



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par M^{elle} : CHIKHAOUI Batoul Fatima Zohra

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

Thème

**Déshydratation osmotique, séchage et qualité
microbiologique des tomates séchées.**

Jury de soutenance: Soutenu le : 29 juin 2019

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. ROUGHY Taher	Maître assistant "A"	Président
M ^{me} . LOUNICI Safia	Maître assistant "A"	Examineur
Dr. GOUDJAL Yacine	Maître de conférences "A"	Rapporteur

Session : Juin - 2019

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie cette mémoire de Master à :

*A Ma tendre Mère **Zohra** : Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

*A Mon très cher Père **Abdelkader** : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

A mes chères frère : "Ahmed et Mohamed".

A mes sœurs : "Abir, Meriem".

A mes chers beaux grands parents : 'EL-hadj Ali – EL-Hadja Lhachimiya – EL Hadja Zoubida et

A la mémoire de grand père EL-hadj Ahmed."

A mes tantes et mes oncles.

A toute ma famille, Chikhaoui et Allali

A mes très chère amies : 'Djihan, Ibtissem, Naffissa, Khadidja, Ilhem, Meriem, Ihssanet Nassima".

A tous les membres de ma promotion d'agroalimentaire et contrôle de qualité.

En fin, à toutes les personnes qui comptent pour moi, qui ont intervenu dans ma vie et qui m'ont accompagné et soutenu. Et

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le bon Dieu pour sa bienveillance

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de la mémoire, Monsieur "GOUDJAL Yacine", maître de conférence "A" au département des sciences alimentaire Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Aux membres du jury "ROUIGHI Taher" et "LOUNICI Safia", des maîtres assistants "A" au département des sciences alimentaire.

Nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes études.

Je remercie en particulier "Aicha, Halima, Halima et Fatima", pour m'avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser mon travail de laboratoire.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Table des Matières

	Page
Résumé.....	
ملخص.....	
Abstract	
Liste des abréviations	I
Liste des équations	II
Liste des Tableaux.....	III
Liste des figures	IV
Introduction	1
Partie I - Synthèse bibliographique.....	3
Chapitre I - Aspects généraux	3
I.1- Histoire de la tomate	3
I.2 - Définition de la tomate	3
I.3 - Description botanique de la tomate.....	3
I.4 - Classification de la tomate.....	4
I.4.1 - Classification botanique	4
I.4.2 - Classification variétale	5
I.5 - Utilisations de la tomate	6
1.6 - Propriétés nutritionnelles et composition biochimique de la tomate	6
I.7 - Données économiques.....	7
I.7.1 - Production mondiale	7
1.7.2 - Production en Algérie	8
I.8 - Principales techniques de conservation des fruits.....	9
I.8.1 - Techniques de conservation par le froid.....	9
I.8.2 - Les techniques de conservation par la chaleur	9

1.8.3 -Conservation, séparation et élimination de l'eau	10
1.8.4 - Conservation de tomate par le sel.....	10
Chapitre II - Généralités sure la déshydratation et séchage	11
II .1- La déshydratation osmotique	11
1.1 - Définition	11
1.2 - Principe	11
1.3 - Cinétique de la déshydratation osmotique	12
1.4 - Principaux facteurs influençant les performances de la DO.....	12
1.4.1 - Facteurs liés à l'aliment	13
1.4.2 - Facteurs liés à la solution osmotique	13
1.5 - Durée du traitement	15
1.6 - Effet de l'agitation sur la DO.....	15
1.7 - Prétraitement thermique	17
1.8 - Application de la DO.....	18
1.9 - Méthodes combinés à la DO	19
1.10 - Qualité des produits végétaux traités par DO	20
II.2 - Séchage.....	22
2.1- Généralités sur le séchage.....	22
2.2 - Définition	22
2.3 - Principe	23
2.4 - Types de séchage.....	23
□ Par entraînement	23
2.5 - Description physique du séchage	26
2.6 - Le séchage à l'air libre.....	28
2.7 –Le séchage à l'étuve.....	28
Chapitre III - Qualité microbiologique des fruits secs.....	28
III - Les analyses microbiologiques des fruits secs.....	28
1 - Caractéristiques des germes recherchés	28
1.1 - Les germes aérobies à 30°C (ou totale)	29

1.2 - Les coliformes totaux et coliformes fécaux.....	29
1.3 - Levures et moisissures.....	29
2 - Sources de contamination et prévention.....	30
Partie II. Matériel et Méthodes	34
I - Matériel.....	34
I.1 - Matériel biologique.....	34
□ Tomate	34
□ Le sel.....	34
I.2 - Matériel technique	35
II- Méthodes expérimentales.....	35
II.1 - Méthodes d'analyses biochimiques	35
II.2 - Description de l'étude	38
II.3 - Protocole expérimental	40
II.4 - Optimisation des paramètres de déshydratation osmotique par planification expérimentale.....	41
II.5 - Choix de la réponse	42
II.6 - Expérimentation selon un plan complet.....	42
III - Méthodes d'analyses microbiologiques	47
III.1 - Flores aérobies mésophilestotales (FMAT).....	47
III.2 - Coliformes totaux (CT) et les coliformes fécaux (CF).....	49
III.3 - Levures et moisissures.....	50
Partie III - Résultats et discussions.....	52
I - Résultats des analyses biochimiques de la tomate fraîche et de la tomate séchée.....	52
I.1- Teneur en eau.....	52
I.2 - Taux de cendres de la tomate fraîche et de la tomate séchée	53
I.3 - Acidité titrable	53
I.4 - Taux de sucres réducteurs dans la tomate fraîche et séchée.....	54
II- Les principales étapes de la production des tomates séchées	55

III - Résultats de la déshydratation osmotique	57
III.1 - Détermination de la perte en poids par déshydratation osmotique	57
IV - Résultats du séchage complémentaire	60
V - Optimisation des paramètres de la déshydratation osmotique et du séchage.....	63
VI - Résultats des analyses microbiologiques	66
VI.1 - La flore aérobie mésophile totale	67
VI.2 - Les coliformes totaux et les coliformes fécaux.....	68
VI.3 - Levures et moisissures.....	68
Conclusion	70
Annexes.....	71
Références bibliographiques	73

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

Aw: Activité de l' eau

CF : Coliformes Féciaux

CT : Coliformes Totaux

DII : Déshydratation-Imprégnation par Immersion

DO: Déshydratation Osmotique

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nation

FTAM : Flore Totale Aérobie Mésophile

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

MF: Matière Fraîche

MS: Matière Sèche

UFC/g: Unité Formant une Colonie/gramme

VRBL: La gélose Lactosée Biliée au cristal Violet et au Rouge Neutre

Liste des équations

	Page
Équation 1. Flux thermique.....	23
Équation 2. Régime convectif.	24
Équation 3. Quntité de chaleur transmise.	25
Équation 4. Quntité de chaleur transmie.....	25
Équation 5. Teneur en eau.....	35
Équation 6. Taux des cendres.....	36
Équation 7. Acidité titrable.	37
Équation 8. Taux des sucres réducteurs.....	37
Équation 9. Effet de la déshydratation osmotique sur la perte en poids d'échantillon.....	45
Équation 10. Effet du séchage sur la perte en poids d'échantillon	46

Liste des Tableaux

	Page
Tableau 1. Classification systématique de <i>Lycopersicum esculentum</i>	5
Tableau 2. Composition de la tomate fraîche	7
Tableau 3. Composition biochimique de la tomate crue.....	7
Tableau 4. Production mondiale annuelle de tomates exprimée en tomate.	8
Tableau 5. Application de la déshydratation osmotique sur des légumes.....	18
Tableau 6. Application de la déshydratation osmotique sur des fruits	19
Tableau 7. Domaines de l'étude pour les facteurs de variation retenus pour l'optimisation de la déshydratation osmotique de la tomate.....	42
Tableau 8. Matrice d'expériences selon un plan complet déterminé par logiciel Mini-tab (version 2017) pour Windows7.	43
Tableau 9. Les principales étapes de la déshydratation osmotique et du séchage des tomates.	56
Tableau 10. Matrice d'expériences de déshydratation osmotique de la tomate et réponses selon un plan complet de type : 2^k	58
Tableau 11. Résultats de l'effet du séchage sur la perte en poids des échantillons de tomate déshydratée osmotiquement.	61
Tableau 12. Combinaison entre l'effet de la déshydratation osmotique et du séchage	64
Tableau 13. Résultats des analyses microbiologiques des tomates séchées exprimés en UFC/g.	67

Liste des figures

	Page
Figure 1. Coupe anatomique d'une tomate	4
Figure 2. Variétés de tomate classées selon la forme	6
Figure 3. Représentation schématisée de flux de transfert de matière dans le système végétal/liquide.	12
Figure 4. Les différents systèmes de mise en contact des phases (solution osmotique et l'aliment) pour une déshydratation osmotique.....	16
Figure 5. Représentation schématisée d'un solide humide.	26
Figure 6. Courbe de séchage $n_s=f(t)$	27
Figure 7. Courbe de séchage $dn_s/dt=f(t)$	27
Figure 8. Courbe de séchage $dn_s/dt=f(n_s)$	28
Figure 9. Photographie montrant un échantillon de tomate (<i>Lycopersicon esculentum L.</i>)...	34
Figure 10. Sel de consommation courante utilisée pour la déshydratation osmotique.	35
Figure 11. Organigramme résumant les principales étapes de déshydratation osmotique et du séchage complémentaire.....	39
Figure 12. Tranches des tomates préparées pour la déshydratation osmotique.	40
Figure 13. Photographie montrant des tranches de tomate en cours de la déshydratation osmotique.	41
Figure 14. Photographie montrant le logiciel Mini-tab version 2017 pour Windows.	45
Figure 15. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale	48
Figure 16. Schéma représentant la méthode de dénombrement des levures et des moisissures.	51
Figure 17. Histogrammes représentant la teneur en eau des tomates fraîches et des tomates séchées.....	52
Figure 18. Taux des cendres des échantillons de tomate fraîche et tomate séchée.	53
Figure 19. Acidité titrable de la tomate fraîche et de la tomate séchée.	54

Figure 20. Taux de sucres réducteurs de la tomate fraîche et tomate séchée.	54
Figure 21. Effet de la déshydratation osmotique sur la perte en poids des échantillons des tomates selon un plan complet 2^K	59
Figure 22. Effet du séchage complémentaire sur la perte en poids des tranches tomates osmo-déshydratées.	63
Figure 23. Combinaison entre l'effet de la déshydratation osmotique (X_1) et l'effet du séchage (X_2).	65
Figure 24. Effet des quatre facteurs de variation (température et le temps d'incubation, masse du sel, les épicarpes) sur la déshydratation osmotique et su séchage de tomate.	66
Figure 25. Photographies montrant l'absence des flores aérobies mésophiles totaux, des coliformes fécaux et des coliformes fécaux, des levures et des moisissures dans les échantillon de tomate séchée.	69

Introduction

La production de nombreuses denrées alimentaires périssables comme la tomate est saisonnière. Ces denrées ne sont disponibles que pendant une partie de l'année, assez brève, qui est insuffisante pour absorber les excès de production par le marché, d'où la nécessité de transformer et de conserver l'excédent afin d'éviter le gaspillage et les pertes.

La tomate est un fruit charnu considéré comme l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine. Elle est devenue, au fil des ans, un élément inéluctable de la gastronomie de plusieurs pays ([Blancard, 2009](#)).

En effet, la tomate est, après la pomme de terre, le légume le plus consommé dans le monde ([Blancard, 2009](#)), avec une production de 140 millions de tonnes chaque année. Elle est transformée en industrie et consommée comme légume frais. La tomate représente 1/6^{ème} de la production mondiale des légumes (pomme de terre exclue) ([Navez, 2011](#)).

En raison du caractère saisonnier de la production, la conservation des légumes et des fruits sur de longues durées impose la mise en œuvre de traitements spécifiques permettant l'inactivation des enzymes tissulaires et des microorganismes et la protection contre les contaminations ultérieures ([Colas, 2003](#)). Les méthodes modernes de conservation et de stockage tels que la réfrigération et la congélation sont largement utilisées dans les pays développés, ce qui n'est pas le cas dans les pays dits en voie de développement ([Burden et Wills, 1992](#)). Près de la moitié de la population du tiers monde n'a pas accès à des vivres suffisants ; les pertes alimentaires qui se produisent après la récolte et au cours de la commercialisation sont très importantes dans ces pays et où le besoin se fait le plus sentir. Parmi les produits alimentaires d'origine végétale qui subissent le plus de pertes, ce sont les produits dits périssables à savoir les racines et les tubercules, les fruits et les légumes ([Burden et Wills, 1992](#)). De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (tomate, dattes,...etc.) se prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité ([Lahmari et al., 2012](#)). Il est possible, avant séchage, d'abaisser fortement l'activité en eau du produit par une déshydratation osmotique de ce dernier ([Adambounou et castaigne, 1983](#)).

Le procédé de déshydratation osmotique est largement utilisé pour l'élimination de l'eau du légume, pour obtenir un produit d'humidité intermédiaire, ou comme un prétraitement avant la mise en place d'un processus supplémentaire ([Lenart,](#)

1996 ;Torregiani et Bertolo, 2001). Il permet de réduire la charge microbienne, et ainsi de prolonger la période de conservation des produits (Castello et al., 2009).

La sécurité alimentaire, dont la qualité microbiologique des aliments est une composante essentielle, représente un enjeu considérable. Sur le plan du commerce international, elle est très souvent invoquée pour renforcer les barrières aux importations. De plus, elle a un rôle évident à jouer dans la prévention des maladies d'origine alimentaire et par voie de conséquence, elle participe à la maîtrise des dépenses de santé (Leveau et al., 2001). L'examen microbiologique est un outil incontournable d'évaluation du niveau de la contamination des denrées alimentaires et de la nature de leur microflore. Il est très largement utilisé, dans le cadre du contrôle officiel et des autocontrôles mis en œuvre par les industriels, pour garantir la salubrité des denrées qu'ils commercialisent (Leveau et al., 2001).

La tomate avait fait l'objet de beaucoup d'études antérieures par Naika et al., (2005) ;Toussaint et al., (2010) ;Chanforan, (2010) et Bressy et al., (2013). Cette filière a connu une essor important grâce à la découverte des vertus alimentaires et thérapeutiques de ce fruit. L'objectif principal de ce travail est l'étude de la conservation de la tomate par la déshydratation osmotique, le séchage ainsi que l'étude de la qualité microbiologique et physicochimique des tomates séchées.

Notre travail est partagé en trois parties, la première synthétise bibliographique constituée d'un premier chapitre des généralités sur la tomate et d'un deuxième chapitre portant la déshydratation osmotique et le séchage complémentaire appliquée aux aliments, et un troisième chapitre sur la qualité microbiologique des fruits séchés. La deuxième partie illustre et résume le matériel utilisé et les méthodes suivies au cours de l'expérimentation. Puis les résultats obtenus sont présentés et interprétés dans la troisième partie. Notre manuscrit est achevé par une conclusion.

Partie I - Synthèse bibliographique

Chapitre I - Aspects généraux

I.1- Histoire de la tomate

Originaire de l'Amérique de sud. La tomate est un fruit charnu considéré comme l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine. Elle est devenue, au fil des ans, un élément inéluctable de la gastronomie de plusieurs pays (Blancard, 2009). Son introduction pour la première fois en Europe date de 1544 (Naika et al., 2005).

I.2 - Définition de la tomate

La tomate (*SolanumLycopersicum L.*) fait partie de la famille des solanacées. La tomate est le fruit du plant de tomate. Avec près de 15 kg par an et par habitant, la tomate est devenue, cinq siècles après sa découverte, le premier légume-fruit consommé en 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 (MTCTHG, 2009). En Algérie, la tomate a été introduite par les cultivateurs du Sud de l'Espagne. Sa culture a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (Latigui, 1984). Les botanistes ont attribué plusieurs nominations à la tomate, à savoir, « *Solanumesculentum*, *Solanumlycopercicum L.*, ou*Lycopersiconlycopersicum*» et le nom finalement retenu est *Lycopersiconesculentum Mill.* qui est attribué par Philip Miller en 1754 (Blancard, 2009).

I.3 - Description botanique de la tomate

Le fruit de la tomate est une Baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés. Les fruits révèlent également une coloration distincte suivant les variétés : rouges, jaunes, orangés, crèmes, bruns, montrant des zébrures plus foncées. Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (Naika et al., 2005). (Figure 1).

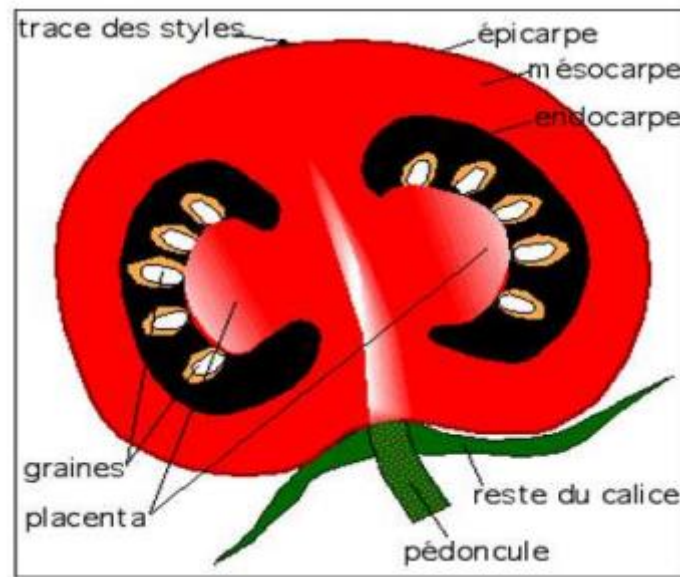


Figure 1. Coupe anatomique d'une tomate (Degrou, 2013).

I.4 - Classification de la tomate

I.4.1 - Classification botanique

Tout d'abord, le nom scientifique *Solanumlycopersicum* L. a été proposé pour remplacer *lycopersicumesculentum* Mille. Utilisée depuis de nombreuses décennies. En effet, les éléments historiques montrent que *Solanumlycopersicum* a été proposé par Linné en 1753, un an avant la proposition de Miller d'associer la tomate au genre *lycopersicum*. Des études phylogénétiques appuient l'idée que la tomate et ses cousins, les *lycopersicum* sauvages, doivent être placés dans le genre *Solanum*. Les deux noms continuent à être utilisés dans la littérature (Blancard, 2009). La classification de la tomate est représentée dans le tableau 01.

Tableau 1. Classification systématique de *Lycopersicon esculentum* (Benton, 2008).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionia
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous –classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanacées
Genre	<i>Lycopersicon</i>
Espèce	<i>Lycopersicon esculentum</i>

I.4.2 - Classification variétale

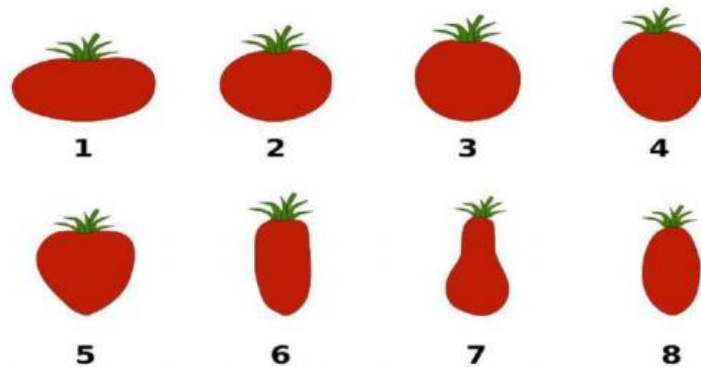
➤ Les variétés déterminées

Dans ce groupe, on trouve des variétés dont la tige émet un nombre donné de bouquets à fleurs. Mais cette tige principale est terminée par un bouquet à fleurs, comme d'ailleurs les rameaux anticipés, il en résulte que faute de bourgeon terminal la croissance de la tige s'arrête d'elle-même. Ce groupe est donc à retenir lorsque l'on souhaite disposer d'une récolte élevée en tonnage, mais dans un éventail de production peu étendu, de 6 à 7 semaines environ. Elles sont utilisées généralement lors de la culture en plein champs (Laumonnier, 1979). En Algérie on trouve des variétés fixées (AICHA) et des variétés hybrides. Ces dernières sont les plus utilisées, elles contiennent essentiellement: FAROUNA, JUKER, LUXOR, SUPER RED, TOP 48, TOMALAND, SUZANA, et ZIGANA ZERALDA (Snoussi, 2010).

