces propriétés sont principalement : les énergies, la structure et les différents paramètres géométriques, les fréquences, les charges atomiques et les symétries des vibrations des systèmes moléculaires [37].

III.2.3. Formules pour la détermination des pK_a s

Les variations des énergies libres ont été calculées en utilisant les formules suivantes :

$$\Delta G_{\text{sol}} = \Delta G_{\text{g}} + \Delta G_{\text{sol}}(\text{A}^-) + \Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_3\text{O}^+) - \Delta G_{\text{sol}}(\text{AH}) - \Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_2\text{O}) \quad \text{III.10}$$

$$\Delta G_{\text{sol}} = \Delta G_{\text{g}} + \Delta G_{\text{sol}}(\text{A}^-) + \Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_3\text{O}^+) - \Delta G_{\text{sol}}(\text{AH}) - \Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_2\text{O}) \quad \text{III.11}$$

$$\Delta G_{\text{g}} = G(\text{A}^-)_{\text{g}} + G(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{g}} - G(\text{AH})_{\text{g}} - G(\text{H}_2\text{O})_{\text{g}} \quad \text{III.12}$$

$$\Delta G_{\text{sol}}(\text{A}^-) = G(\text{A}^-)_{\text{sol}} - G(\text{A}^-)_{\text{g}} \quad \text{III.13}$$

$$\Delta G_{\text{sol}}(\text{AH}) = G(\text{AH})_{\text{sol}} - G(\text{AH})_{\text{g}} \quad \text{III.14}$$

$$\text{pk}_a = \frac{\Delta G_{\text{sol}}}{1,364} - 1,744 \quad \text{III.15}$$

$$\text{pk}_a(\text{Corrigé}) = \text{pk}_a(\text{calculé}) - 4,54 \quad \text{III.16}$$

$$\Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_3\text{O}^+) = -110 \text{ Kcal/mol [36].}$$

$$\Delta G_{\text{sol}}(\text{H}_2\text{O}) = -6,32 \text{ Kcal/mol [36].}$$

Pour le calcul de pK_a , toutes les valeurs des énergies de Gibbs ont été converties de ua (ou Ha) en Kcal/mol de la manière suivante :

$$1 \text{ ua} = 627,509 \text{ Kcal/mol}$$

Chapitre IV
Résultatset discussions

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre nous allons récapituler tous les résultats des analyses physicochimiques de l'eau et de la tomate concentrée. Une brève comparaison va être aussi réalisée pour montrer s'il y a ou non une influence du stockage sur la qualité du concentré de la tomate. Les valeurs de pKa des OHs de la vitamine C (acide ascorbique) vont aussi être présentées avec des interprétations pour chaque partie.

IV.1. Partie expérimentale

IV.1.1. Analyse de l'eau

La qualité d'eau utilisée après traitement pour l'étape de fabrication de la tomate concentrée est un facteur primordial afin d'obtenir une qualité acceptable du produit fini.

Les paramètres physicochimiques qui ont été mesurés ou calculés sont: température, aspect, pH, conductivité, dureté, chlorure, titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), manganèse, fer total, clore libre et turbidité.

Le but de cette analyse est de contrôler la qualité de l'eau traitée utilisée dans la fabrication de la tomate concentrée en comparant les résultats obtenus avec les normes exigées.

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur l'eau au mois de mars sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau.

Paramètre	Unité	Résultat	Normes
Température	°C	17,5	≤ 25°C
Aspect	-	Claire	-
pH	-	7,89	6,5 ≤ pH ≤ 9
Conductivité à 25°C	μS/cm	1249	≤ 2800
Dureté	°f ou mg/l	52,4°f (372,04 mg/l)	Max 50
Chlorure	mg/l	130,64	≤ 500
Titre alcalimétrique (TA)	°f ou mg/l	8,4°f (59,64 mg/l)	-
Titre alcalimétrique complet (TAC)	°f ou mg/l	35,2°f (249,92 mg/l)	-
Manganèse	μg/l	0,0	≤ 50
Fer total	mg/l	0,0	≤ 0,3
Chlore libre	ppm	0,0	Max 0,5
Turbidité	UNT	0,63	≤ 5

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les valeurs des paramètres physicochimiques sont conformes aux normes exigées.