➤ Les variétés indéterminées

Ces variétés présentent une tige principale poussant avec régularité et formant un bouquet à fleurs toutes les trois feuilles généralement. Il en résulte que la production des fruits est prolongée. On peut l'arrêter par un pincement du bourgeon terminal à la hauteur souhaitée. Ce groupe se caractérise par un rendement important qui s'étale sur une longue période (Laumonnier, 1979). En Algérie les variétés hybrides sont les plus utilisées citant quelques

unes : ACTANA, AGORA, BOND, NEDJMA, TAFNA, TAVIRA, TOUFAN, TYERNO et ZAHRA (Snoussi, 2010). Dans la figure 02 les variétés des tomate classé selon la forme.



1 : aplatie, 2 : légèrement aplatie, 3 : arrondie, 4 : haute et ronde, 5 : en forme de Cœur, 6 : cylindrique, 7 : en forme de poire, 8 : en forme de prune.

Figure 2. Variétés de tomate classées selon la forme (IPGRI, 2009).

I.5 - Utilisations de la tomate

Les tomates sont produites en vue de la consommation en frais ou en fruit transformé. Elles ont connues de nombreux débouchés ces dernières décennies : on en fait des concentrés, des jus, du ketchup, de la pulpe, des tomates concassées et des tomates pelées (Polese, 2007).

1.6 - Propriétés nutritionnelles et composition biochimique de la tomate

Contrairement à la plupart des fruits, la tomate est un aliment très peu énergétique, car prise crue, elle n'apporte qu'environ 15 kcal/100 g et 20 kcal/100 g à l'état cuit. La tomate comme la plupart des légumes, présente une bonne densité nutritionnelle avec : 94% d'eau et 6% de matière sèche composée de 50% de sucres (fructose et glucose), 25% d'acides organiques (acides citriques et maliques), 8% de minéraux, 2% d'acides aminés, de caroténoïdes et autres métabolites secondaires, c'est aussi une source de fibres (2 g /100g) soit le quart des apports nutritionnels conseillés (Davies et Hobson, 1981). Le tableau 02 illustré les compositions de la tomate fraîche et le tableau 03 représenté les compositions biochimiques de la tomate crue. (Tableau 2 et 3).

Tableau 2. Composition de la tomate fraîche(Cotte, 2000).

Eau (%)	Glucides (%)	Substances azotées (%)	Lipides (%)	Cendres (%)
93,5%	3,6%	0.95%	0,30%	0,74

Tableau 3. Composition biochimique de la tomate crue (Zidani, 2009).

Tomate crue (Teneur par 100g)	
Energie (Kcal)	18
Energie (KJ)	77
Eau(g)	93.3
Glucides disponible	3.2
Fibres alimentaires (g)	1.3
Lipides (g)	0.2
Protéines (g)	0.9
Sodium (g)	6
Potassium(g)	245
Magnésium (g)	11
Phosphore (g)	25
Calcium (g)	10
Fer(g)	0.4

I.7 - Données économiques

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde, sa production est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. A l'échelle mondiale la tomate est classée comme deuxième culture légumière après la pomme de terre de par son volume de production. En effet, près de cinq millions d'hectares sont réservés annuellement à cette culture avec une production de plus de 140 millions de tonnes et un rendement moyen de 28,3 tonne à l'hectare (Faostat,2011).

I.7.1 - Production mondiale

La tomate est la troisième espèce cultivée au monde, après la pomme de terre et la patate douce, et le deuxième légume le plus consommé (De Broglie et Guérault, 2005). Ce légume (fruit) représente donc un enjeu économique, et est soumis à une concurrence importante. Cent cinquante(150) millions de tonnes de tomates sont produites annuellement

dans le monde ; Cette production se répartit sur tous les continents : 44% en Asie, 22,5% en Amérique, 21,5% en Europe, 12% en Afrique ([Grasselly et al, 2000](#)). La France est le sixième producteur européen, derrière la Turquie, l'Italie, l'Espagne, la Grèce et le Portugal ([données INTERFEL 2008](#)). Selon l'INSEE, en France, environ 800 000 tonnes de tomates ont été produites en 2004, dont 580 000 commercialisées en produits frais([Senoussi, 2010](#)).(Tableau4).

Tableau 4. Production mondiale annuelle de tomates exprimée en tomate ([FAOSTAT, 2012](#)).

Pays	2008	2009	2010
Chine	39,938,708	45,365,543	41,879,684
Etats-Unis	12,735,100	14,181,300	12,902,000
Turquie	10,985,400	10,745,600	10,052,000
Inde	10,303,000	11,148,800	11,979,700
Egypte	9,204,100	10,278,500	8,544,990
Italie	5,976,910	6,878,160	6,024,800
Iran	4,826,400	5,887,710	5,256,110
Espagne	4,079,750	4,603,600	4,312 700
Brésil	3,867,660	4,310,480	3,691,320
Mexique	2,936,770	2,591,400	2,997,640

1.7.2 - Production en Algérie

La production nationale de la tomate fraîche s'est établie à 13,72 millions de quintaux (Qtx) durant la campagne 2017-2018. Le rendement a été de 428 Qx/hectare pour la tomate plein champ et 1.225 Qtx/hectare pour la tomate sous serre([MADRP, 2018](#)). Les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra avec une production de 2,33 millions de Qtx, Mostaganem avec une production de 1,33 million de Qtx, Tipaza avec 1,04 million de Qtx et Ain Defla avec 728.250 Qtx. Outre la tomate fraîche, la production de la tomate industrielle (destinée à la transformation), elle a été de 15,4 millions de Qtx durant la campagne (2017-2018), avec un rendement de 651 Qtx/hectare. Les plus grandes wilayas productrices de la tomate industrielle sont Skikda avec une production de 4,65 millions de QtxTarf avec 3,5 millions de Qtx, Guelma avec 2,06 millions de Qtx et Ain Defla avec 1,68 million de Qtx([MADRP, 2018](#)).

I.8 - Principales techniques de conservation des fruits

I.8.1 - Techniques de conservation par le froid

Les traitements de conservation appliqués aux aliments visent à préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives en empêchant le développement des bactéries, champignons et microorganismes qu'ils contiennent et qui peuvent dans certains cas entraîner une intoxication alimentaire (DGCCRF, 2018).

➤ La réfrigération

Cette technique consiste à abaisser la température pour prolonger la durée de conservation des aliments. À l'état réfrigéré, les cellules des tissus animaux et végétaux restent en vie pendant un temps plus ou moins long, et les métabolismes cellulaires sont seulement ralentis. La température des aliments réfrigérés est comprise entre 0 et + 4° C pour les denrées périssables les plus sensibles (DGCCRF, 2018).

I.8.2 - Les techniques de conservation par la chaleur

Le traitement des aliments par la chaleur est la technique la plus utilisée pour la conservation de longue durée. On distingue la pasteurisation lorsque le chauffage est inférieur à 100°C et la stérilisation lorsqu'il est supérieur à 100°C.

a. La pasteurisation

Elle a pour but la destruction des micro-organismes pathogènes et d'altération. La technique utilisée consiste à soumettre les aliments à une température comprise entre 85° C et 100° C pendant une durée déterminée et à les refroidir brutalement. Avantage de cette méthode : elle préserve les caractéristiques des denrées alimentaires, notamment leur saveur. Les denrées pasteurisées comportent une date limite de conservation (DLC) et sont à conserver au frais(DGCCRF, 2018).

b. La stérilisation

D'après DGCCRF, (2018),il s'agit d'un traitement thermique à des températures supérieures à 100° C visant à détruire toute forme microbienne, ce qui assure la stabilité à température ambiante des denrées.

c. L'appertisation (conserves)

Ce procédé associe deux techniques : un conditionnement dans un récipient étanche. un traitement thermique (généralisation la stérilisation). Les produits obtenus peuvent se

conserver plusieurs années à température ambiante (5 ans maximum). Elles comportent une date de durabilité minimale, la date passée, la denrée perd de ses qualités gustatives ou nutritives sans pour autant constituer un danger pour celui qui la consommerait (DGCCRF, 2018).

1.8.3 -Conservation, séparation et élimination de l'eau

Parmi ces procédés on distingue la déshydratation, le séchage :

➤ La déshydratation et le séchage

Qui consiste à éliminer partiellement ou totalement l'eau contenue dans l'aliment. Du fait d'une faible activité de l'eau (A_w), les microorganismes ne peuvent proliférer, et la plupart des réactions chimiques ou enzymatiques de détérioration sont ralenties (DGCCRF, 2018).

1.8.4 - Conservation de tomate par le sel

La conservation de la tomate peut s'effectuer soit par (DGCCRF, 2018) :

a. Le salage

Il vise à soumettre la denrée alimentaire à l'action du sel soit en le répandant directement à la surface de l'aliment (salage à sec), soit en immergeant le produit dans une solution d'eau salée (saumurage). Cette technique est essentiellement utilisée en fromagerie, en charcuterie et pour la conservation de certaines espèces de poissons (harengs, saumon,...etc.) ou denrées alimentaires végétales (tomates).

b. Le saumurage

Il consiste à plonger des aliments (charcuteries, fromages, poissons, condiments, ...etc.), dans une préparation composée de sel, d'eau, de divers ingrédients (aromates, sucres, ...etc.) et éventuellement d'additifs autorisés.

Chapitre II - Généralités sur la déshydratation et séchage

II .1- La déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique, ou déshydratation-imprégnation par immersion (DII), peut être classée parmi les méthodes nouvelles ou améliorées de traitement des produits alimentaires ou biologiques. Cette technique a été largement utilisée pour le traitement des fruits et légumes (Bachir et al., 2011).

1.1 - Définition

La DII ou DO est un procédé de prétraitement des aliments (fruits et légumes) qui est basée sur la mise en contact de produits entiers ou découpés en morceaux avec des solutions fortement concentrées en sel ou sucre (Jiokap Non et al., 2001).

1.2 - Principe

La déshydratation osmotique (DO) consiste à l'immersion d'aliments entiers ou en morceaux dans une solution hypertonique de sucre ou de sel présentant une pression osmotique élevée et une basse activité de l'eau (Amami et al., 2005).

Le procédé de DO, employé à température modérée permet de conserver la saveur et le contenu nutritionnel des végétaux, et peut servir de prétraitement au séchage (Mavroudis et al., 2005).

D'après Amami et al., 2006, la vitesse de DO est fonction du prétraitement, de la concentration et de la température de la solution déshydratante, du temps d'immersion, du rapport solution/produit et de la vitesse d'agitation. La membrane cellulaire semi-perméable des cellules de fruit exerce des résistances élevées aux transferts et ralentit la vitesse de DO.

La membrane cellulaire semi perméable des cellules de fruit exerce des résistances élevées aux transferts et ralentit la vitesse de DO. Pour améliorer cette vitesse de la perméabilisations des membranes cellulaires s'avère indispensable. L'application d'un champ électrique pulsé (CEP) permet d'augmenter la perméabilité des cellules tout en préservant sa structure intacte (Amami et al., 2006). Le schéma dans la figure suivante explique le flux de transfert de matière dans système végétal/liquide (Figure 3).

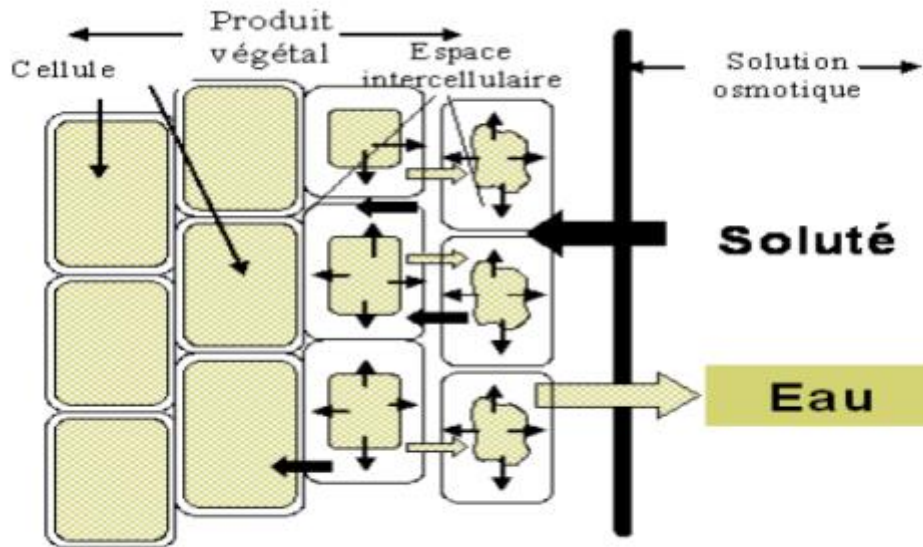


Figure 3. Représentation schématique de flux de transfert de matière dans le système végétal/liquide.

1.3 - Cinétique de la déshydratation osmotique

Les cinétiques de transfert de matière dans les produits végétaux peuvent se décomposer en deux phases :

- Une première phase, responsable de l'essentiel des transferts d'eau et de solutés, suivie ;
- D'une seconde phase, pendant laquelle la perte en eau ralentit fortement tandis que les débits d'entrée en solutés continuent d'augmenter régulièrement

(Kowalska et al., 2008)

1.4 - Principaux facteurs influençant les performances de la DO

Les cinétiques de transfert d'eau et de solutés dépendent de trois facteurs selon (Garcia-Segovia et al., 2010) :

- Les propriétés intrinsèques des tissus traités : la structure poreuse, la taille, la superficie de produit ;
- Les conditions opératoires de traitement : temps, température de traitement, agitation de la solution, composition de la solution ;
- Le mode de mise en contact des phases entre l'aliment solide et la solution liquide.

1.4.1 - Facteurs liés à l'aliment

1.4.1.1 - Propriétés des tissus biologiques

La porosité de l'aliment affecte sa texture et influence sa fermeté. Les changements de porosité causé par le processus osmotique favorisent l'action des forces d'entraînement non diffusionnelles tels que des gradients de pression (Nieto et al., 2004).

La porosité du produit alimentaire affecte notamment sa texture (Nieto et al., 2004).

Rastogi et al., 2002 ont montré que le traitement osmotique, peut provoquer la mort de certaines cellules (superficielles qui sont en contact direct avec la solution osmotique), tandis que les autres restent pratiquement inchangées.

1.4.1.2 - Les choix du soluté

C'est le résultat d'un compromis entre les exigences technologiques et la qualité du produit final, c'est -à- dire ses caractéristiques physicochimiques (pH, structure, etc.), ses propriétés nutritionnelles et organoleptiques (texture, couleur, etc.), ses propriétés fonctionnelles spécifiques (pouvoir aromatique, sucrant, colorant, état de surface collant ou brillant – dans l'exemple du glucose) et son pouvoir dépressur de l'activité en eau. Les solutions à base de sucres (saccharose) sont les plus couramment utilisées dans la DO des fruits (Lenat, 1996). Toute fois, il est essentiel de prendre en compte le coût de ces solutés, qui peut se révéler prohibitif (Giraldo et al., 2003) .

1.4.1.3 - Découpage de l'aliment

La majorité des produits végétaux sont découpés en cubes ou en sphères avant le traitement de déshydrations osmotique, ce qui facilite le transfert de matière grâce à un contact direct entre les cellules et la solution (Kowalska et al., 2008).

1.4.2 - Facteurs liés à la solution osmotique

1.4.2.1 - Concentration de la solution osmotique

La différence de concentration en soluté entre le produit à traiter et la solution est le moteur des transferts de matière en DO. Une augmentation de la différence initiale de concentration entre le produit et la solution augmente la perte en eau du produit au cours du traitement (Hawkes et Flink, 1978). Néanmoins, il existe une concentration seuil (entre 50 et 70%), au-delà de laquelle une élévation de la concentration n'augmente que les pertes en eau et diminue les gains en solutés (Contreras et Smyrl, 1981 ; Raoult-Walk et al., 1991).

1.4.2.2 - Composition de la solution osmotique

La composition des solutions mises en œuvre en DO est un facteur clé du procédé. Un compromis entre la composition et la viscosité de la solution doit être envisagé. Par ailleurs, ces solutions doivent être compatibles avec les caractéristiques physicochimiques (pH, structure, ...), nutritionnelles et organoleptiques (texture, couleur, ...) de l'aliment ([Bohuon et Raoul-Walk, 2002](#)).

Dans le cas des fruits, les solutions aqueuses binaires de saccharose (variant de 38 à 65°Brix) sont largement employées. L'usage des différents solutés en mélange permet de jouer sur la masse molaire des solutés, de tirer parti de l'effet respectif de chaque soluté, mais aussi de développer des interactions spécifiques susceptibles de procurer un degré de liberté supplémentaire pour la conduite du procédé, et permet aussi de combiner différentes propriétés spécifiques (nutritionnelles, organoleptiques, physico-chimiques) de ces solutés. Par exemple l'utilisation des sucres invertis permet de limiter les phénomènes de cristallisation en surface et de conférer au produit final un meilleur aspect.

L'addition de NaCl à une solution osmotique semble augmenter la force d'entraînement lors de la DO. Ce phénomène est attribué à la capacité du NaCl d'abaisser l'activité de l'eau (a_w) ([Kowalska et al., 2008](#)). [LeMaguer et al., \(1997\)](#) ont montré que l'utilisation d'une solution osmotique contenant 44% de saccharose et 7% de NaCl permet d'optimiser les conditions de déshydratation osmotique des carottes.

1.4.2.3 - Température de la solution osmotique

Une augmentation de la température a comme conséquence une augmentation du gradient de pression osmotique entraînant par la suite un grand transfert de masse. Entre 20 et 40°C ([Lerici et al., 1985](#)) la semi-perméabilité des membranes cellulaires de différents végétaux est à peine affectée et ne permet pas de lixiviation du contenu cellulaire. L'extraction de l'eau est alors possible seulement par des processus osmotiques. Une température supérieure à 50°C entraîne une perte irréversible de la sélectivité des membranes cellulaires, d'où une modification de la structure et de la texture du matériau et aussi le développement de certaines réactions enzymatiques ([Ponting et al., 1966](#)). D'autre part une température faible entraîne une augmentation de la viscosité de la solution osmotique diminuant l'efficacité d'agitation et ralentissant le transfert de masse externe ([Lenart et Flink, 1984](#)).

1.5 - Durée du traitement

La durée du traitement est un facteur important à considérer, quels que soient les produits traités. Généralement, la perte d'eau, la réduction de masse et le gain en solides augmentent avec le temps de traitement (Rastogi et al., 2004 ; Kowalska et al., 2008). Marchal et al. (2005) ont rapporté un changement de sélectivité au cours de la déshydratation, c'est-à-dire que le rapport de la perte en eau sur le gain en solide (WL/SG) décroît au cours du temps. Ce phénomène déjà mentionné est attribué à la mort des cellules qui accompagne l'augmentation de la concentration en sucre dans le tissu (Mavroudis et al., 2004). Ceci conduit à la perte de fonctionnalité de la membrane cellulaire et peut affecter la qualité du produit. Lenart (1996) a montré que la durée de déshydratation de morceaux de pomme ne doit pas dépasser une durée de 15 min à une température comprise entre 70 et 90 °C. Pour une meilleure efficacité de la DO, les systèmes de mise en contact des phases doivent permettre de réduire la dispersion des temps de séjour, forcer l'immersion des produits, réduire les effets de couches limites et préserver la forme et la fragilité des produits (Bachir et al., 2011).

1.6 - Effet de l'agitation sur la DO

L'agitation assure un renouvellement continu de la surface de contact entre les particules et la solution osmotique. Ainsi dans le cas de la diffusion, cela permet de réduire la résistance au transfert de solutés au niveau de l'interface solide- liquide (couche limite) et d'augmenter le coefficient de transfert global. Elle influe donc sur le nombre de Biot dont la valeur donne une idée sur l'état d'homogénéité du système (Lenart et Lewicki, 1987).

Selon Raoult-wack et al., (1989), l'agitation favorise la perte d'eau, particulièrement dans le cas de basses températures (< 30°C) « où la viscosité est importante » et pendant la première partie de l'osmose. Il semble que l'agitation n'ait aucun impact direct sur le gain en sucre durant le processus osmotique. La diffusion du sucre dans les tissus biologiques est généralement lente, la majeure partie du sucre s'accumule dans une couche superficielle seulement de 2 ou 3 millimètres (Lenart et Lewicki, 1987).

1.6.1 - Effet du rapport solide / solution

Des études ont montré qu'un rapport pondéral, solution de déshydrations/tranches de fruits, trop grand (facteur de dilution trop marqué), rend difficile la détermination des différentes substances diffusées et le suivi efficace du phénomène osmotique. Par contre, un rapport petit ralentit le taux de diffusion (Adambounou et al., 1994)

1.6.2 - Mode de mise en contact des phases

Les transferts de matière dépendent fortement de la manière dont sont mises en contact les phases solide (fragile et légère ; l'aliment) et liquide (« lourde » et visqueuse, la solution hypertonique). Une viscosité élevée du liquide augmente la résistance externe (à l'interface solide /liquide) aux transferts de matière et nécessite la mise en œuvre d'un système de brassage adapté, compatible avec la fragilité des produits. Pour une meilleure efficacité de la DO, les systèmes de mise en contact des phases doivent permettre de réduire la dispersion des temps de séjour, forcer l'immersion des produits, réduire les effets de couches limites et préserver la forme et la fragilité des produits (Adambounou et al., 1994). (Figure 4).

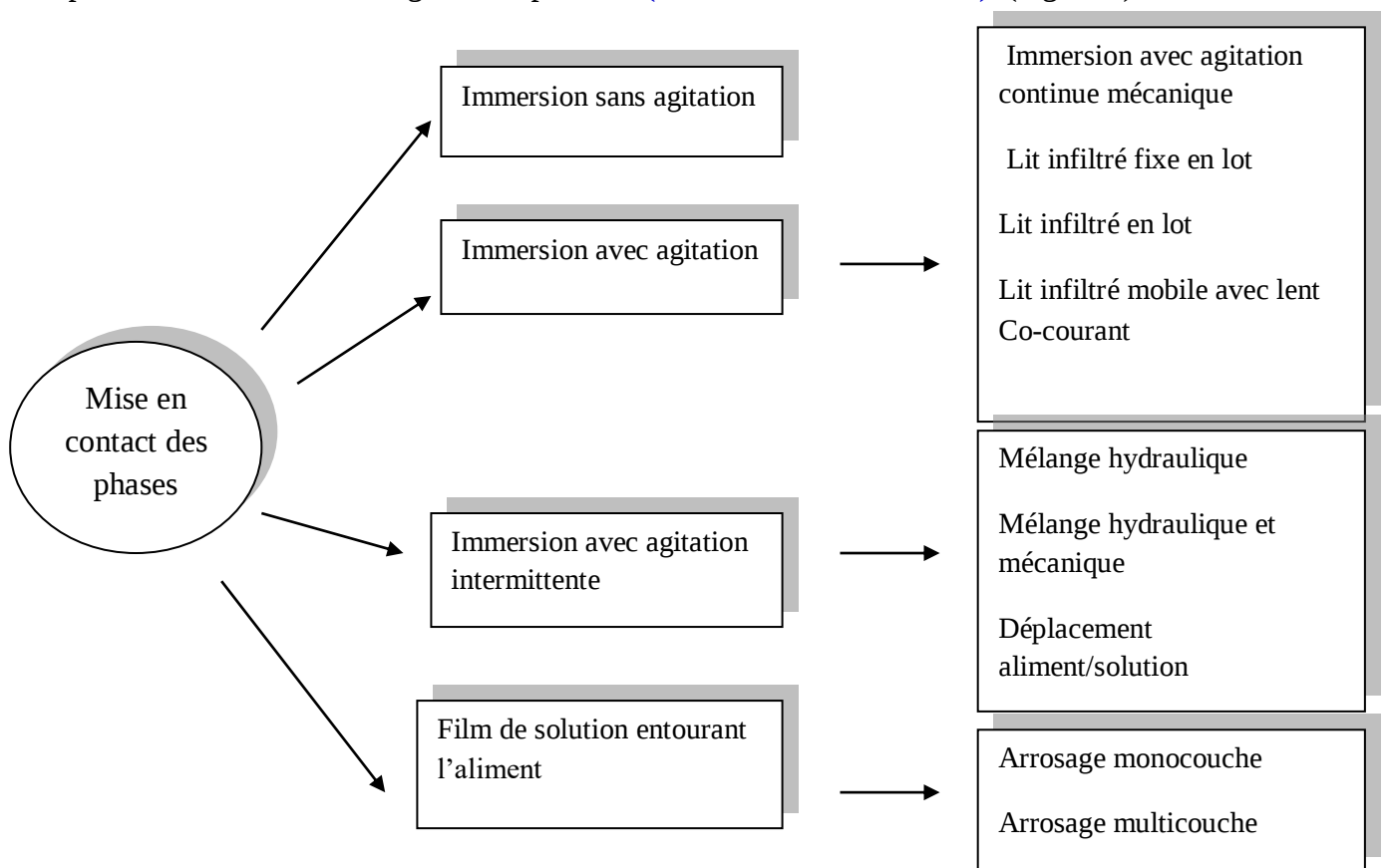


Figure 4. Les différents systèmes de mise en contact des phases (solution osmotique et l'aliment) pour une déshydratation osmotique (Marouzé et al., 2001).

1.6.3 - Mise en œuvre de la déshydratation osmotique

Chaque fruit ou légume présentant ses propres conditions optimales de déshydratation osmotique, il est difficile de mettre en avant une méthodologie universelle. Typiquement, tant pour les fruits que pour les légumes, le régime turbulent est préféré, avec des temps de séjour compris entre 5 et 480 min. L'optimum de température se trouve habituellement entre 25°C et

80 °C, et le rapport produit/solution évolue généralement entre 1/2 et 1/20(Bachir et al., 2011).

1.7 - Prétraitement thermique

1.7.1 - Le blanchiment

Le blanchiment est un traitement thermique, réalisé par immersion du produits dans un bain d'eau chaude, par passage dans une atmosphère de vapeur ou par chauffage ohmique. Sa durée est de quelque minute, dans une gamme de 85°C à 100°C. Il permet de détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant son traitement ultérieur (dans notre cas, c'est la déshydratation osmotique). Ce procédé prévient ainsi un certain nombre d'altérations organoleptiques telles que des modifications de saveurs et de couleurs (dégradation de la chlorophylle, brunissement des pommes, etc.). Il limite également certaines pertes nutritionnelles comme la destruction des vitamines et permet l'élimination de l'air et des gaz occlus dans les tissus végétaux facilitant la réhydratation (Dermesonlouoglou et al., 2008). En accompagnant la déshydratation osmotique, le blanchiment facilite le transfert des matières dissoutes, comme il l'a été rapporté pour les tranches de pomme et de tomate précédemment blanchies à la vapeur (Kowalska et al., 2008).

1.7.2 - La congélation

L'eau est le principal composant de la majorité des aliments congelés du commerce. Une part notable de cette eau est liée) divers degrés : dans des complexes colloïdaux macromoléculaires, dans des structures gélifiées ou fibreuses à l'intérieur des cellules et dans les hydrates. Lors de la congélation, la nucléation de la glace et la croissance des cristaux apportent de nombreuses modifications au produit (Talens et al., 2003). Les composantes cellulaires solubles peuvent atteindre la saturation et précipiter, détruisant ainsi la turgescence des tissus ; des modifications de pH peuvent affecter les complexes colloïdaux ; des changements très marqués de pression osmotique peuvent rompre les membranes semi-perméables, ce qui facilite le transfert de masse au cours de la déshydratation osmotique (Kowalska et al., 2008).

La vitesse de congélation et la température finale de conservation sont des points critiques pour le maintien des propriétés sensorielles, fonctionnelles ou biologiques après la congélation. Une congélation très lente peut conduire à un exsudat excessif à la décongélation, alors qu'une congélation très rapide permet de préserver la texture de certains produits (Talens et al., 2003).

1.8 - Application de la DO

La DO est un procédé relativement lent. Il est donc important de trouver des méthodes qui augmentent le transfert de masse sans affecter la qualité du produit. Ainsi, un traitement permettant d'augmenter la perméabilité des membranes cellulaires et de faciliter la libération de l'eau pendant la DO est obligatoire. Parmi les prétraitements utilisés, on peut citer les méthodes thermiques de blanchiment et de congélation et d'autres procédés consistent à remplacer un traitement unique (ici, la DO) par la combinaison de plusieurs techniques de conservation modérées, respectueuses du produit et pouvant accélérer les transferts. Ces techniques peuvent être l'application du vide, les hautes pressions hydrostatiques, ultrasons, irradiation, centrifugation, champs électrique pulsé, ...etc.(Kowalska et al., 2008).les application de la déshydratation osmotique sur des légumes et fruits regroupé dans les tableau (5) et (6) par ordre.

Tableau 5.Application de la déshydratation osmotique sur des légumes.

Légumes	Conclusion majeures	Références
Carotte	L'augmentation de la masse moléculaire du soluté entraine une augmentation du coefficient de diffusion de l'eau. Le traitement par DO avant séchage améliore l'efficacité du séchage par entraînement.	Uddin et al., 2004
Haricot	La perte d'eau maximale a été obtenue quand des tranches de fruit de 10 mm ont été immergées dans une solution de concentration en sucre de 60° Brix, maintenue à 60 °C pour 2 h, alors que l'imprégnation maximum était obtenue quand les tranches de 5 mm ont été immergées dans une solution de 50 °Brix, maintenue à 60 °C durant 6 h	Abud-Archila et al., 2008
Tomate et tomate cerise	Le traitement physique par perforation du fruit permet une perte d'eau plus élevée que par traitement chimique. L'ajout du saccharose réduit les forces d'entraînement.	Shi et al., 1998
Pomme de terre	Les conditions optimales pour la DO de la pomme de terre sont : température : 22 °C ; concentration en saccharose : 54 % ; concentration en sel : 14 % et le temps de traitement de 329 min	Eren et al., 2007

Tableau 6. Application de la déshydratation osmotique sur des fruits .

Fruits	Conclusion majeures	Références
Abricot	L'utilisation d'une température de 50 °C, une concentration de saccharose de 60 °Brix et un rapport solution/produit de 10:1 offrent une meilleure déshydratation.	Khoyi et al., 2007
Ananas	La perte en eau maximale (0.64-0.77 kg d'eau.kg-1 de tranche) a été observée à une température comprise entre 30 °C et 60 °C.	Jena et al., 2004
Banane	L'utilisation de deux bains successifs aboutit à une réduction de poids de 60 % et un gain de soluté de 2 %.	Jiokap Nono et al., 2001
Pomme	L'utilisation de sirops vieillis n'a pas d'influence significative sur les cinétiques de transfert de masses.	Jiokap Nono et al., 2001
Fraise	Les cellules ne sont pas affectées par la nature du soluté. Le coefficient de diffusion de l'eau est très affecté par le prétraitement de blanchiment.	Ferrando et al., 2001

1.9 - Méthodes combinés à la DO

1.9.1 - Imprégnation sous vide

Le procédé de DO pour les produits végétaux est généralement mis en œuvre à pression atmosphérique ([Wackraoult, 1994](#)). Toutefois, l'application d'une dépression stationnaire augmente la vitesse de déshydratation ([Correa et al., 2010](#)). La présence de gaz occlus dans les espaces intercellulaires de la structure poreuse du produit traité apparaît comme la cause principale de la modification des cinétiques de transferts de matières ([Wu et al., 2009](#)).

Pendant la DO sous vide, le gaz est expulsé du tissu tandis que l'écoulement capillaire augmente. L'augmentation de la vitesse du transfert d'eau est principalement attribuée à l'action combinée du vide et l'écoulement capillaire, qui dépend lui-même du volume de gaz occlus dans le tissu. Par conséquent, l'accélération des transferts de matière en DO sous vide est d'autant plus marquée que la porosité du produit est plus importante ([Corréa et al., 2010](#)). Cependant, sous vide pulsé, c'est l'imprégnation qui est favorisée.

1.9.2 - Chlorure de sodium

Le type d'agent osmotique utilisé sa masse moléculaire affecte fortement la cinétique d'extraction d'eau et de gain en soluté. D'après [Simal et al.\(2001\)](#), le chlorure de sodium est un excellent agent osmotique, en raison de sa faible masse moléculaire qui se reflète par sa grande mobilité pendant le transfert de masse. Le cas des solutions sucrées-salées, des effets fortement antagonistes sur le gain en solutés ont été identifiés. L'imprégnation en sel est en particulier limitée par la présence de sucre. Cet effet « barrière » du sucre sur la pénétration du sel a été mis en évidence sur des produits végétaux ([Lenart, 1996](#)). Il serait dû à la forte, dans l'aliment couche périphérique fortement concentrée en sucre diminuerait fortement le coefficient de diffusion du NaCl ([Lenart, 1996](#)).

1.9.3 - Centrifugation

Cette technique peut être utilisée pour augmenter la perte en eau tout en retardant le gain en solide. [Azuara et al. \(1998\)](#) ont appliqué une force centrifuge de 64g pendant la déshydratation osmotique, de disque de pomme et de pomme de terre entière à 30°C. Ils ont observé que ces conditions augmentent le transfert de masse (perte en eau) de 15% tout en retardant considérablement (80 %) le gain en solide.

1.10 - Qualité des produits végétaux traités par DO

La DO permet le maintien voire l'amélioration des qualités nutritionnelles et organoleptiques de produits souvent fragiles, ainsi qu'une meilleure résistance à des traitements ultérieurs (séchage, stockage, ...etc). La DO augmente également le rapport sucre/acide, améliore la texture et préserve la couleur pendant la déshydratation et le stockage ([Raoult-Wack, 1994](#)).

En évitant le contact avec l'oxygène de l'air, la DO limite les réactions d'oxydation, mais aussi les pertes de composés volatils par entraînement ([Ponting, 1973 ; Jezek et Smyrl, 1980](#)). Elle est efficace même à température modérée (souvent inférieure à 50°C), l'eau du produit est éliminée en phase liquide, c'est-à-dire sans changement de phase, ménageant ainsi les composés thermosensibles tels que les arômes, pigments et vitamines ([Ade-Omowaye et al., 2003](#)). L'effet bénéfique et protecteur du soluté renforce également la qualité d'un produit obtenu par rapport au séchage seul. L'effet de la DO sur les principaux attributs de la qualité des produits végétaux est détaillé ci-après

1.10.1 - Saveur composition nutritionnelle

La DO affecte aussi la saveur des aliments. La déshydratation osmotique des produits végétaux est généralement conduite par immersion à température modérée, limitant ainsi la dégradation des composés thermosensibles tels que les arômes, les pigments et les vitamines. En évitant le contact avec l'oxygène de l'air, le procédé limite les réactions d'oxydation, mais aussi les pertes de composés volatiles par entraînement. Cet effet favorable lié au caractère doux du traitement est renforcé par l'effet bénéfique et protecteur du soluté introduit sur les différents attributs de qualité, par référence à la qualité d'un produit obtenu par séchage seul (Bohuon et Raoult-Walk, 2002). Pour la saveur, l'introduction de soluté, éventuellement renforcée par la fuite d'acide propre du produit au cours de l'immersion, permet de modifier le rapport acide/sucre (Torreggiani et Bertolo, 2001), et d'adoucir la saveur du produit final. Thijssen (1971) a étudié la diffusivité relative des arômes par rapport à l'eau et il a montré que tout facteur tendant à augmenter la viscosité diminue la diffusivité relative des arômes. Il est alors préférable de diminuer la température et d'augmenter la concentration du produit en matière sèche lors de la DO pour conserver les arômes.

1.10.2 - Texture

Au cours de la DO, le transfert d'eau vers l'extérieur et son remplacement par d'autres solutés ou molécules génère des contraintes mécaniques modifiant l'aspect du matériau. Le plus souvent le produit se rétracte sous l'effet des fortes densités du flux (Castello et al., 2009; Garcia-Segovia et al., 2010), ce qui provoque des modifications des propriétés macroscopiques du produit qui sont souvent quantifiables par l'évaluation de la texture, du retrait volumique ou de la porosité (Torregiani, 1995).

1.10.3 - Couleur

La couleur de l'aliment est un paramètre important pour son acceptabilité. La couleur des fruits frais est due aux pigments localisés dans les plasmides, les vacuoles, ou le liquide cytoplasmique des cellules, parfois uniquement des cellules épidermiques. Les principaux pigments appartiennent à quatre classes : chlorophylles, caroténoïdes et anthocyanes. Au cours de la DO, les solutés introduits réduisent les modifications de la couleur du produit, notamment en limitant la dégradation des pigments chlorophylliens et caroténoïdes (Flink, 1980). L'activité enzymatique des phénol oxydases responsables du brunissement enzymatique peut être inhibée en opérant à des températures supérieures à 40°C et à l'abri de l'oxygène (Erba et al., 1994).

La sensibilité des produits au brunissement non enzymatique peut également être limitée en travaillant à des températures inférieures à 60°C ([Mandala et al., 2005](#)).

1.10.4 - Réhydratation

L'aptitude à se réhydrater est l'un des principaux caractères de qualité des produits alimentaires déshydratés. La réhydratation des fruits et légumes a été largement étudiée par de nombreux chercheurs ([Taiwo et al., 2002](#)).

[Taiwo et al. \(2002\)](#) ont identifié plusieurs facteurs qui affectent le processus de réhydratation d'un produit traité par DO. Ces facteurs sont classés en 15 deux groupes. Le premier est celui des facteurs intrinsèques, à savoir la composition chimique du produit et l'autre est celui des facteurs extrinsèques tels que la composition du milieu d'immersion, la température et les conditions hydrodynamiques.

II.2 - Séchage

2.1- Généralités sur le séchage

De tous temps, l'homme a recherché des méthodes pour conserver sa nourriture en empêchant et en retardant les principaux types de détérioration alimentaire, dont le séchage est l'un des procédés les plus utilisés pour la conservation des fruits et légumes assurant ainsi une meilleure répartition et qualité ainsi qu'une bonne réhydratation ([Maskan, 2001](#)).

Le séchage comme un moyen de conservation ou comme une étape dans la transformation de certains produits, est utilisé à la fois dans le monde rural et industriel à travers l'agroalimentaire, le textile...etc. ([Benkhelfellah et al., 2005](#)). C'est la méthode la plus ancienne de conservation des aliments. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des microorganismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage ([Verdier et al., 2016](#)).

2.2 - Définition

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des microorganismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage ([Verdier et al., 2016](#)), ce qui permet de réduire considérablement la

masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (Djerroud et al., 2010).

2.3 - Principe

L'objectif principal du séchage est de diminuer l'activité de l'eau (a_w) de divers matériaux périssables qui consiste de convertir ce dernier en produits stabilisés. Il consiste à enlever l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient aux valeurs inférieures à 0.5, afin de permettre leur stockage à la température ambiante (Bonazzi et al., 2011).

2.4 - Types de séchage

Parmi les techniques d'élimination d'eau par voie thermique, deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit; des procédés par ébullition et des procédés par entraînement (Charreau et Cavaille, 1991).

➤ Par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle d'eau tel que le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau ainsi que l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau (Djerroud et al., 2010).

Séchage par conduction

L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée. Le flux thermique dans ce mode de transfert est donné par la relation (1) : (Charreau et Cavaille, 1991).

$$\frac{Q}{A} = \lambda \frac{dt}{dT}$$

Équation (1).

Avec:

λ : Conductivité thermique de la pellicule de produit (W/m.K)

$\frac{dt}{dT}$: Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

a. Séchage par convection

En séchage industriel, il s'agit probablement du monde de séchage le plus courant. Il consiste à mettre en contact, un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent, autour du corps à sécher, qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de fibres ou de plaques, pour un séchage par convection, les échanges de chaleur et de masse entre le produit à sécher et l'air de séchage sont déterminés par les coefficients de transfert à la surface, qui dépendent des caractéristiques de l'air (vitesse, température, humidité).

En régime convectif, la chaleur est directement transportée par un fluide caloporteur, qui emmagasine la chaleur (air chaud, vapeur, eau, etc.). La convection est un mode de transfert rapide.

Ce type de transfert utilise l'équation suivante (2) :

$$Q = \alpha . A . (Ta - Ts)$$

Équation 2.