Nous remarquons que le pH de l'eau (7,89) est légèrement basique. Les concentrations du manganèse, du fer et du chlore libre sont nulles.

IV.1.2. Analyses physico-chimiques du produit (CT)

Plusieurs prélèvements pour effectuer des analyses physicochimiques sur le concentré de tomate à l'entrée (avant l'étape de la cuisson) et à la sortie (produit fini). Les paramètres mesurés ou calculés sont: le poids, le Brix, le pH, la couleur, la viscosité et l'acidité.

IV.1.2.1. Le poids

Les résultats du poids de cinq échantillons sont récapitulés dans le tableau (IV.2) :

Tableau IV.2: Résultats du poids.

Produits	1	2	3	4	5	Poids idéal
Poids (g)	403	398	401	400	390	400

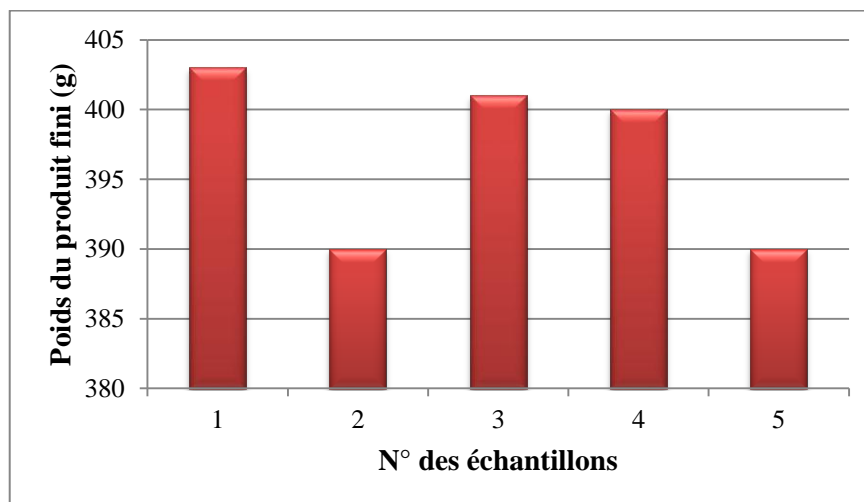


Figure IV.1: Représentation des poids du produit fini.

Selon les résultats obtenus du concentré de tomate (produit fini), les poids varient entre 390 g et 403 g. L'échantillon 4 correspond au poids idéal (400 g).

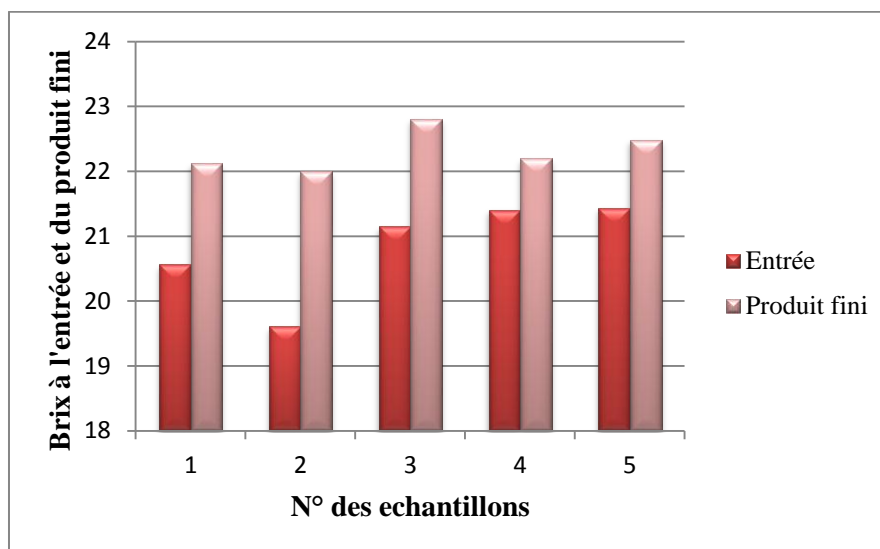
IV.1.2.2. Le Brix

Le Brix est le paramètre le plus important dans les analyses physico-chimiques de la tomate concentrée.