Avec :

Q:La quantité de chaleur transférée par unité du temps (W)

A:La surface d'échange (m²)

(Ta –Ts): l'écart entre la température de l'air de séchage et la température superficielle du produit à sécher (K)

α : Le coefficient d'échange par convection (W/m².K)

b. Séchage par rayonnement

Ce mode est destiné aux produits en plaque (carton, viande), ou en fibre (tissu, papier), mais aussi aux produits granulaires de faibles épaisseurs (cigarettes) ([Charreau et Cavaille, 1991](#)).L'énergie est apportée aux produits à sécher par des ondes électromagnétiques (rayonnement), soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge. La quantité de chaleur transmise au produit par unité du temps par ce mode de transfert est donnée par l'équation (3) et (4) :

$$Q = A^1 \cdot c \left(\left(\frac{T^1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T^2}{100} \right)^4 \right) \cdot \varphi$$

Équation 3.

$$c = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left[\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right]}$$

Équation 4.

Avec:

T^1 : Température de la source émettrice (K)

T^2 : Température du produit (K)

A_1 : Surface du corps recevant le rayonnement (m²)

A_2 : Surface de l'émetteur infrarouge (m²)

φ : Facteur de complexe tenant compte de la position relative de l'émetteur et du produit.

ε_1 : Emissivité du produit

ε_2 : Emissivité de l'émetteur

c : flux thermique

c. Transferts d'eau

En séchage Les corps à sécher sont constitués par une matrice continue, éventuellement interrompue localement, dans le cas d'un solide, par des pores pouvant déboucher à la surface de celui-ci. L'humidité peut se localiser aussi bien à la surface externe du produit que dans les pores ou au sein même de la matière (figure) ([Charreau et Cavaille, 1991](#)).

Le séchage peut être décrit comme un transfert d'eau couplé à un transfert de chaleur, dans un matériau poreux non saturé. Dans les produits biologiques le transfert interne d'eau est souvent le phénomène limitant. La taille des pores et la distribution des rayons des pores dans le produit, influent sur le caractère hygroscopique du produit (plus les pores sont petits, plus le caractère hygroscopique est important) ([Bimbenet, 1984](#)). La vaporisation de l'eau nécessite un apport énergétique de source extérieure au produit à sécher, qui provoque la migration de l'eau vers le milieu ambiant. La vitesse de ce transfert de matière varie au cours du temps. Elle dépend des conditions ambiantes (température, humidité relative, vitesse des

gaz en contact avec le produit), mais aussi de la nature même du solide et de l'eau (Charreau et Cavaille, 1991). (Figure 5)

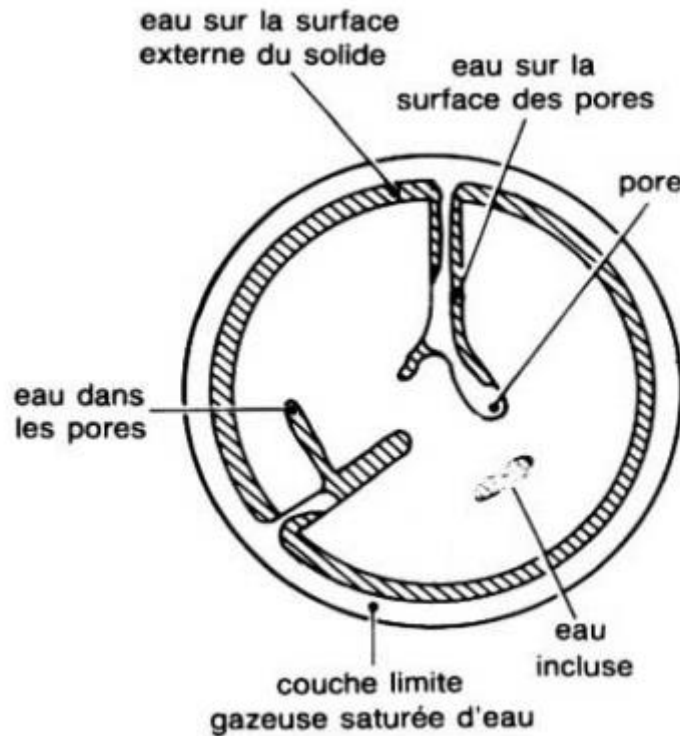


Figure 5. Représentation schématique d'un solide humide(Charreau et Cavaille, 1991).

2.5 - Description physique du séchage

Les caractéristiques du séchage d'un produit ont une meilleure description lorsqu'elles sont représentées par des courbes. L'une des plus intéressantes et indispensable représentation est le taux d'humidité du produit n_s en fonction du temps t donnée sur la figure 6, ou encore la vitesse du séchage dn_s/dt en fonction du temps t donnée sur la figure 7. Ces courbes de séchage dont la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent) (Charreau et Cavaille, 1991).

Krisher a proposé un autre mode de représentation; c'est la vitesse de séchage dn_s/dt en fonction du taux d'humidité n_s représentée sur la figure 8. Ces trois types de représentation, mettent en évidence l'existence de plusieurs phases, pendant le déroulement du séchage. Toutes ne sont pas systématiquement observables.

Dans le cas où elles sont identifiables, on distingue :

- la phase transitoire de mise en température du produit à sécher (AB) ;
- la phase à vitesse de séchage constante (BC) ;
- la phase à vitesse de séchage décroissante (CD).

C: est le point critique du séchage (Figures 6,7 et 8).

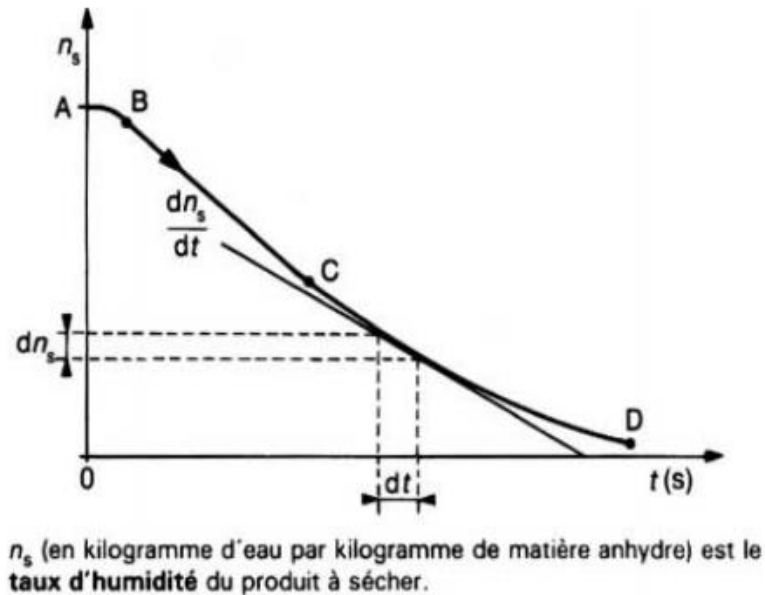


Figure 6. Courbe de séchage $n_s=f(t)$ (Charreau et Cavaille, 1991).

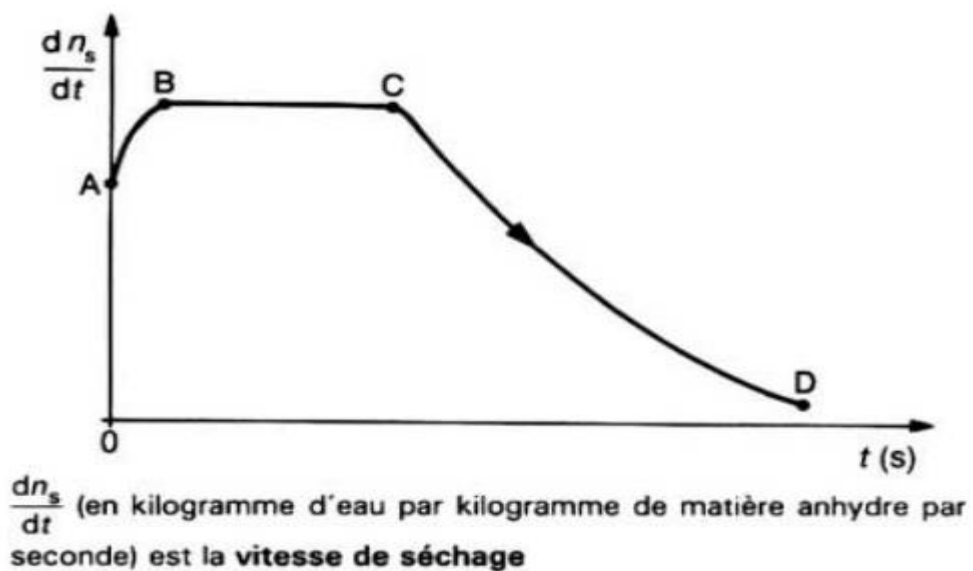


Figure 7. Courbe de séchage $dn_s/dt=f(t)$ (Charreau et Cavaille, 1991).

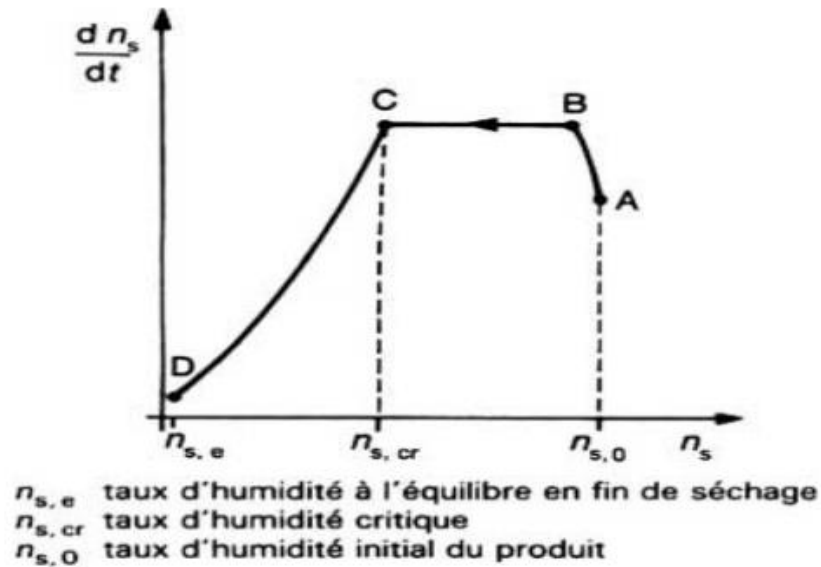


Figure 8. Courbe de séchage $dn_s/d_t = f(n_s)$ (Charreau et Cavaille, 1991).

2.6 - Le séchage à l'air libre

Est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (Lahmari et al., 2012).

2.7 –Le séchage à l'étuve

Cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères (taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume (Vasseur, 2009).

Chapitre III - Qualité microbiologique des fruits secs

III - Les analyses microbiologiques des fruits secs

1 - Caractéristiques des germes recherchés

Trois types de microorganismes sont conventionnellement recherchés, lors de l'analyse microbiologique des denrées alimentaires. Il s'agit des microorganismes responsables de l'altération, des microorganismes indicateurs de la contamination fécale et des microorganismes pathogènes responsables de toxi-infections alimentaires (Leveau et al., 2001). Parmi les microorganismes responsables de l'altération des aliments, se trouvent la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT) et la Flore Fongique constituée par les Levures et

Moisissures. Les microorganismes dits indicateurs de contamination fécale sont les Coliformes Totaux et les Coliformes Fécaux.

1.1 - Les germes aérobies à 30°C (ou totale)

La flore aérobie mésophile à 30°C représente l'ensemble des microorganismes se développant en présence d'oxygène, (multiplication active de 20°C à 45°C). Cette microflore peut comprendre des micro-organismes pathogènes pour l'Homme mais aussi des micro-organismes d'altération, leur détection dans les aliments traduit une altération qui amoindrit la qualité intrinsèque de la denrée (goût, odeur, aspect) ([Bonnefoy et al., 2002](#)). Les aliments les plus souvent contaminés sont : Tous les aliments prêts à consommer susceptibles d'avoir été conservés dans des conditions de température trop élevée et/ou de durée trop longue ([Jean, 2007](#)).

1.2 - Les coliformes totaux et coliformes fécaux

Les coliformes sont des entérobactéries (bacilles gram -, asporulés, glucose+ (F), oxydase-, nitrate réductase+, aéro-anaérobies facultatifs). A la différence des coliformes totaux qui fermentent le lactose avec production de gaz à 30°C ou (35°C), les coliformes fécaux le fermentent à 44°C ; se sont d'origine intestinale, on les assimile souvent aux coliformes thermo tolérants. La croissance de certains de ces germes est possible sur un très grand nombre de milieux ou d'aliments entre -2 et 50°C, et à un pH entre 4,4 et 9. La résistance des coliformes totaux et fécaux aux conditions extérieures défavorables est faible (traitements technologiques divers, entreposage...etc.). Leur présence dans un aliment cuit ou pasteurisé signifie que la contamination est postérieure au traitement thermique ([GeorgeSaravacos, 2002](#)), et constitue un bon indice de mauvaises conditions de manipulation ou de traitement des aliments (pasteurisation insuffisante par exemple). Ces coliformes représentent environ 1 % de la flore intestinale et ne provoquent généralement pas de maladie chez l'homme adulte ; leur nombre est voisin de 10⁸ par g de matière fécale ([Chevalier et al., 2003](#)).

1.3 - Levures et moisissures

Les levures et moisissures sont des agents importants de détérioration des aliments acides ou à faible activité d'eau. Les mycotoxines qu'ils excrètent et présentes dans les aliments inspirent des préoccupations croissantes ([Meyer et al., 2004](#)). Les champignons microscopiques (mycètes) se divisent en 2 groupes :

1.3.1 - Les levures

Sont des champignons unicellulaires aptes à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales. La forme la plus fréquente est ovale ou sphérique. La température optimale de culture des levures se situe en général entre 25 °C et 30 °C, elles sont aérobies ou aéro-anaérobies facultatives avec parmi elles : des levures préférant un métabolisme soit fermentaire soit respiratoire même en présence d'oxygène. Les levures tolèrent donc des gammes de pH très larges, théoriquement de 2,4 à 8,6. La plupart des souches ne peuvent se développer pour une activité de l'eau inférieure à 0,90 ; mais certaines tolèrent des pressions osmotiques plus élevées, correspondant à une activité de l'ordre de 0,60 ; ces levures sont dites les levures homophiles, elles se développent bien dans des milieux fortement sucrés (Meyer et al., 2004).

1.3.2 - Les moisissures

Elles sont définies comme l'ensemble des champignons filamenteux, saprophytes présentant une végétation notable et qui ont de l'importance dans l'industrie humaine. Elles peuvent être : Nuisibles, car agents d'altération des aliments ;

- Utiles, car intervenant dans la production d'aliments, d'antibiotiques, d'enzymes et dans
- diverses fermentations (Meyer et al., 2004).

Elles se développent à la surface d'un substrat (produits alimentaires : la source la plus fréquemment utilisée est les glucides), leurs exigences et tolérance vis-à-vis de l'eau sont variables selon les groupes : certains moisissures ne se développent que sur des substrats humides, et d'autres sur des substrats dont l'humidité est très faible (le cas des moisissures xérophiles). Les moisissures généralement tolèrent une T° de 3 à 40° C, elles se développent mieux en milieu légèrement acide et tolèrent parfois un PH très bas, la végétation maximale est produite entre 20 et 30°C (Leyral et Vierling, 2007).

2 - Sources de contamination et prévention

Dans les aliments, l'intoxication alimentaire est généralement liée avec des arrangements impliquant de grandes quantités de nourriture, particulièrement de plats de viande et de volaille, généralement préparés à l'avance et laissés refroidir lentement, ou insuffisamment réfrigérés. Les viandes produites laminées, les volailles farcies et les tartes offrent des conditions de croissance favorables au transfert de la contamination. La cuisson des potages, des ragoûts et des sauces créent des conditions anaérobies idéales, pendant le refroidissement,

pour la germination des spores. La maladie est le plus souvent due à l'ingestion de produits carnés, particulièrement les viandes réchauffées, qui ont été cuits préalablement en masse dans les lieux de restauration rapide(Ablad, 2010).

Les mesures préventives qui peuvent être prises pour éviter la maladie sont :

- d'assurer la manutention des aliments,
- d'avoir une bonne hygiène personnelle et une formation adéquate en sécurité alimentaire, - être pleinement conscients des risques encourus dans la cuisine à grande échelle, en particulier des plats de viande,
- dévriller à ce que des températures adéquates soient atteintes lors de la cuisson,
- d'assurer le refroidissement rapide des aliments cuits en les divisant en petites quantités et en réalisant leur réfrigération dans des contenants peu profonds (moins de 10 cm de profondeur),
- de stocker des aliments froids en dessous de +4°C, pour empêcher la multiplication des bactéries et des toxines produites, - de réchauffer des aliments, jusqu'à ce que la vapeur chaude en soit dégagée, - et, de bien laver les fruits et légumes à l'eau claire et potable avant usage (Ablad, 2010).

Partie II. Matériel et Méthodes

I - Matériel

I.1 - Matériel biologique

➤ Tomate

Le principal matériel biologique ayant fait l'objectif de notre étude est représenté par tomate fraîche (*Lycopersicon esculentum* L.) de la variété *Karsten* ou le fruit est de forme arrondie. Les échantillons de tomate ont été achetés au marché des fruits et légumes de la ville Tedjmout (Laghouat). Cinq kilogrammes de tomate sont utilisés dans l'expérimentation. La tomate utilisée dans notre travail est représenté par la photographie de la Figure 9.



Figure 9. Photographie montrant un échantillon de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.).

➤ Le sel

La déshydratation osmotique de la tomate est effectuée en utilisant le sel blanc (NaCl) de consommation courante et conditionné en paquet de 1 kg (Figure 10).



Figure 10. Sel de consommation courante utilisée pour la déshydratation osmotique.

I.2 - Matériel technique

Le matériel technique utilisé durant notre expérimentation est représenté essentiellement par la verrerie ordinaire de laboratoire ; une balance de précision et des étuves réglées à 25°C, 40°C à 60°C. Elles sont utilisées pour effectuer la déshydratation osmotique à température fixée ainsi que pour déterminer la cinétique du séchage complémentaire des échantillons de tomate.

II- Méthodes expérimentales

II.1 - Méthodes d'analyses biochimiques

II.1.1 - Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau des échantillons de tomate fraîche et tomate séchée est déterminée selon la méthode (A.O.A.C., 1984). Sur un échantillon de 5g, l'élimination de l'eau est effectuée dans l'étuve réglée à 110°C jusqu'à obtention d'un poids constant. La teneur en eau par rapport à la masse humide est calculée par la formule suivante :

$$X\% = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Équation 5.

Où :

X % : masse humide en gramme.

m_i : masse initiale avant étuvage en gramme.

m_f : masse finale (après dessiccation) en gramme.

II.1.2 - Détermination de taux de cendres

Le taux de cendre est déterminé selon la méthode décrite par [A.O.A.C., \(1984\)](#). Cette méthode est basée sur la destruction totale de toutes les particules charbonneuses et la pesée de la matière minérale restante. Des prises d'essai de 2 g sont mises dans des capsules (M_1) qui sont placées dans un four à moufle réglé à 550°C pendant cinq heures jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre. Après refroidissement, on pèse les capsules (M_2).

On exprime la matière organique par la formule suivante :

$$m_0 - m_1 = m_2$$

$$m_3 = \frac{m_o \times X\%}{100}$$

$$m_0 - m_3 = m_4$$

Le taux des cendres est calculé par la formule:

$$\text{Taux des cendres} = \frac{m_2}{m_4} \times 100$$

Équation 6.

Où :

m_0 : masse de l'échantillon avant d'être mis dans le four à moufle (g).

m_1 : masse de l'échantillon après l'incinération (g).

m_2 : masse des cendres (g).

m_3 : masse de l'eau contenue dans l'échantillon (g)

m_4 : masse de la matière sèche de l'échantillon (g).

$X\%$: teneur en eau (g d'eau/ 100g de MF).

II.1.3 - Détermination du taux d'acidité titrable

La méthode utilisée pour la détermination de l'acidité titrable est décrite par [\(A.O.A.C., 1990\)](#). Le titrage de l'acidité est effectué avec une solution de NaOH (0,1N) en présence de phénolphthaléine comme indicateur de couleur. On pèse 4,8 g NaOH puis on ajoute 50ml d'eau distillée, puis on mélange jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. On prépare le jus de tomate (10g/100ml), et on verse le mélange dans une fiole jaugé de 100 ml en complétant jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée. Après filtration on prélève 10 ml du filtrat dans 10 ml d'eau distillée, on ajoute deux gouttes de phénolphthaléine et on titre

le jus de la tomate avec NaOH (0,1N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

L'acidité titrable est calculée selon la formule suivante :

$$A \% = \frac{(100 \times V_1 \times 100)}{(V_o \times M \times 10) \times 0.07}$$

Équation 7.

Où :

M : masse en gramme prélevée.

V₀ : volume en millilitre de la prise d'essai.

V₁ : volume en millilitre de la solution NaOH à (0,1N).

0.07 : facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique (« C₆H₁₂O₈ » pour 100 g de tomate).

II.1.4 - Détermination taux de sucres réducteurs

Le dosage des sucres est effectué par la méthode de Fehling ([A.O.A.C., 1984](#)). On prépare une solution de glucose de concentration connue. En suite, on fait un titrage par 10ml d'une solution A et 10ml d'une solution B de Fehling avec agitation à chaud et on ajoute 30ml d'eau distillée. On continue la titration jusqu'à virage de couleur du bleu vers le rouge brique. En parallèle, un jus de fruit de tomate est préparé (10g de fruit / 100ml d'eau distillé) puis filtré. Le même volume de lipieur de Fehling est titré par un volume du filtrat du jus de tomate.

La concentration en sucres réducteurs (C₂) est calculée par la formule suivante :

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

Équation 8.

C₁ : concentration de la solution de glucose (g/l).

C₂ : concentration en sucres réducteurs du filtrat du jus de tomate (g/l).

V₁ : volume de la solution de glucose (l).

V₂ : volume des filtrats du jus de fruit (l).

II.2 - Description de l'étude

Le procédé de déshydratation osmotique consiste à immerger des morceaux de tomate prétraités dans une quantité de sel bien déterminée après la pesée, et cela pendant une durée de 4h ou 6h. La perte en poids est mesurée aussi après déshydratation osmotique à l'aide d'une balance de précision.

La déshydratation osmotique est complétée par une autre approche expérimentale qui consiste en l'étude du comportement des tranches osmo-déshydratées vis-à-vis d'un séchage complémentaire à 60°C ; et ce en vue de déterminer la courbe caractéristique de séchage.

Le schéma suivant résume les principales étapes de la déshydratation osmotique et de séchage.

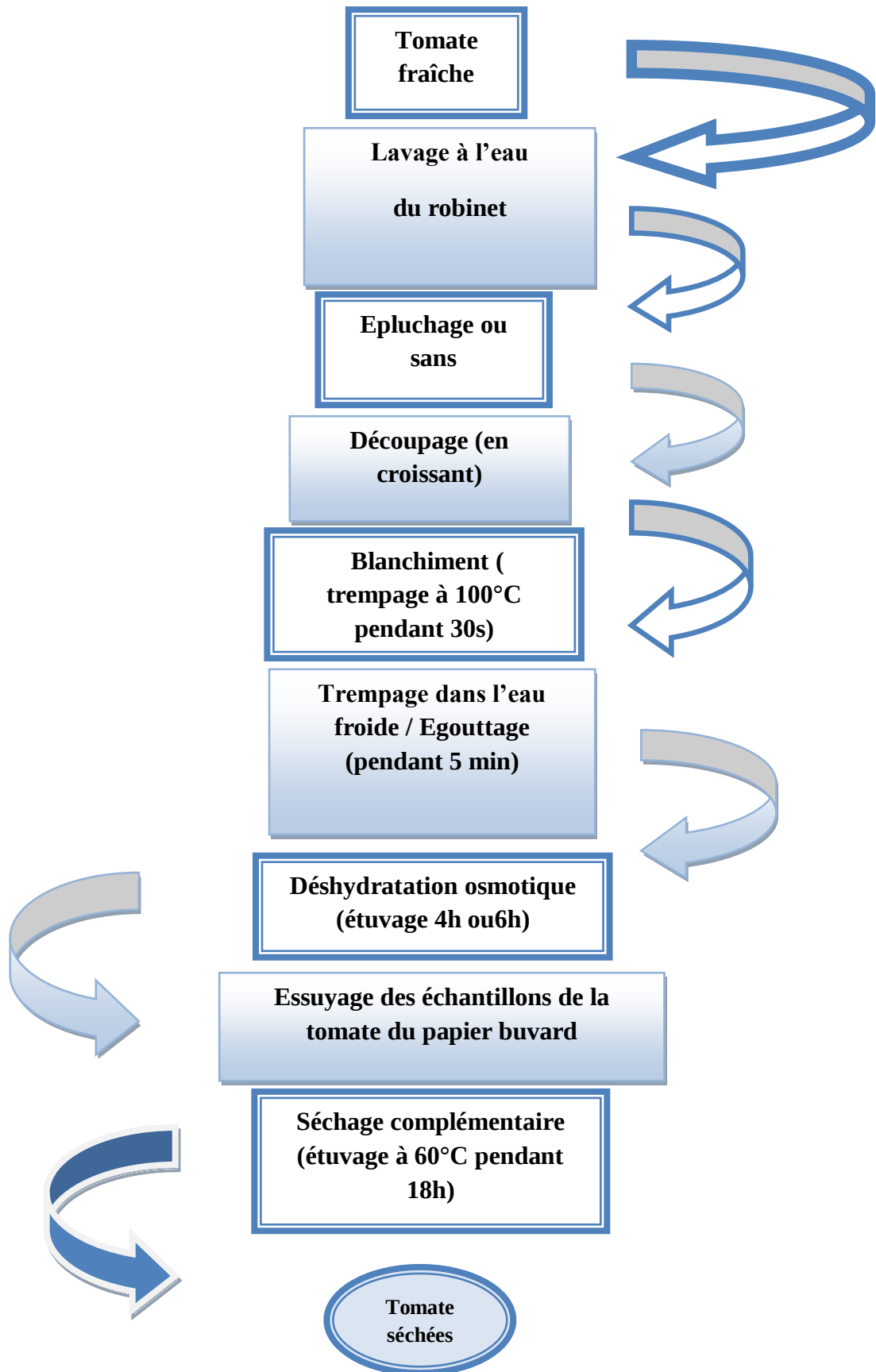


Figure 11. Organigramme résumant les principales étapes de déshydratation osmotique et du séchage complémentaire.

II.3 - Protocole expérimental

II.3.1 - Préparation des échantillons

➤ Tomate

Les échantillons de tomate subissent une préparation portant sur un lavage à l'eau de robinet, un épluchage et un découpage en tranches de formes similaires.



Figure 12. Tranches de tomates préparées pour la déshydratation osmotique.

II.3.2 - Les opérations du prétraitement

➤ Blanchiment

Le blanchiment est un traitement appliqué à certain fruits et légumes dans le but de réduire les charges microbiennes indigènes, d'inactiver les enzymes du brunissement, et d'accélérer les processus de la déshydratation osmotique et de séchage ([Fitz et Kuiper, 2003](#)).

Dans notre étude, le blanchiment des tranches de tomate consiste en un trempage des échantillons dans une eau bouillante à (100°C) pendant 30 secondes.

II.3.3 - Déshydratation osmotique

La déshydratation par osmose des tranches de tomate est effectuée à l'aide de sel à différentes quantités (50g ou 100g) incubées en étuves bien régulées à différentes températures (25°C ou 40°C) pour une durée de (4 h ou de 6 h).

La figure 13 explique la déshydratation osmotique :



Figure 13. Photographie montrant des tranches de tomate en cours de déshydratation osmotique.

II.4 - Optimisation des paramètres de déshydratation osmotique par planification expérimentale

II.4.1 - Facteurs de variation

Quatre facteurs de variation, pouvant avoir une influence sur la perte en poids durant la déshydratation osmotique, sont retenus :

- Facteur 1 : la température de la déshydratation osmotique ;
- Facteur 2 : l'épicarpe de la tomate;
- Facteur 3 : masse de sel en gramme;
- Facteur 4 : temps de déshydratation osmotique.

Les niveaux, hauts et bas, pour chaque facteur de variation sont définis comme suit :

- La température : elle est définie entre deux niveaux, un niveau inférieur : 25°C et un niveau supérieur : 40°C ;
- L'épicarpe : le niveau haut c'est sans épicarpe et le niveau bas c'est avec épicarpe ;
- Masse de sel : elle est définie entre deux niveaux, le niveau bas (50g) et le niveau haut (100g) ;
- Temps de la déshydratation osmotique : ce facteur est représenté par un niveau inférieur et un niveau supérieur et qui sont respectivement 4h et 6h.

Les zones de l'étude pour chaque facteur de variation sont motionnées dans un tableau 7.

Tableau 7. Domaines de l'étude pour les facteurs de variation retenus pour l'optimisation de la déshydratation osmotique de la tomate.

Facteurs /Niveau	Niveau bas -1	Niveau haut +1
Temps	4h	6h
Température	25°C	40°C
Epicarpe	Avec	Sans
Masse de sel	50g	100g

II.4.2 - Facteurs préfixés

Dans le but d'homogénéiser les conditions expérimentales et pouvoir comparer les effets des facteurs sur la déshydratation osmotique, les facteurs suivants sont préfixés pour tous les plans.

- Le blanchiment est fixé pour tout les échantillons à 100°C pendant 30s;
- La durée du séchage complémentaire est de 18h à 60°C pour tous les échantillons.

II.5 - Choix de la réponse

Les réponses choisies pour l'étude des effets des quatre facteurs de variation sur les cinétiques des déshydratations osmotiques est la perte en poids des tranches de tomate au cours de la déshydratation osmotique.

II.6 - Expérimentation selon un plan complet

Les effets des quatre facteurs de variation ainsi que ceux des interactions entre ces derniers sur les pertes en poids par déshydratation osmotique sont déterminés selon un plan d'expérience complet schématisé par le logiciel Mini-tab pour Windows7 (tableau 8).

Tableau 8. Matrice d'expériences selon un plan complet déterminé par logiciel Mini-tab (version 2017) pour Windows7.

Std. Order.	Run. Order.	Pt Type	Blocks	Temps	T°C	épicarpe	Quantité du sel
1	1	1	1	1	-1	1	-1
2	2	1	1	1	1	-1	1
3	3	1	1	-1	1	1	-1
4	4	1	1	1	-1	1	1
5	5	1	1	1	1	-1	1
6	6	1	1	1	1	1	-1
7	7	1	1	-1	1	1	1
8	8	1	1	-1	-1	1	1
9	9	1	1	-1	-1	-1	1
10	10	1	1	1	-1	-1	-1
11	11	1	1	-1	1	-1	-1
12	12	1	1	-1	-1	-1	-1
13	13	1	1	1	-1	1	-1
14	14	1	1	1	1	-1	1
15	15	1	1	-1	1	1	-1
16	16	1	1	1	-1	1	1
17	17	1	1	1	1	-1	1
18	18	1	1	1	1	1	-1
19	19	1	1	-1	1	1	1

20	20	1	1	-1	-1	1	1
21	21	1	1	-1	-1	-1	1
22	22	1	1	1	-1	-1	-1
23	23	1	1	-1	1	-1	-1
24	24	1	1	-1	-1	-1	-1
25	25	1	1	1	-1	1	-1
26	26	1	1	1	1	-1	1
27	27	1	1	-1	1	1	-1
28	28	1	1	1	-1	1	1
29	29	1	1	1	1	-1	1
30	30	1	1	1	1	1	-1
31	31	1	1	-1	1	1	1
32	32	1	1	-1	-1	1	1
33	33	1	1	-1	-1	-1	1
34	34	1	1	1	-1	-1	-1
35	35	1	1	-1	1	-1	-1
36	36	1	1	-1	-1	-1	-1

➤ **Le logiciel Mini-tab (version 2017)**

Le mini-tab est un logiciel propriétaire commercial de statistiques. Il est développé par Mini-tab, Inc. pour le système d'exploitation Windows uniquement. Il est largement utilisé par les universités pour enseigner les statistiques, et les développeurs le dirigent particulièrement aux entreprises en affichant leur intention de les rendre plus performantes selon la méthode « Six Sigma ».

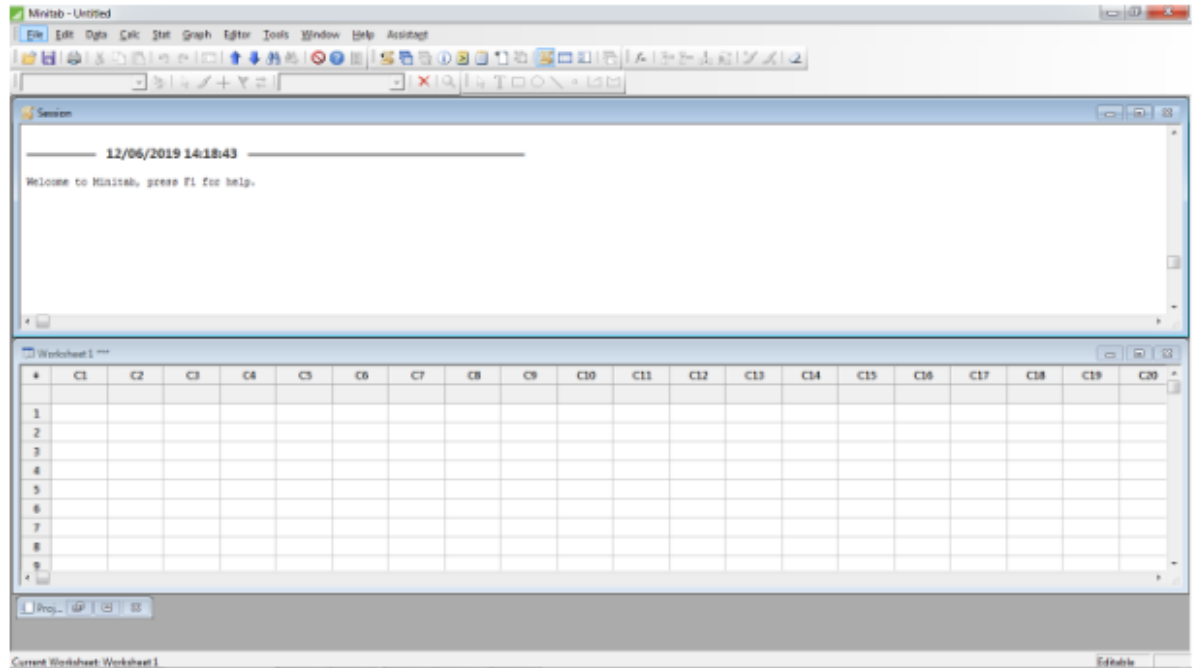


Figure 14. Photographie montrant le logiciel Mini-tab version 2017 pour (Windows7).

II.6.1 - Détermination de la perte en poids de la déshydratation osmotique

La perte en poids des tranches de tomate par la déshydratation osmotique est déterminée par la formule suivante :

$$m_0 - m_1 = m_2$$

$$X_1 = \frac{m_2 \times 100}{m_0}$$

Équation 9.

m_0 : masse de l'échantillon avant la déshydratation osmotique (gramme).

m_1 : masse de l'échantillon après la déshydratation osmotique (en gramme).

m_2 : différence entre m_0 et m_1 (en gramme).

X_1 : effet de déshydratation osmotique sur la perte en poids (g d'eau/100g de l'échantillon).

II.6.2 - Détermination de la perte en poids du séchage

La déshydratation osmotique est complétée par un séchage qui permet d'éliminer, par vaporisation, l'eau restante dans les échantillons de tomate déshydratés osmotiquement.

Le choix des conditions opératoires de la déshydratation osmotique des tranches de tomate destinées au séchage est effectué selon la perte en poids au cours de la déshydratation osmotique.

A la fin de la déshydratation osmotique, l'excédent de sel restant sur les échantillons est enlevé par essuyer par du papier buvard. Les tranches de tomate sont ensuite séchées à 60°C dans une étuve.

La perte en poids est déterminée après 18h (période de séchage).

La perte en poids des tranches de tomate par séchage est déterminée par la formule suivante :

$$m_1 - m_3 = m_4$$

$$X_2 = \frac{m_4}{m_o} \times 100$$

Équation 10.

m₁ : masse de l'échantillon après la déshydratation osmotique (en gramme)

m₃ : masse de l'échantillon après séchage (en gramme)

m₄ : différence entre m₁ et m₃ (en gramme)

X₂:effet du séchage sur la perte en poids (g d'eau/100g d'échantillon)

III - Méthodes d'analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques sont très intéressantes dans l'examen des aliments séchés. Elles consistent à rechercher la présence ou l'absence de certains germes dans le produit séché et de les dénombrer. La qualité microbiologique des tomates séchées est déterminée par la recherche et dénombrement de :

III.1 - Flores aérobies mésophilestotales (FMAT)

Les microorganismes aérobies et aéroanaérobies facultatives, peuvent se développer dans un milieu nutritif non sélectif. Incubés à 30°C pendant 72h. Ils apparaissent sous forme de colonies de taille et de formes différentes ([Lapied et Petranxiene 1981](#)).

- **Préparation des dilutions**

Une série de dilution, est réalisée à partir de l'échantillon après une homogénéisation. ([Giraud, 1998](#))

On prélève aseptiquement 1 ml de la suspension mère à l'aide d'une pipette graduée stérile de 1 ml munie d'une poire; et on effectue une autre homogénéisation (selon la norme NF ISO 7218). On refait pour les autres tubes, en utilisant une autre pipette. Ou par des systèmes de pipetage automatique munis de cônes à usage unique.

- **Mode opératoire**

La liquéfaction du milieu (Gélose nutritive) après autoclavage et puis le refroidir à une température ambiante, l'écoulement du milieu dans des boîtes de pétri, et ensuite l'ensemencement en masse, (1 ml) de chaque échantillon sur le milieu. Incuber à 30°C pendant 72h.

- **Lecture**

Les germes totaux aérobies apparaissent sous forme de colonies blanchâtres de tailles différentes. Le dénombrement des colonies par ml de l'échantillon se fait en tenant en compte le degré de dilution.

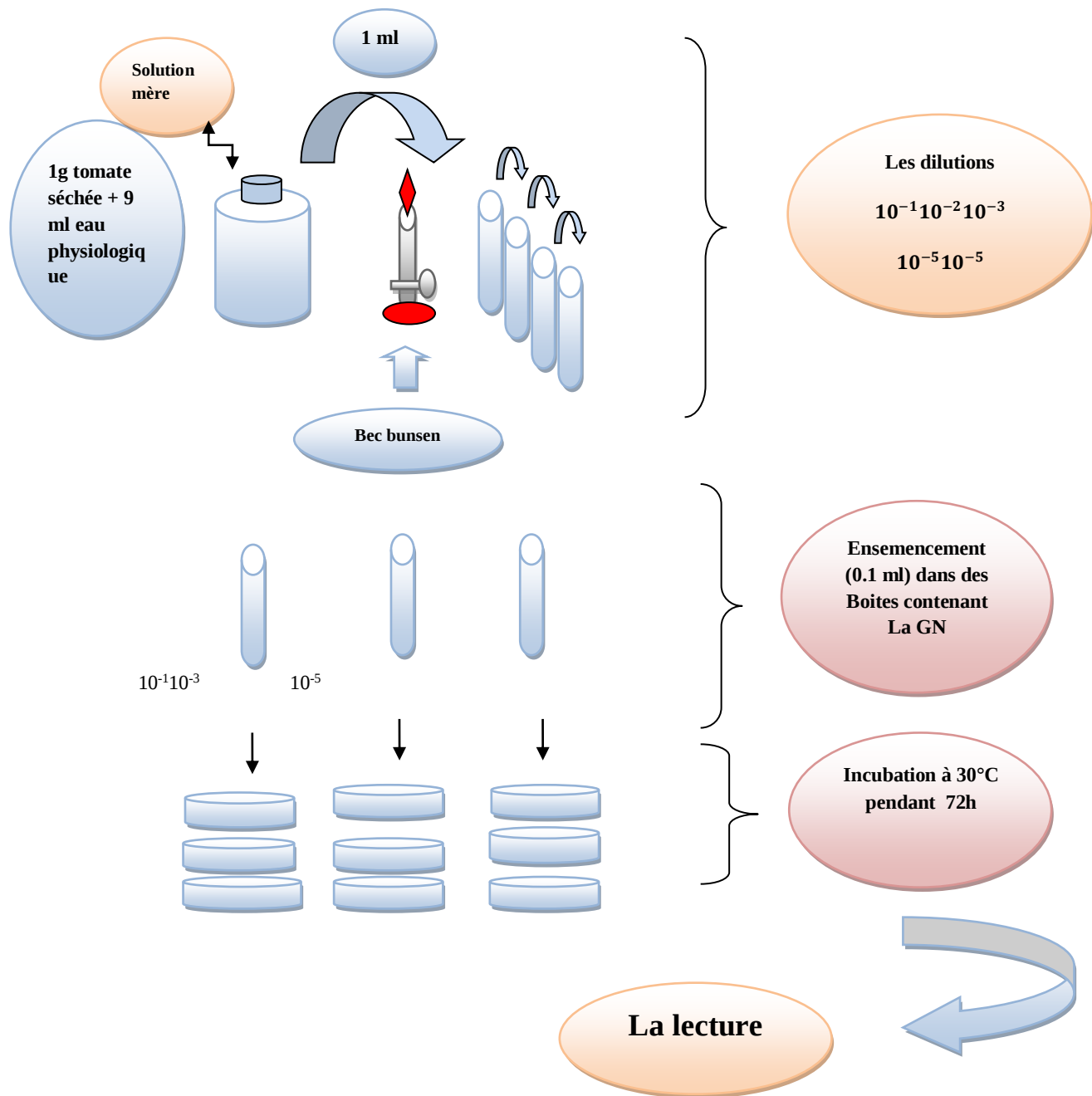


Figure 15. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (Lapied et Petranxiene, 1981 ; Guiraud, 1998).