Les résultats du Brix des cinq échantillons sont représentés dans le tableau (IV.3) :

Tableau IV.3 : Résultats du Brix.

Produits	1	2	3	4	5	Normes
Brix à l'entrée(%)	20,56	19,60	21,15	21,40	21,43	20 - 22
Brix du produit fini(%)	22,12	22,00	22,80	22,20	22,48	22

*Figure IV.2: Représentation du Brix à l'entrée et du produit fini.*

Les valeurs du Brix à l'entrée pour les produits de 1 à 5 sont inférieures à celles des produits finis cela est expliqué par l'évaporation de l'eau pendant la cuisson pour obtenir des concentrés de tomate dans les normes exigées.

A l'entrée et à la sortie (produit fini), les normes de Brix exigées sont 20-22% et 22% respectivement.

A l'exception du Brix du produit numéro 2 à l'entrée (19,60%), toutes les autres valeurs sont très satisfaisantes.

Pour remédier à cette valeur basse du produit 2 à l'entrée, on a procédé à la diminution de la quantité d'eau pour augmenter la valeur du Brix.

IV.1.2.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les pH qui ont été mesurés à une température ambiante de 25°C pour les cinq échantillons, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4: Résultats du pH.

Produits	1	2	3	4	5	Normes
pH à l'entrée	4,27	4,26	4,24	4,24	4,31	4,2 - 4,48
pH du produit fini	4,25	4,24	4,14	4,19	4,28	4,2 - 4,48

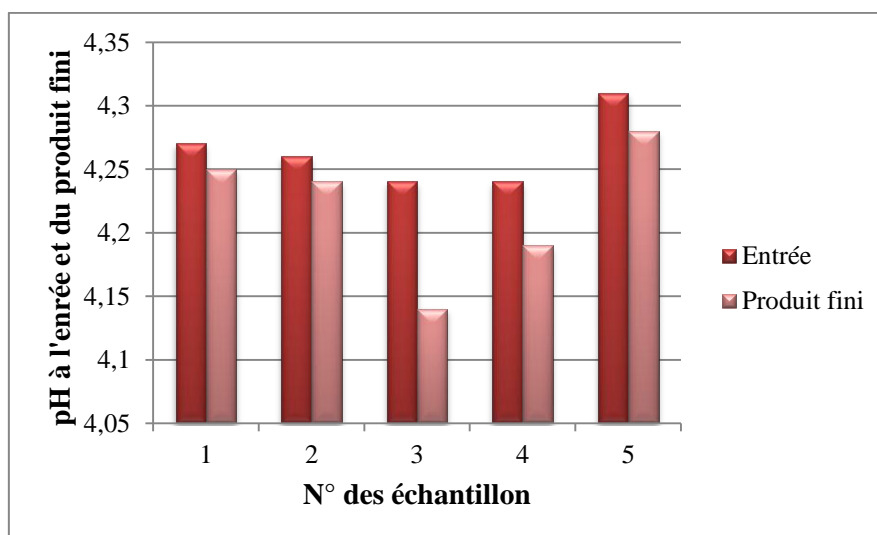


Figure IV.3: Représentation du pH à l'entrée et du produit fini.

Les mesures du pH des cinq échantillons (4,24 - 4,31) et (4,14 - 4,28) à l'entrée et la sortie respectivement sont dans les normes (4,2 - 4,48). Nous remarquons que les résultats de pH pour les produits finis sont inférieurs à celle des produits à l'entrée, ce qui est tout à fait logique parce que le pH diminue avec l'augmentation de la concentration.

IV.1.2.4. La couleur

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

Tableau IV.5: Résultats de la couleur.

Produits	1	2	3	4	5	Normes
Couleur (a/b) du produit fini	1,86	1,82	1,85	1,86	1,90	1,75 – 1,85

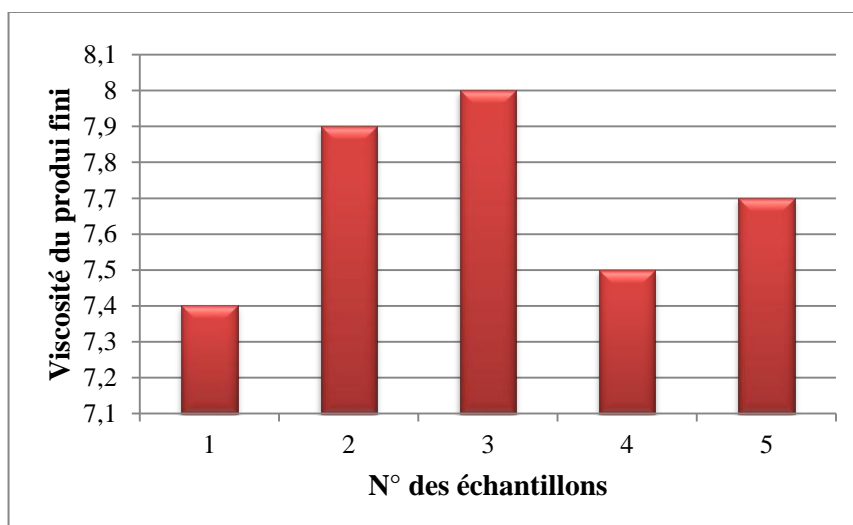
Ce paramètre organoleptique est mesuré par le rapport a/b donnant les valeurs de 1,82 à 1,90 du produit fini qui sont un peu décalés par rapport aux normes idéals mais elles sont acceptables au niveau de l'unité de fabrication. Les valeurs du rapport a/b qui sont toutes supérieures à 1,85 sont dues probablement à la couleur de la tomate fraîche.

IV.1.2.5. La viscosité

Les résultats de la viscosité des échantillons analysés sont représentés dans le tableau IV.6:

Tableau IV.6: Résultats de la viscosité.

Produits	1	2	3	4	5	Normes
Viscosité du produit fini (cm/s)	7,4	7,9	8	7,5	7,7	7 - 8

*Figure IV.4: Représentation de la viscosité du produit fini.*

Un autre paramètre important pour le contrôle de la qualité du concentré de tomate est la viscosité. Les mesures obtenues des cinq produits finis sont acceptables (7,4 - 8) et conformes aux normes (7 - 8).

IV.1.2.6. L'acidité

Les résultats de l'acidité des cinq échantillons sont représentés dans le tableau IV.7 :

Tableau IV.7: Résultats de l'acidité.

Produits	1	2	3	4	5	Normes
Acidité du produit fini (%)	5,80	5,25	5,94	5,83	5,91	5,5 - 7,5

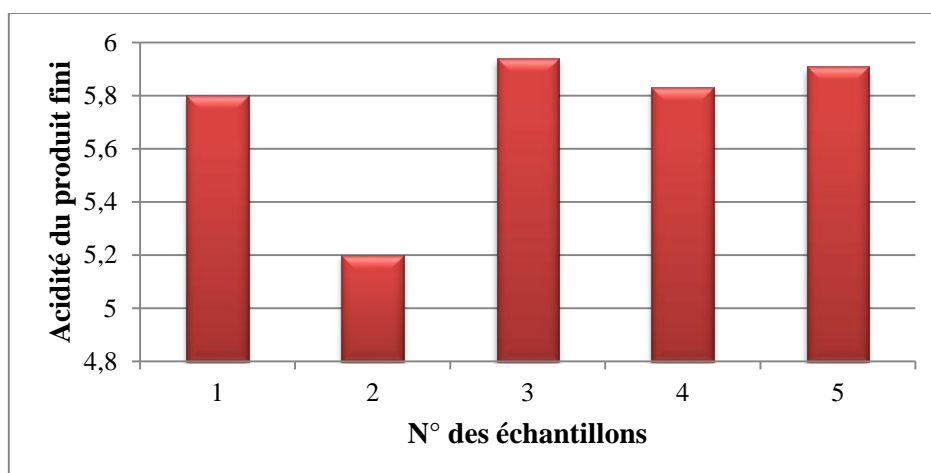


Figure IV.5: Représentation de l'acidité du produit fini.