III.2 - Coliformes totaux (CT) et les coliformes fécaux (CF)

Les coliformes totaux sont des bâtonnets, à Gram négatif, aero-anaerobis facultatifs, non sporulés (Guiraud et Galzy ; 1980). Les coliformes fécaux se distinguent des coliformes totaux par leur température de prolifération qui est de 44° C (Lapied et Petransxiene, 1981).

➤ Mode opératoire

- **Le milieu**

le milieu utilisé c'est le gélose lactosée Biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL).

- **Ensemencement**

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans une boîte de pétri vide et stérile. Cette opération doit être effectuée en double pour chaque dilution pour la recherche des :

- Coliformes totaux à 37°C.
- Coliformes fécaux à 44°C.

On complète ensuite avec environ 15 ml de gélose VRBL fondue puis refroidie à 45°C. On fait ensuite aussi des mouvements circulaires de va-et-vient pour bien mélanger la gélose à l'inoculum. Enfin on laisse la gélose solidifiée on coule les boîtes à nouveau environ 5 ml de la même gélose ; pour éviter toutes sortes de contaminations.

- **Incubation**

Les boîtes seront incubées couvercle en bas pendant 24 à 48 heures à :

- 37°C pour la recherche des coliformes totaux.
- 44°C pour la recherche des coliformes fécaux.

- **Lecture**

Toutes les colonies rouge foncé d'un diamètre minimal de 0,5 mm sont considérées comme étant des coliformes.

III.3 - Levures et moisissures

Les moisissures et les levures peuvent être présentes dans la tomate dans le cas d'une contamination. Elles ont été isolées à partir du milieu sélectif Sabouraud chloramphénicol. (Lapied et Petransiene, 1981).

- **Mode opératoire**

- **Le milieu :** le milieu utilisé c'est la gélose Sabouraud.
- **L'ensemencement :** dans le milieu se fait-en sur face.

Dans une boîte de Pétri contient de la gélose Sabouraud, transférer avec une pipette stérile, 0,1ml de la suspension mère. Dans une boîte de gélose transférer à l'aide d'une nouvelle pipette stérile 0,1ml la première dilution décimale (10^{-1}), procéder de la même façon avec les dilutions suivantes en utilisant une nouvelle pipette stérile à chaque dilution décimale. Etaler le liquide sur la surface de la boîte de gélose avec une pipette râteau stérile.

- **Incubation**

Incuber les boîtes préparées couvercles en température ambiante 25°C pendant cinq jours.

- **Lecture**

Le dénombrement est effectué pour les colonies de levures à part et les colonies de moisissures à part.

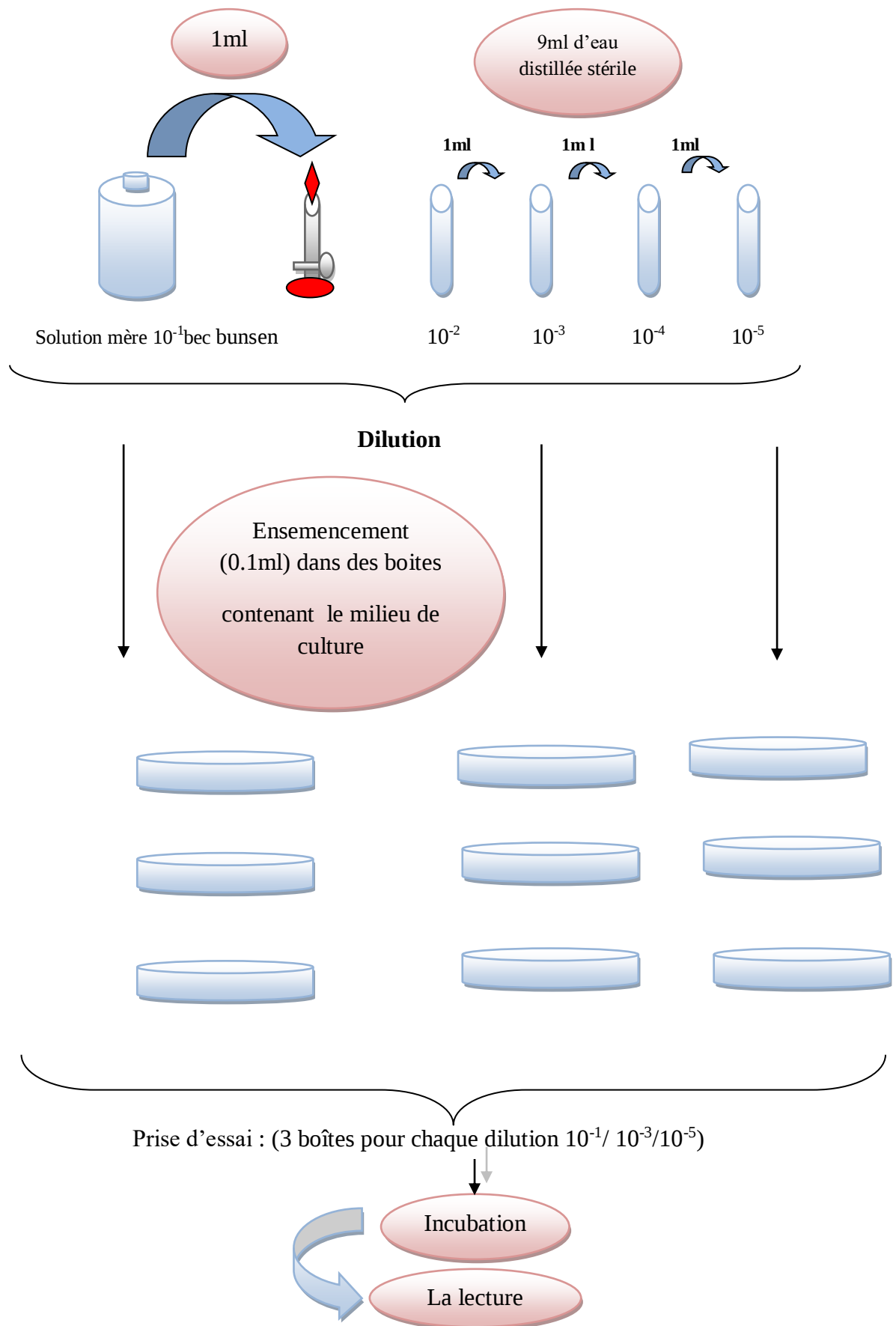


Figure 16. Schéma représentatif la méthode de dénombrement les levures et moisissure.

Partie III - Résultats et discussions

I - Résultats des analyses biochimiques de la tomate fraîche et de la tomate séchée

Une série d'analyses biochimiques, portant sur la détermination de la teneur en eau, du taux de cendres, du taux de sucres réducteurs, de l'acidité titrable, a été effectuée sur des échantillons de tomate fraîche et de tomate séchée. Les résultats obtenus sont représentés comme suivant :

I.1- Teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau des échantillons de la tomate fraîche et de tomate séchée sont représentés par les histogrammes de la figure 17.

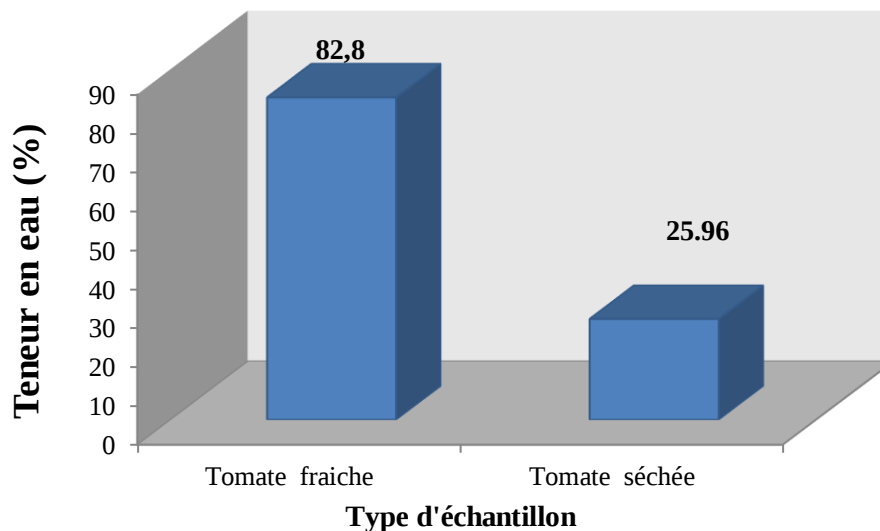


Figure 17. Histogrammes représentant la teneur en eau de tomate fraîche et de tomate séchée.

D'après les histogrammes de la figure 17, la teneur en eau des 05 échantillons de tomate fraîche est 82,8%. Selon Davies et al., (1981), la teneur en eau des tomates fraîches est de 94,60%. Cette différence peut être expliquée par le stade de maturité, le degré de fraîcheur des échantillons ou par une différence variétale. Les 5 échantillons de la tomate séchée, la teneur en eau de la tomate séchée est 25,96%. Cette teneur en eau dépend de l'efficacité de la déshydratation osmotique de la tomate et du séchage complémentaire. Une faible teneur en eau permet une meilleure conservation des tomates séchées.

I.2 - Taux de cendres de la tomate fraîche et de la tomate séchée

L'analyse a été déterminée pour les tomates fraîches et les tomates séchées. Les résultats obtenus sont regroupés dans la figure 18.

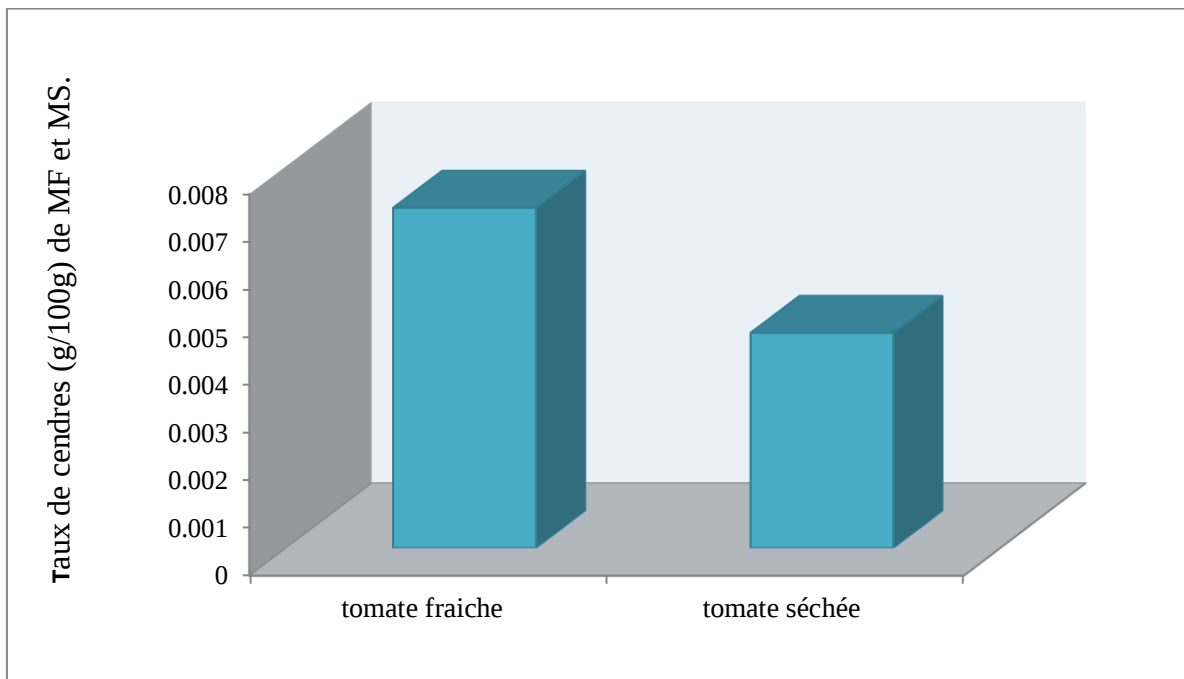


Figure 18. Taux des cendres des échantillons de tomate fraîche et tomate séchée.

Les résultats de la détermination du taux de cendres ont montré que les tomates fraîches utilisées au cours de l'expérience contiennent 0,0071g/100g. Cette valeur est inférieure à celle trouvée par (Boeckel et al., 2003) qui est de 0,5 g/100g.

Les principaux minéraux sont : le Calcium (2,95 à 3,95 mg/kg), le Magnésium (2,5 à 4 mg/kg), le Fer (0,6 à 0,8 mg/kg), le Phosphore (2,4 à 2,9 mg/kg), le Potassium (18,7 à 29,5 mg/kg) et le Sodium (15,7 à 17,6 mg/kg) (Degrou, 2013). Nous pouvons conclure que la tomate représente une bonne source en éléments minéraux.

Le taux de cendre de la tomate séchée est évalué à 0.004g/100g de matière sèche. Les éléments minéraux sont présents en quantités très importantes dans la matière sèche. Ils jouent un rôle important dans la composition nutritionnelle et la qualité finale du produit fini (tomate séchée).

I.3 - Acidité titrable

L'acidité titrable a été effectuée pour les tomates fraîches et les tomates séchées. Les résultats sont représentés dans la figure 19.

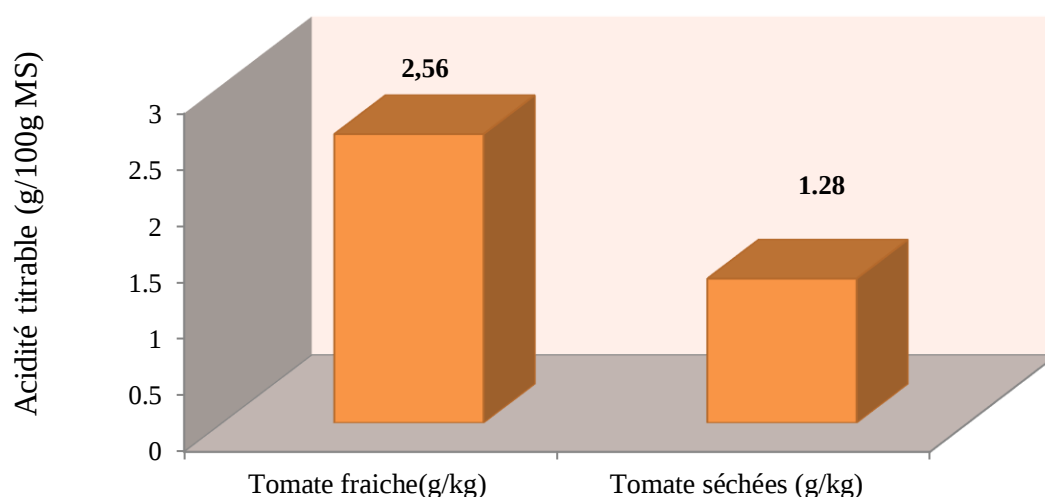


Figure 19. Acidité titrable de la tomate fraîche et de la tomate séchée.

D'après les résultats, nous remarquons que la tomate fraîche contient 2,56g l'équivalent d'acide citrique par 100 g matière sèche et matière fraîche. Cependant la tomate séchée contient 1,28g/100g de matière sèche. Cette différence peut être expliquée par la proportionnalité des acides organique entre eux et par rapport au taux de matière sèche dans les deux types des échantillons.

I.4 - Taux de sucres réducteurs dans la tomate fraîche et séchée

Les résultats du taux des sucres réducteurs de la tomate fraîche et de la séchée sont représentés par les histogramme de la figure 20.

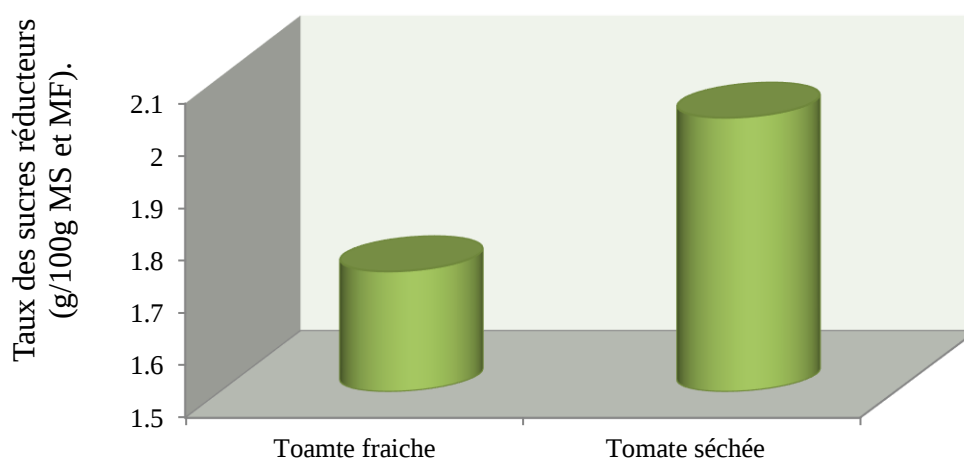


Figure 20. Taux de sucres réducteurs de la tomate fraîche et tomate séchée.

D'après les résultats obtenus, la tomate séchée contient 1,73g de sucres réducteurs par 100g de matière sèche. Cependant, le taux de sucres réducteurs de la tomate fraîche est de 2,02g/100g. Cette différence peut être expliquée par la dégradation des pectines, celluloses et hémicelluloses présents dans la peau des tomates. Les résultats sont comparable avec ceux trouvés par [Boeckel et al.,\(2003\)](#).

II- Les principales étapes de la production des tomates séchées

Les résultats du tableau(9) représentent les principales étapes de la déshydratation osmotique et du séchage des tomates.

Tableau9. Les principales étapes de la déshydratation osmotique et du séchage des tomates.