A l'exception de l'échantillon 2 (acidité = 5,25%), nous remarquons que les résultats obtenus pour les quatre échantillons du concentré de tomate varient entre 5,8 à 5,94% qui sont tous dans les normes.

IV.1.2.7. Test de stabilité

Le test de stabilité a été effectué à trois températures (25, 37 et 55°C).

Le tableau IV.8 comprend les poids de la tomate concentrée dans six boîtes dont deux sont utilisées comme des témoins.

Tableau IV.8: Pesage des boîtes du concentré de tomate destinées au test de stabilité.

Poids					
Témoin 1 à 25°C	Témoin 2 à 25°C	Boîte 1 à 37 °C	Boîte 2 à 37 °C	Boîte 1 à 55 °C	Boîte 2 à 55 °C
400	409	407	408	410	409

Plusieurs paramètres en l'occurrence: déformation d'emballage, modification d'aspect et texture, modification d'odeur, flochage, fuitage, bombage et pH ont été mesurés ou contrôlés visuellement après sept jours d'incubation des boîtes dans l'étuve à 37 et 55°C en comparaison avec deux boîtes témoins à 25°C.

Tableau IV.9: Résultats du test de stabilité.

Déformation d'emballage	Modification d'aspect et texture	Modification d'odeur	Flochage	Fuitage	Bombage	pH
Témoin 1	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,19
Témoin 2	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,18
Boîte1 à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,17
Boîte2 à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,17
Boîte1 à 55°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,16
Boîte2 à 55°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	4,16
Variation du pH	Boîte à 37°C/Témoin à 25°C: 0,02 Boîte à 55°C/ Témoin à 25°C : 0,03				Normes < 0,5	

Les résultats du test de stabilité ont montré qu'il n'y a aucun changement d'odeur, ni modification dans l'emballage (bombage, fuitage ou flochage), par conséquent le produit fini est stable lorsque la température a changé.

En ce qui concerne la variation du pH, nous avons constaté que la déviation est minimale 0,02 et 0,03 pour les boîtes à 37 et 55°C respectivement comparées avec les témoins à 25°C.

Vu les observations citées ci-dessus, le produit de la tomate concentrée sera commercialisé.

IV.1.3. Comparaison de la qualité du produit fini CT et DCT à partir de la tomate fraîche et de la tomate stockée

Une comparaison de quelques propriétés physicochimiques de la tomate concentrée CT (22%) et de la tomate double concentrée DCT (28%) produites à partir de la tomate fraîche et de la tomate stockée.

Le but est donc de montrer s'il y a un effet significatif du stockage sur la qualité du produit fini destiné à la commercialisation.

La tomate fraîche récoltée pendant la saison d'été est utilisée directement pour la fabrication de la CT et de la DCT en passant par l'extraction du jus de tomate avant l'étape d'évaporation.

Pour obtenir le concentré de tomate CT, la conserverie CAB utilise un mélange de la tomate rouge et verte. En revanche le DCT est produit à partir de la tomate rouge uniquement.

Tableau IV.10: Paramètres du jus de tomate.

Produits		Paramètres		
		Brix de jus	pH de jus	a/b de jus
CT	Entrée	5,09	4,42	1,88
	Sortie	-	-	-
DCT	Entrée	6,00	4,34	2,12
	sortie	-	-	-

A partir du tableau IV.10, les résultats du Brix, pH et le rapport a/b de la couleur montrent qu'il y a une différence de ces paramètres du jus de tomate destiné pour produire le CT et le DCT.

Après évaporation, le jus de tomate est divisé en deux quantités (parties), la première est acheminée pour la fabrication de CT et DCT pendant la même saison d'été et l'autre vers le stockage dans des conditions favorables sous forme d'une tomate triple concentrée (TCT \approx 36%) pour être utilisée ultérieurement pendant toute l'année.

Dans ce qui suit, nous allons faire une comparaison des analyses physicochimiques effectuées sur le CT et le DCT dans les deux cas:

- Fabrication à partir de la tomate fraîche.
- Fabrication à partir de la tomate stockée.

Les résultats des paramètres physicochimiques de CT et DCT sont récapitulés dans un tableau comparatif.

Tableau IV.11: Comparaison des paramètres physicochimiques de CT et de DCT entre tomate fraîche et tomate stockée.

Paramètres	Brix	pH	Couleur	Viscosité	Acidité
A partir de la tomate fraîche					
CT (22%)	22,1	4,32	1,96	5,50	7,12
DCT (28%)	28,7	4,32	2,00	7,25	6,67
A partir de la tomate stockée					
CT (22%)	22,5	4,33	1,78	9,00	7,04
DCT (28%)	28,08	4,36	1,94	9,5	7,26

D'après le tableau IV.11, les résultats montrent que le stockage n'a pas une influence sur le Brix et le pH de la tomate CT et DCT.

En ce qui concerne l'acidité de DCT, nous avons constaté qu'elle augmente dans le cas de la tomate stockée, ce qui est peut être expliqué par la décomposition de certains

constituants de la tomate en acides pendant la période de stockage. Ce paramètre est dans tous les cas reste dans la norme exigée.

La viscosité est le seul paramètre dont la valeur a dévié significativement de la norme dans le cas du CT (5,5 cm /30 s) à partir de la tomate fraîche et CT et DCT (9 et 9,5 cm/30 s) respectivement dans le cas de la tomate stockée.

IV.2. Partie théorique

IV.2.1. Molécule de l'acide ascorbique

Les figures IV.6 et IV.7 représentent respectivement l'acide ascorbique numéroté systématiquement et la molécule optimisée par le logiciel GAUSSIAN en utilisant la méthode DFT.

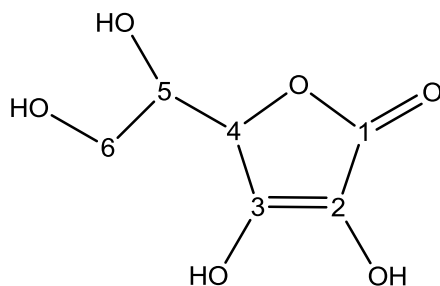


Figure IV.6: Molécule de l'acide ascorbique avec numérotation.

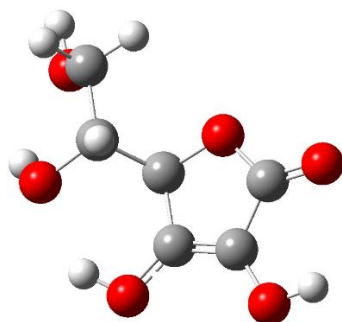


Figure IV.7: Molécule de l'acide ascorbique optimisée.

Les valeurs des énergies de Gibbs (enthalpies libres) en phase gazeuse et en solution sont rassemblées dans le tableau IV.12.

Tableau IV.12: Valeurs des énergies de Gibbs des quatre OHs.

Entité	AA(2-O)	AA(3-O)	AA(5-O)	AA(6-O)
G_g (ua)	-684,338	-684,376	-684,376	-684,380
G_{sol} (ua)	-684,441	-684,461	-684,461	-684,464

Nous remarquons selon le tableau ci-dessus que les valeurs des énergies de Gibbs sont proches et sont toutes négatives.

L'acidité de la tomate est due à sa composition chimique et essentiellement à la présence de la vitamine C (acide ascorbique). La force d'un acide est mesurée par son pK_a .

Dans ce travail, nous avons calculé théoriquement les pK_a s de quatre OHs de l'acide ascorbique dont deux sont situés dans le penta cycle et les deux autres sont à l'extérieur du cycle.

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs des variations des énergies de Gibbs et les valeurs de pK_a s des différents OHs de l'acide ascorbique.

Tableau IV.13: Les variations des énergies de Gibbs et pK_a s des OHs.