	
Les échantillons de la tomate avant la déshydratation osmotique	Les échantillons de la tomate en cours de déshydratation osmotique (T = 40°C et durée=6h)
	
Echantillons de la tomate après la déshydratation osmotique et avant le séchage.	Les échantillons de tomate après séchage complémentaire (durée du séchage = 60°C)

III - Résultats de la déshydratation osmotique

L'étude de la déshydratation osmotique des tomates ainsi que la mise en évidence de l'effet de quatre facteurs de variation sont : (la température de la déshydratation osmotique (F1), l'épicarpe de la tomate (F2), la masse de sel (F3) et le temps de la déshydratation osmotique(F4)) sur le poids des échantillons de tomate est effectuée selon le type d'expérience complet déterminé par logiciel (Mini-tab) pour Windows7. Les résultats de cette étude sont les suivants :

III.1 - Détermination de la perte en poids par déshydratation osmotique

Les échantillons de la tomate osmo-déshydratés sont déterminés en suivant la diminution du poids après déshydratation osmotique. Cette perte en poids est calculée selon l'équation 5. La matrice de cette expérience en valeurs codées, la perte en poids des échantillons après la déshydratation osmotique ainsi que les effets des facteurs de variation et les interactions entre les facteurs sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Matrice d'expériences de déshydratation osmotique de la tomate et réponses selon un plan compet de type : 2^k

Run, Order	Bloks	Temps	T°C	Epicarpe	Qunt.de sel	Poids initial(P ₀)	Poids après DO (P ₁)	Poids de différence entre (P ₀ - P ₁)	Effet de DO (X ₁)
1	1	1	-1	1	-1	22,76	16,05	6,71	29,4815
2	1	1	1	-1	1	16,55	8,42	8,13	49,1239
3	1	-1	1	1	-1	32	24,27	7,73	24,1563
4	1	1	-1	1	1	20,32	14,44	5,88	28,937
5	1	1	1	-1	1	18,35	9,06	9,29	50,6267
6	1	1	1	1	-1	15,82	9,15	6,67	42,1618
7	1	-1	1	1	1	27,77	21,32	6,45	23,2265
8	1	-1	-1	1	1	21,58	16,16	5,42	25,1158
9	1	-1	-1	-1	1	19,17	12,62	6,55	34,168
10	1	1	-1	-1	-1	22,69	14,28	8,41	37,0648
11	1	-1	1	-1	-1	25,56	17,2	8,36	32,7074
12	1	-1	-1	-1	-1	23,63	16,73	6,9	29,2002
13	1	1	-1	1	-1	19,15	13,67	5,48	28,6162
14	1	1	1	-1	1	15,17	7,04	8,13	53,5926
15	1	-1	1	1	-1	26,73	19,98	6,75	25,2525
16	1	1	-1	1	1	26,01	20,31	5,7	21,9146
17	1	1	1	-1	1	18,53	9,06	9,47	51,1063
18	1	1	1	1	-1	16,77	9,12	7,65	45,6172
19	1	-1	1	1	1	28,8	21,16	7,64	26,5278
20	1	-1	-1	1	1	26,47	22,53	3,94	14,8848
21	1	-1	-1	-1	1	16,74	10,76	5,98	35,7228
22	1	1	-1	-1	-1	20,12	13,56	6,56	32,6044
23	1	-1	1	-1	-1	22,41	14,36	8,05	35,9215
24	1	-1	-1	-1	-1	25,09	17,93	7,16	28,5373
25	1	1	-1	1	-1	27,22	21,6	5,62	20,6466
26	1	1	1	-1	1	19,06	10,12	8,94	46,9045
27	1	-1	1	1	-1	28,29	20,96	7,33	25,9102
28	1	1	-1	1	1	18,07	13,04	5,03	27,8362
29	1	1	1	-1	1	19,7	10,92	8,78	44,5685
30	1	1	1	1	-1	18,03	11,7	6,33	35,1082
31	1	-1	1	1	1	26,7	20,32	6,38	23,8951
32	1	-1	-1	1	1	24,88	18,86	6,02	24,1961
33	1	-1	-1	-1	1	18,18	12,24	5,94	32,6733
34	1	1	-1	-1	-1	20,5	14,11	6,39	31,1707
35	1	-1	1	-1	-1	21,33	13,59	7,74	36,2869
36	1	-1	-1	-1	-1	20,85	14,1	6,75	32,3741

Les résultats représentés dans le tableau 10, montrent que la perte en poids des échantillons de la tomate après déshydratation osmotique diffère d'une expérience à une autre suite au changement des facteurs de variation.

Nous trouvons que les différences entre le poids initial et après déshydratation osmotique des échantillons des tomates varient entre 14,88 et 53,59 g d'eau perdue/100g d'échantillon.

L'échantillon ayant montré la plus faible perte en poids est représentée par les conditions de l'expérience N°20 :14,88g d'eau perdue /100g d'échantillon. Ceci peut être expliqué par une faible température d'incubation de 25°C, une durée d'incubation de 6h et l'existence des épicarpes et une quantité de sel de 100g.

La réponse obtenue avec l'expérience N°14 indique que la perte en poids après la déshydratation est de 53,59g d'eau perdue /100gd'échantillon. Ceci peut être dû à une température d'incubation 40°C, durée d'incubation 6h, et sans épicarpe et avec une quantité de sel de 100g.

L'effet de la déshydratation osmotique sur les échantillons des tomates est représenté dans la figure 21 sous forme d'histogrammes.

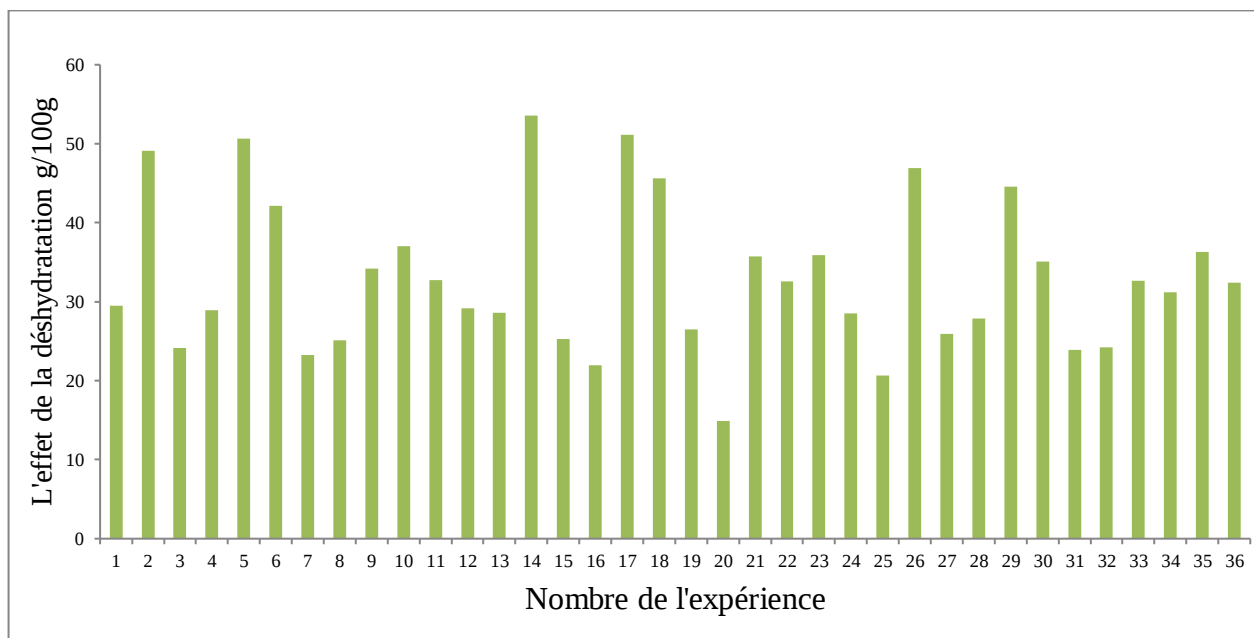


Figure 21. Effet de la déshydratation osmotique sur la perte en poids des échantillons de tomate selon un plan complet 2^K .

D'après les résultats mentionnés dans les histogrammes de la figure 05, tous les effets des facteurs de variation ont des valeurs positives sans exception.

Un effet positif signifie que le passage du facteur de variation du niveau bas vers le niveau haut accélère la vitesse de la déshydratation osmotique avec une perte en poids très importante. Les effets des facteurs de variation sur la vitesse de déshydratation osmotique sont donnés dans le tableau 09. L'effet des facteurs F1 et F4 (la température 25°C et le temps 4h) avec une valeur $X_1 = 14,88\text{g}$ d'eau perdue /100g d'échantillon de tomate. Ces dernières sont succédées par l'effet de plus en plus faible.

IV - Résultats du séchage complémentaire

Afin de diminuer d'avantage la teneur en eau des tranches de la tomate déshydratées osmotiquement, un séchage complémentaire est réalisé dans une étuve de laboratoire à une température de 60°C pendant 18 heures.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 11.

Tableau 11. Résultats de l'effet du séchage sur la perte en poids des échantillons de tomate déshydratée osmotiquement.

Poids initial (P_{D0})	Poids après séchage (P_3)	Poids de différence Entre P_{D0} et P_3 (P_{d2})	Effet du séchage (X_2)
16,05	3,44	12,61	55,40422
8,42	3,91	4,51	27,25076
24,27	8,25	16,02	50,0625
14,44	3,67	10,77	53,00197
9,06	3,99	5,07	27,62943
9,15	2,23	6,92	43,7421
21,32	7,96	13,36	48,10947
16,16	4,16	12	55,60704
12,62	7,26	5,36	27,96035
14,28	4,46	9,82	43,27898
17,2	11,76	5,44	21,28326
16,73	7,69	9,04	38,25645
13,67	3,42	10,25	53,5248
7,04	3,14	3,9	25,70864
19,98	5,81	14,17	53,0116
20,31	5,53	14,78	56,8243
9,06	4,16	4,9	26,4436
9,12	2,29	6,83	40,72749
21,16	7,03	14,13	49,0625
22,53	7	15,53	58,67019
10,76	3,82	6,94	41,45759
13,56	4,93	8,63	42,89264
14,36	7,58	6,78	30,25435
17,93	10,69	7,24	28,85612
21,6	5,84	15,76	57,8986
10,12	4,23	5,89	30,90241
20,96	7,07	13,89	49,09862
13,04	3,46	9,58	53,01605
10,92	4,44	6,48	32,8934
11,7	2,19	9,51	52,74542
20,32	7,38	12,94	48,46442
18,86	4,85	14,01	56,31029
12,24	9,84	2,4	13,20132
14,11	4,71	9,4	45,85366
13,59	3,91	9,68	45,38209
14,1	2,63	11,47	55,01199

D'après le tableau 11, les résultats obtenus montrent que la perte en poids après le séchage complémentaire a une relation proportionnelle avec la déshydratation osmotique appliquée avant le séchage. Les échantillons qui ont une perte en poids très élevée en cours de déshydratation osmotique sont les plus faibles en cours du séchage complémentaire.

Nous remarquons que la différence entre le poids après la déshydratation osmotique et le poids après séchage varient entre 13,20 et 58,67g d'eau/100g d'échantillon de tomate déshydratée osmotiquement.

L'échantillon de faible perte en poids en cours du séchage est représenté par la valeur 13,20g d'eau/100g de l'expérience N°33. Ceci peut être expliqué par une déshydratation osmotique forte et une perte en poids très importante, avec une teneur en eau restée dans l'échantillon très faible.

L'échantillon ayant une perte en masse très élevée en cours du séchage est indiqué par l'expérience N°20. Cette expérience a la plus faible perte en masse en cours de la déshydratation osmotique. Ceci peut être expliqué par une faible déshydratation osmotique et une forte teneur en eau restée dans l'échantillon.

La figure 22 représente l'effet du séchage complémentaire sur la perte en poids des tranches des tomates déshydratées osmotiquement.

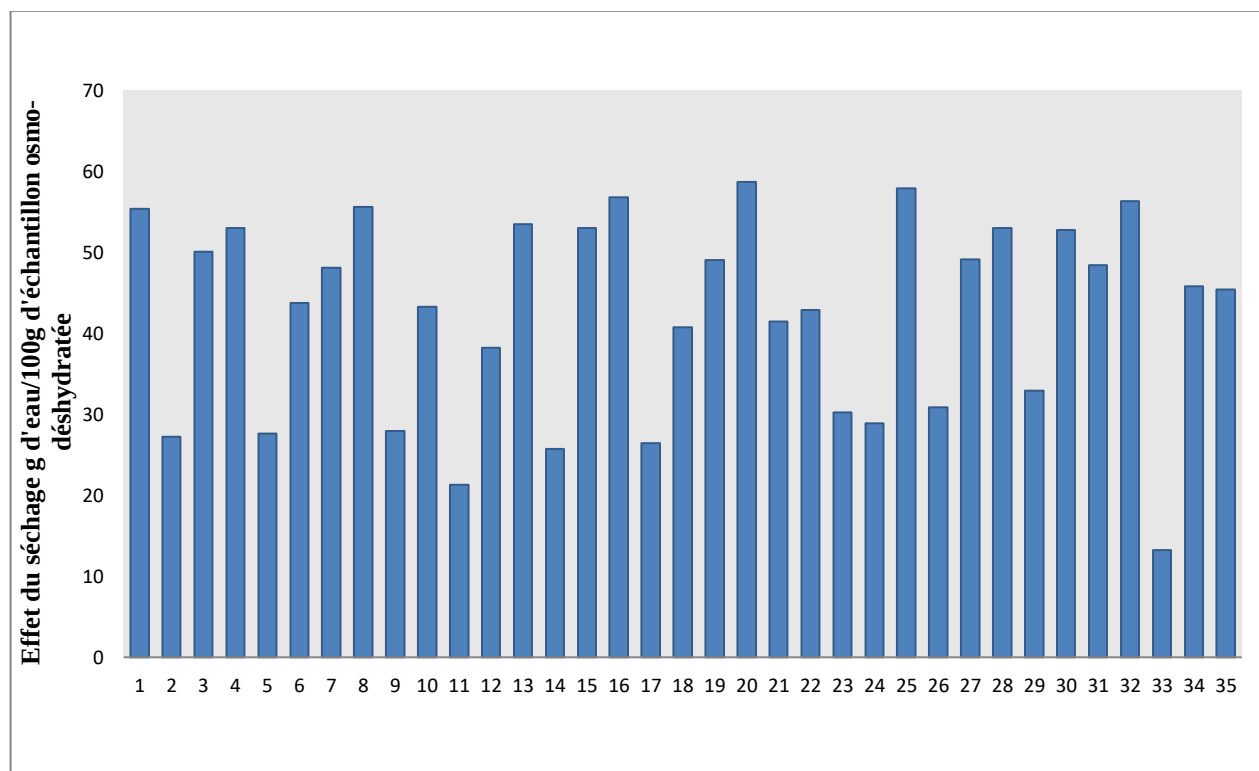


Figure 22. Effet du séchage complémentaire sur la perte en poids des tranches tomates déshydratées osmotiquement.

D'après les résultats représentés dans la figure 22, toutes les valeurs de l'effet du séchage sur la perte en poids sont positives. Nous remarquons que parmi les valeurs positives, des différences importantes existent d'une expérience à une autre. Ceci peut être expliqué par la relation de la déshydratation osmotique et du séchage. Si la déshydratation osmotique est efficace et forte, la perte en poids en cours du séchage sera très faible par rapport à ces résultats de déshydratation osmotique et inversent. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés avec [Shi et al., \(1998\)](#) ; [Abud-Archila et al., \(2008\)](#) ; [Panades et al., \(2008\)](#).

V - Optimisation des paramètres de la déshydratation osmotique et du séchage

Pour mieux comparer et optimiser les résultats de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire, on réalise une combinaison entre l'effet de la déshydratation osmotique (X_1) et l'effet du séchage (X_2) par la formule suivante : ($X_1 + X_2 =$ la somme) et cela pour trouver la meilleure expérience de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 12.

Tableau 12. Combinaison entre l'effet de la déshydratation osmotique et du séchage .

Effet-de déshydratation (X ₁)	Effet du séchage (X ₂)	La somme (X ₁ + X ₂)
29,4815	55,40422	84,88576
49,1239	27,25076	76,37462
24,1563	50,0625	74,21875
28,937	53,00197	81,93898
50,6267	27,62943	78,25613
42,1618	43,7421	85,90392
23,2265	48,10947	71,33597
25,1158	55,60704	80,72289
34,168	27,96035	62,12833
37,0648	43,27898	80,34376
32,7074	21,28326	53,99061
29,2002	38,25645	67,45662
28,6162	53,5248	82,14099
53,5926	25,70864	79,30125
25,2525	53,0116	78,26412
21,9146	56,8243	78,73895
51,1063	26,4436	77,54992
45,6172	40,72749	86,34466
26,5278	49,0625	75,59028
14,8848	58,67019	73,55497
35,7228	41,45759	77,18041
32,6044	42,89264	75,49702
35,9215	30,25435	66,17581
28,5373	28,85612	57,39338
20,6466	57,8986	78,54519
46,9045	30,90241	77,80693
25,9102	49,09862	75,00884
27,8362	53,01605	80,85224
44,5685	32,8934	77,46193
35,1082	52,74542	87,85358
23,8951	48,46442	72,35955
24,1961	56,31029	80,50643
32,6733	13,20132	45,87459
31,1707	45,85366	77,02439
36,2869	45,38209	81,66901
32,3741	55,01199	87,38609

D'après les résultats du tableau 12, nous remarquons que la combinaison des valeurs obtenues varient entre 57,39 et 87,85 g d'eau perdue/ 100g d'échantillon de tomate.

La valeur minimale de la perte en poids au cours de la déshydratation osmotique et après séchage est obtenue avec l'expérience N°11 (53,99g d'eau /100g d'échantillon de

tomate). Cette valeur peut être due à la faible efficacité des paramètres de variation de la déshydratation osmotique une faible efficacité du séchage complémentaire.

La valeur maximum de la perte en poids est obtenue avec l'expérience N°30 (87,85g d'eau perdue /100g d'échantillon de tomate). Cette valeur peut être expliquée par une forte efficacité des facteurs de variation en cours de la déshydratation osmotique et efficacité du séchage complémentaire.

Les résultats de la combinaison des deux processus sont illustrés dans la figure 07.

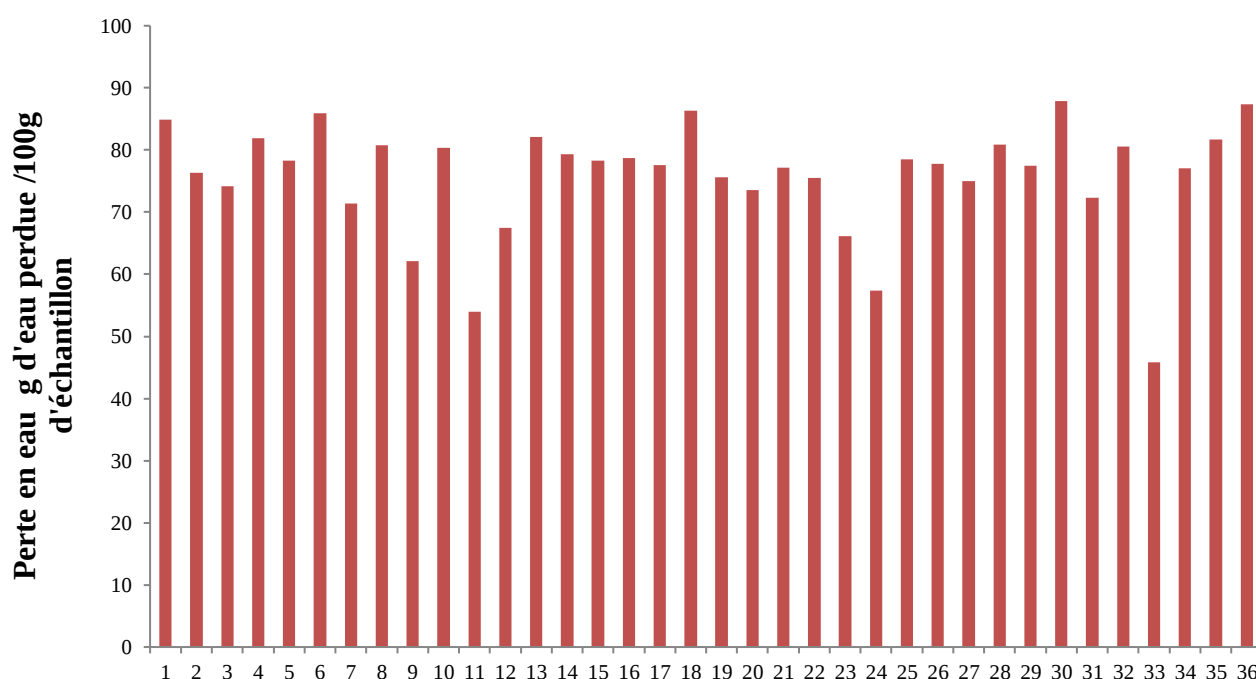


Figure 23. Combinaison entre l'effet de la déshydratation osmotique (X_1) et l'effet du séchage (X_2).

D'après ces résultats l'expérience N°30 est retenue en raison de la perte en eau très élevée (87,83 g d'eau perdue /100g d'échantillon de tomate. Les trois facteurs de variation : la température d'incubation F_1 et les épicarpes de la tomate F_2 , la durée d'incubation F_4 sont les plus influant sur les processus de la déshydratation osmotique et du séchage.