Entité	AA (2-O)	AA (3-O)	AA (5-O)	AA (6-O)
ΔG_g (Kcal/mol)	177,879	154,087	154,087	151,006
ΔG_{sol} (Kcal/mol)	21,472	8,935	8,935	7,224
pK_a	9,457	0,266	0,266	-0,988
$pK_{a(moy)} = 2,25$				

La valeur moyenne du $pK_a(2,25)$ montre que cet acide est moyennement dissocié.

Les pK_a s de quatre OHs de l'acide ascorbique suivent la séquence suivante:

$$6\text{-OH} < 3\text{-OH} = 5\text{-OH} < 2\text{-OH}.$$

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la valeur la plus basse de pK_a s (-0,98) appartenant à 6-OH situé à l'extérieur du penta-cycle indique que ce site est le plus acide et par conséquent peut céder aisément un proton au profit d'une autre molécule au radical.

La deuxième valeur de pK_a (0,26) pour 3-OH et 5-OH nous permet de conclure que ces deux sites ont la même force acide malgré que l'un est à l'intérieur et l'autre à l'extérieur du penta cycle.

Le pK_a le plus élevé dans la molécule de l'acide ascorbique a été trouvé à l'intérieur du penta cycle (2-OH) avec une valeur de 9,45 qui montre que ce site est basique.

Nous pouvons dire d'après les résultats ci-dessus que l'acidité de l'acide ascorbique est travers laquelle l'acidité de la tomate est due principalement aux pK_a s des 3-OH, 5-OH et 6-OH.

Selon les pK_a s calculés nous pouvons conclure que les sites préférés de l'acide ascorbique pour l'activité antioxydante sont 6-OH, 3-OH et 5-OH.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous pouvons dire qu'après une durée de stage à la conserverie (CAB), les objectifs ont été atteints.

- Au sein de la station de traitement de l'eau, nous avons constaté que les méthodes et les techniques utilisées pour l'épuration sont évoluées et modernes en l'occurrence; l'utilisation des membranes semi-perméables, le charbon actif et les radiations UV.
- Les analyses physicochimiques ont montré que l'eau utilisée après traitement est de bonne qualité et répondant aux normes exigées.
- Le procédé de fabrication de la tomate qui a été commencé par des étapes préliminaires (de la réception jusqu'à le triage manuel), suivi par le procédé de transformation (du broyage jusqu'à la pasteurisation) et fini par le conditionnement (du remplissage jusqu'au stockage) a été bien suivi et une comparaison a été faite lorsqu'on utilise la tomate fraîche pendant la saison d'été et la tomate stockée. Nous avons remarqué que le stockage n'a pas affecté la qualité de la tomate concentrée grâce aux meilleures conditions d'emmagasinage.
- Les analyses effectuées sur le produit à l'entrée et à la sortie révèlent qu'elles sont souvent dans les normes requises.
- Nous pouvons conclure d'après les résultats que l'acidité de l'acide ascorbique est travers laquelle l'acidité de la tomate est due principalement aux pK_a s des sites : 3-OH, 5-OH et 6-OH.

Ce travail peut être complété ultérieurement par d'autres études expérimentales ou théoriques afin d'enrichir et produire des données qui intéressent des scientifiques et des industriels.

Références

Références

- [1] **I.FADEL**. Rapport de stage sur les procédés de fabrication et les analyses physicochimiques et microbiologiques de la tomate. CAB (Conserverie Amor Benamor). Bouati Mahmoud, Guelma.
- [2] <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-tomate-reine-legumes-fruits-1675/page/3/>
- [3] <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/tomate.htm>
- [4] <http://culture.tomate.free.fr/description.php>
- [5] <https://wizzz.fr/8-bienfaits-des-tomates-pourquoi-en-consommer/>
- [6] <http://www.djamiatic.net/tomate/Cours/cours4.htm>
- [7] **S.TEBBAKH, B.KELAIAIA**. Suivi du procédé de production et contrôle de qualité de la tomate (*Solanumlycopresicon* L.) de l'usine Zimba (Guelma). Master de l'Université 8 Mai 1945, Guelma, **2019- 2020**.
- [8] **M. SPERTE**. Vitamines et oligoéléments : manifestations buccales des déficits et implications thérapeutiques en chirurgie dentaire. Thèse de l'Université toulouse iii – paulsabatier, **2016**.
- [9] **S.OUSLIM**. Article sur les vitamines. Université d'Oran, Faculté de médecine.
- [10] <https://www.havea.com/vitamine-b3.html>
- [11] https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/vitamines_niv2.htm
- [12] <https://www.infos-tomates.com/culture/description-biologique/valeur-nutritive-de-la-tomate>
- [13] **E.SCHWARTZ**. La vitamine C. Université du Québec à Chicoutimi, **2016**.
- [14] <https://lecourrier-dalgerie.com/tomate-industrielle-la-campagne-de-recolte-lancee-precocement-a-el-tarf/>
- [15] <https://www.audreycuisine.fr/2016/10/21/la-culture-durable-des-tomates/>

Références

- [16] **A.ADJABI, M.KOUADRI, I.ZEMITI.** Méthodes d'étude de la qualité physico-chimiques et microbiologiques de la tomate en conserve selon les normes Algériennes - Etude théorique - . Master de l'Université 8 Mai 1945, Guelma, **2019- 2020.**
- [17] <http://n2a.ma/usine-de-concentre-de-tomate/>
- [18] <https://www.reporters.dz/el-tarf-les-producteurs-de-tomate-industrielle-exposent-leurs-problemes/>
- [19] <http://inc.nat.tn/sites/default/files/documentfiles/article%206%20La%20transformation%20de%20la%20tomate.pdf>
- [20] <https://www.fbr-elpo.it/fr/gamma-di-produzione/traitment-de-tomates/reception-et-triage/>
- [21] **S.ALIOUI, B.SEGNI.** Étude de la qualité physico-chimique et microbiologique de la conserve du concentré de tomate (ZIMBA). -. Master de l'Université 8 Mai 1945, Guelma, **2019- 2020.**
- [22] <https://www.usinenouvelle.com/expo/ligne-de-production-de-concentre-de-tom-p68274373.html>
- [23] **M.YOUSFI.** Développement de la technologie agro-alimentaire dans la région de Touat Cas de la conserverie de tomate de Reggane. Université Africaine Ahmed Draia, Adrar, **2017-2018.**
- [24] <https://www.boema.com/fr/dettaglio-6-5-rechauffeur-desactivateur-enzymatique-h54>
- [25] <http://www.alcosfoodplants.it/es/producto/evaporadores-a-circulacion-forzada-pelicula-descendente-hibridos/>
- [26] <https://www.directindustry.fr/prod/alimenta-industries-srl/product-210803-2157087.html>
- [27] <https://www.algerie360.com/chlef-la-tomate-industrielle-au-menu/>
- [28] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-ph-222/>
- [29] <http://www.eaudeparis.fr/vos-questions-nos-reponses/categorieFAQ/qualite-de-leau-du-robinet/>

Références

- [30] <http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic/section-1-problematiques-associees-a-la-qualite-de-leau/1-5-presence-de-chlorures>
- [31] **N.DAFRI, I.KHAMASSI, H.NOUADRI.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau utilisée dans les industries agro-alimentaire Cas : Conserverie Amor Ben Amor- Bouati Mahmoud – Guelma. Master de l'Université 8 Mai 1945, Guelma, **2019.**
- [32] <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/eau-potable/contamination-de-l-eau-potable-d-un-puits/manganese>
- [33] https://www.gov.mb.ca/sd/waterstewardship/odw/public_info/fact_sheets/pdf/fr/factsheet_turbidity_fr.pdf
- [34] https://www.gastronomiac.com/ustensiles_et_vocabu/echelle-de-brix/
- [35] <https://www.lachimie.fr/solutions/phmetrie/ph.php>
- [36] **R.Josefredo, Jr.Pliego.** Thermodynamic cycles and the calculation of pKa. Universidade Federal de Santa Catarina, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil, **2002.**
- [37] <http://dspace.univdelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/644/6.%20Chapitre%20I.pdf?sequence=4&isAllowed=y>