La figure 24 représente l'effet des facteurs de variation sur la perte en poids et le gain de solide (NaCl) en cours de la déshydratation osmotique.

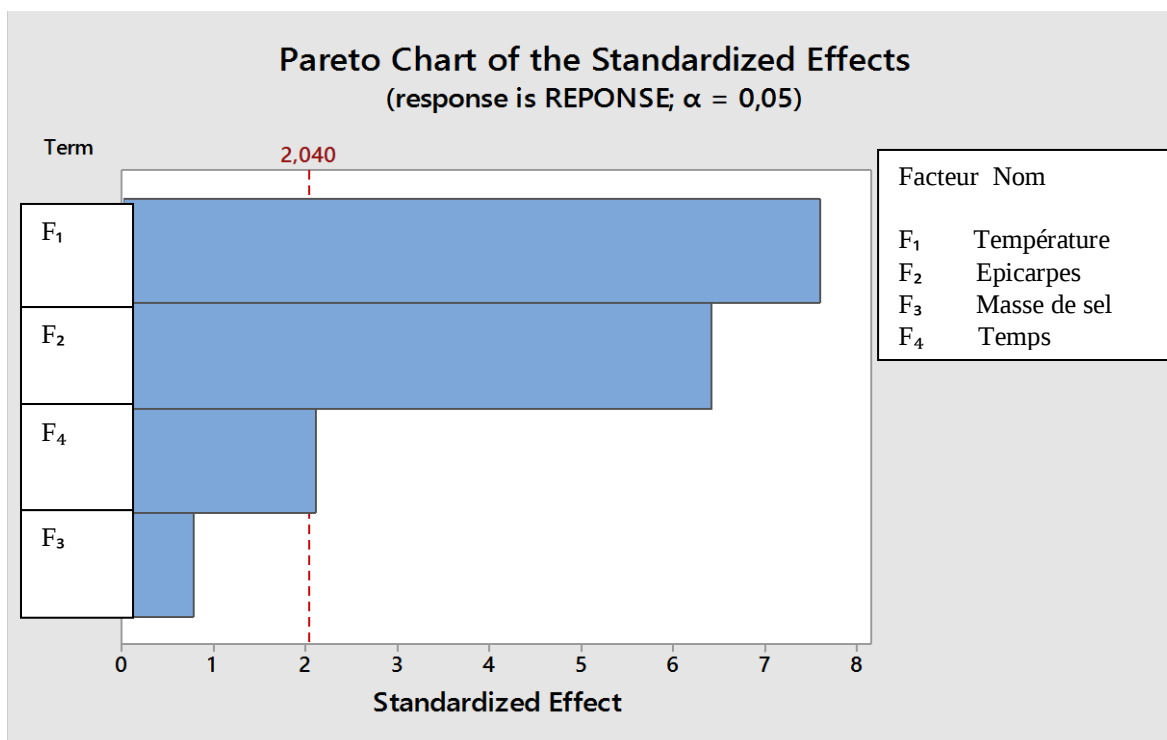


Figure 24. Effet des quatres facteurs de variation (température et temps d'incubation, masse du selet épicarpes) sur la déshydratation osmotique et sur le séchage de la tomate.

Les résultats ont montré que la température d'incubation F₁ et les épicarpes F₂ ont présenté les effets les plus significatifs sur la déshydratation osmotique et du séchage. Cependant la durée d'incubation F₄ a un effet significatif moindre que les deux facteurs précédents. La masse F₃ de sel n'ayant aucun effet significatif sur la déshydratation osmotique.

De même, la température et le temps d'incubation ont un effet positif important. Ceci a été également démontré par les travaux de [Abud-Archila et al., 2008](#) ; [Panades et al., 2008](#).

VI - Résultats des analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique est effectuée pour les échantillons de tomate séchée. La prévention permet de tester un aliment, pour savoir s'il est consommable du point de vue microbiologique, c'est-à-dire s'il ne contient pas de bactéries susceptibles de l'altérer (mauvais goût, mauvaise odeur, mauvaise apparence,...etc.) ou des microorganismes pathogènes et/ou toxigènes responsables de toxi-infections alimentaires. Les analyses microbiologiques ont été effectuées conformément à la réglementation Algérienne régissant la qualité microbiologique des fruits secs et la tomate ([Journal officiel de la](#)

république algérienne démocratique et populaire N° 39, 2017). Les normes Algériennes de la qualité microbiologique exigent la recherche et le dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FMAT) et la recherche des coliformes totaux. La recherche des levures et moisissures n'est pas exigées par ces normes algériennes mais nous l'avons effectué parce que leurs présences témoignent de l'apparition de phénomènes d'altération, de décoloration ou de modification de la flaveur (Dossou et al., 2007).

Les résultats des analyses microbiologiques des fruits des tomates séchées, exprimés en UFC/g, sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13. Résultats des analyses microbiologiques des tomates séchées exprimés en UFC/g.

Les échantillons	Les résultats expérimentaux			Norme	
	Échant.01	Échant.02	Échant.03	Limites micro-bio. (UFC/g)	
Les germes aérobies mésophiles totaux	Abs	Abs	Abs	M	N
				10 ⁴	10 ⁵
Coliformes Totaux et Fécaux	Abs	Abs	Abs	10	10 ²
Levures et Moisissures	Abs	Abs	Abs	//	//

VI.1 - La flore aérobie mésophile totale

Le taux de germes aérobies mésophiles totaux est une mesure qui représente toutes les bactéries, levures et moisissures présents dans le produit au moment de l'analyse. Un taux élevé signifie qu'une contamination inopportune a eu lieu ou s'est développée. Les causes principales sont la mauvaise qualité hygiénique des matières premières ou des déficiences lors de la fabrication, voire un entreposage inadéquat (Desbordes, 2003).

D'après le tableau 13, on remarque une absence totale de la flore aérobie mésophile totale (FMAT). Ce résultat est conforme aux limites annoncées par les différents auteurs, tel

que (Rouves, 2001) et le journal officiel algérien (JORAP N° 39, 2017). Ce résultat montre la bonne conduite d'hygiène au moment du prélèvement et manipulation l'efficacité des traitements de la déshydratation osmotique par le sel et du séchage.

VI.2 - Les coliformes totaux et les coliformes fécaux

Selon les résultats du tableau 13, on remarque une absence des coliformes totaux et coliformes fécaux dans les échantillons analysés égal 0 UFC/g. Ce résultat est conforme à la norme donnée par JORAP N° 39, (2017) et Rouves, (2001). La présence des coliformes fécaux est considérée comme un indice de contamination fécale. Il s'agit donc plutôt de marqueurs de mauvaise maîtrise d'hygiène ainsi qu'à la mauvaise manipulation (Guiraud et Rosec, 2004). Selon Larpent, (1990), la présence des coliformes totaux n'est pas obligatoirement une indication directe de la contamination fécale. Certains coliformes sont, en effet, présents dans les résidus humides rencontrés au niveau de l'équipement.

Nous pouvons confirmer que les échantillons des tomates analysées ne comportent pas une contamination fécale, et une bonne pratique d'hygiène et une efficacité des traitements de la déshydratation osmotique par le sel et du séchage.

VI.3 - Levures et moisissures

Elles se trouvent dans l'environnement des denrées alimentaires. Hormis dans les produits où elles sont ajoutées volontairement, elles signifient souvent une altération de la denrée. Un grand nombre de moisissures peut former des toxines dangereuses (mycotoxines). Des produits moisies ne doivent plus être consommés (Desbordes, 2003).

D'après le tableau 13, nous avons enregistré l'absence des levures et moisissures pour les tomates séchées. Ces résultats sont conformes à la norme de J.O.R.A.N° 39, (2017) et inférieur que ceux trouvés par (Rouves, 2001) Moisissures <500 /g à < 10 000 /g - Levures <100 /g à <500/g. Ceci peut expliquer l'absence d'altérations des tomates séchées et l'efficacité des traitements de la déshydratation osmotique par le sel et par séchage complémentaire.

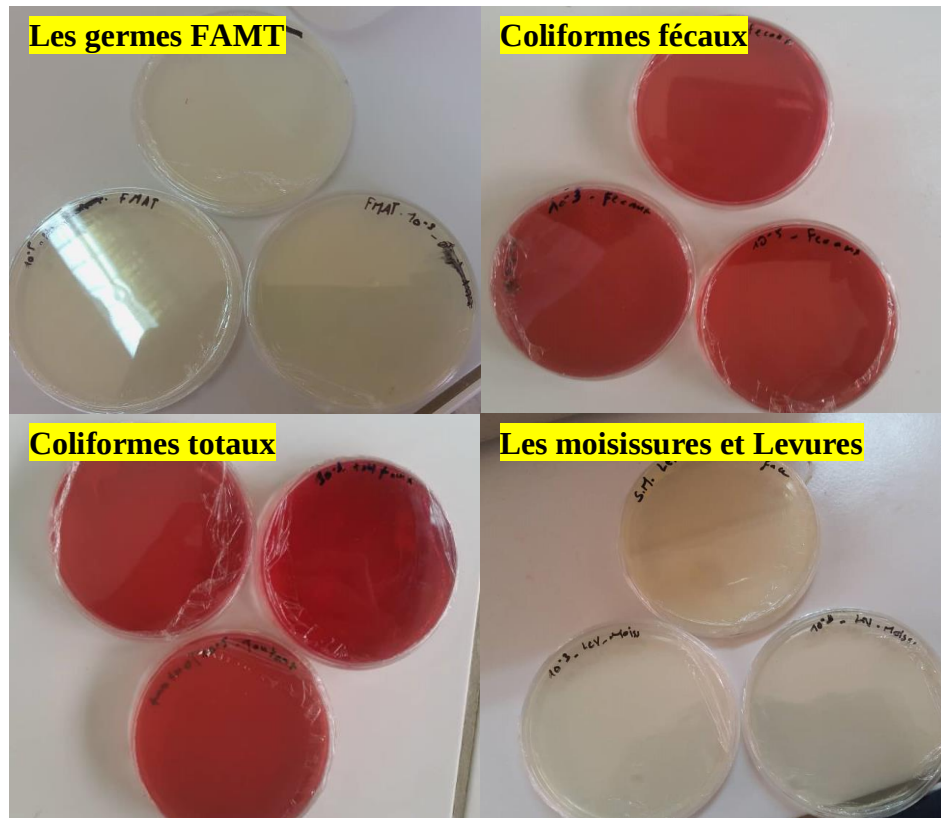


Figure 25. Photographies montrant l'absence des flores aérobies mésophiles totale, des coliformes fécaux et des coliformes fécaux, des levures et moisissure dans les échantillons des tomates séchées.

Conclusion

Le travail que nous avons réalisé est basé sur la déshydratation osmotique des tomates par l'immersion dans une masse du sel. L'effet de la température d'incubation, des épicarpes de la tomate, de la masse du sel, ainsi que la durée d'incubation a été mis en évidence en utilisant des plans d'expériences.

L'étude a été effectuée en variant la température d'incubation (25°C ou 40°C), les épicarpes (sans ou avec), la masse du sel (50g ou 100g) ainsi que la durée d'incubation (4h ou 6h). Après, on complète par un séchage complémentaire cette déshydratation osmotique dans une étuve de laboratoire à une température de 60°C pendant 18 heures.

Ces travaux ont permis de ressortir le protocole type pour l'effet de processus de déshydratation osmotique, l'effet du séchage complémentaire sur la perte en poids et qui offre des tranches des tomates à 87,85g d'eau perdue /100g d'échantillon de la tomate. Cette valeur a été obtenue par les conditions expérimentales suivantes : une température d'incubation 40°C, durée d'incubation 6h, et l'échantillon de la tomate avec épicarpes avec une masse de sel de 50g. Le calcul des effets des facteurs étudiés sur la perte en poids des échantillons de tomate osmo-déshydratées, montre que l'effet de la température d'incubation, les épicarpes ainsi que le temps d'incubation sont les plus importants et les plus significatifs.

Les résultats des analyses physicochimiques (teneur en eau, taux de cendres, taux des sucres réducteurs ainsi que l'acidité titrable) effectués sur les échantillons de tomate fraîche et de tomate séchée, se situent dans la zone de conformité des normes.

L'analyse microbiologique a révélée une absence totale des microorganismes recherchés tel que la flore aérobie mésophile totale, les coliformes fécaux et coliformes totaux, levures et moisissures. Cette absence confirme l'efficacité de la déshydratation osmotique ainsi que le séchage complémentaire sur la tomate sèche qui est jugée de qualité microbiologique satisfaisante.

Annexes

Composition des milieux de culture utilisés

1)- Composition et préparation du milieu de culture de la flore totale :

❖ Gélose Plate Count Agar

- **Composition**

- Tryptone..... 05g/l
- Glucose..... 01g/l
- Extrait de levure..... 2.5g/l
- Agar..... 15g/l

- **Preparation:**

- Suspendre 23.5g de poudre PCA ;
- Ajouter un litre d'eau distillée ;
- Chauffer jusqu'à complète dissolution ;
- Mettre en flacons ;
- Stérilisation à l'autoclave à 121°C pendant 15mn ;
- Conservation dans le frigo 4 à 5°C.

2) - Composition et préparation du milieu de culture des coliformes :

Gélose lactosée Biliée au cristal violet et au rouge neutre

- **Composition:**

- Peptone..... 7g /l
- Extrait de levure..... 5g/l
- Glucose.....10g/l
- Chlorure de sodium..... 5g/l
- Rouge neutre..... 0.03g/l
- Sels biliaires1,5g/l
- Cristal violet0.002g/l
- Lactose12g/l.

- **Préparation:**

- Suspendre 41.5g du milieu déshydraté dans une fiole stérile ;
- Ajouter un litre d'eau distillée ;
- Porter à ébullition lentement avec agitation jusqu'à complète dissolution ;
- Ne pas autoclaver ;
- Mettre au bain-marie à 60°C (ne pas conserver plus de six heures)
- pH du milieu final: $7,4 \pm 0.03$.

Tableau d'ANOVA**Analysis of Variance**

Source	DF	AdjSS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	43,1121	10,7780	25,94	0,000
Linear	4	43,1121	10,7780	25,94	0,000
Temps DO	1	1,8135	1,8135	4,37	0,045
T°C DO	1	23,9773	23,9773	57,72	0,000
épicarpe	1	17,0844	17,0844	41,12	0,000
Quantité du sel	1	0,2368	0,2368	0,57	0,456
Error31	12,8784	0,4154			
Lack-of-Fit	6	2,2221	0,3703	0,87	0,531
Pure Error	25	10,6563	0,4263		
Total	35	55,9905			

Références bibliographiques

- 1- **A.O.A.C., (1990).** Official method of analysis. Ed. Inc, Virginia.
- 2- **Abud-Archila M. et al., (2008).** Optimization of osmotic dehydration of yam bean (*Pachyrhizuserosus*) using an orthogonal experimental design. *J. Food Eng.*, N°84, P413- 419.
- 3- **Adambounou, T.L., Castaigne, F., (1983).**Déshydrataion par osmose des bananes et détermination des courbes de sorption isotherme. *Lebensmittel-Wissenschoft u Technologie*, N°16, P 230–252.
- 4- **Adamrounou L.T., Conway J. et Castaigne F., (1994).**Influence de la déshydratation partielle par osmose sur la composition de tranches de pomme. *Sci. Aliments*, N°14, P 75-85.
- 5- **Ade-Omowaye B.I.O., Rastogi N.K., Angersbach A. et Knorr D., (2003).** Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. *J. Food Eng.*, N°60, P 89-98.
- 6- **Amami E., Vorobiev E. etKechaou N., (2005).**Effect of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of apple tissue. *DryingTechnology*, N°23 (3), P 581-595.
- 7- **Amami E., Vorobiev E., etKechaou N., (2006).**Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT - Food Science and Technology*, N°39(9), P 1014-1021.
- 8- **Amrani M., (2007).** Apport du procede de lyophilisation sur la qualite des fraises marocaines. N°69 (2). P10.
- 9- **Arrêté du 22 janvier (1993).**relatif aux conditions hygiéniques et sanitaires de production.
- 10- **Arrêté du 22 janvier 1993 relatif aux conditions hygiéniques et sanitaires de production**InAblad A., (2010). Analyse microbiologiques des aliments, mémoire de licence.Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. P 6-9-10-11.
- 11- **Azuara E., Beristain C.I. et Gutiérrez G.F., (1998).**A method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *Lebensm. Wiss. Technol.*, N°31, P317-321.

- 12- **Bchir B., Besbes S., Giet J. M., Attia H., et Blecker, C. (2011).** Synthèse des connaissances sur la déshydratation osmotique. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, N°15(1), P 129-142.
- 13- **Benkhelfellah R., Sofiane El M., Miri R et Belhamel M., (2005).** Sechoirs solaires. Etude comparative de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires dans des modèles de type direct et indirect, Tanger, Maroc. P 262.
- 14- **Benton J. (2008).** Tomato plant culture: In the field, Greenhouse, and home garden, deuxième édition. Edition : Taylor et Francis Group. New York. P 399.
- 15- **Bimbenet J.J., (1984).** Les échanges dans l'industrie agricole et alimentaire *Cahiers du génie Industriel Alimentaire (G.I.A)*. Edition : Sepaic, Paris, 2ème édition . P 34.
- 16- **Blancard D., (2009).** Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Edition : Quæ. Paris. P 691.
- 17- **Boeckel A., Thomas P., Hounhouigan V., Joseph D., et Nout, R., (2003).** Les aliments: transformation, conservation et qualité. CTA.
- 18- **Bohuon P., Raoult-Wack A.L., (2002).** *Procédé de déshydratation osmotique*. In *L'eau dans les aliments*. Le Meste M., Ed. Paris: Lavoisier. P 708.
- 19- **Bonazzi. Cet Dumoulin E., (2011).** Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. P 35.
- 20- **Bonnefoy C., Guillet F., Leyral G., Verne , E ., (2002).** Microbiologie et qualité dans les industries agro-alimentaires (collection biosciences et techniques ; séries : sciences des aliments). Ed. : Doin , Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, Bordeaux , Paris . P 16 , 101. ISBN 2 -86617-395-5.
- 21- **Bornert, G., (2000).** La place des analyses microbiologiques de denrées alimentaires dans le cadre d'une démarche d'assurance-sécurité. *Revue MédVét*, 151, 805-12.
- 22- **Bouton PE., Harris PV., Ratcliff D., (1982).** Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat. *J Food Sci*, 46(4). P1082–1087.
- 23- **Burden J., et Wills R.B.H., (1992).** Prévention des pertes après récolte: Fruits, légumes, racines et tubercules. Collection FAO ; formation N°17/2. Rome.
- 24- **Castello M., Igual M., Fito P. et Chiralt A., (2009).** Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (var. 'Granny Smith'). *J. Food Eng.*, N°91, P 1-9.

- 25- **Chanforan C., (2010).** Stabilité de micro constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechiocinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de doctorat en Sciences, spécialité : chimie. Université d'Avignon. Pays de Vaucluse. P 395.
- 26- **Charreau A., Cavaille R., (1991).** Séchage théorie et pratique Technique de l'Ingénieur, génie des procédés, N°2480(1); P 2480-23.
- 27- **Chevalier P., (2003).** Groupe scientifique sur l'eau. Coliformes totaux. Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Ed. : Institut national de santé publique, Québec. P 1.
- 28- **Colas B., (2003).** Propriétés structurantes de l'eau dans les légumes et dans les fruits ; influence sur la texture dans l'eau dans les aliments par LE MESTEM ; LORIENT D. SIMATOS D ; Ed.Tec et Doc. Paris. P 674.
- 29- **Contreras J.M., Smyrl T.Cl., (1981).** An evaluation of osmotic concentration of apple rings using cornsyrup solids solutions. *Food Sciences and Technology Journal*, N°14, P 310-314.
- 30- **Corrêa J., Pereira L., Vieira G. et Hubinger M., (2010).** Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *J. Food Process Eng.*, N°96, P 498-504.
- 31- **Cotte., (2000).** Etude de la valeur alimentaire de pulpe de tomate chez les ruminants. Thèse pour l'obtention de grade de Docteur vétérinaire .Université Claude Bernard de Lyon1, P. 135.
- 32- **Davies J.N. et Hobson G.E., (1981).** The constituents of tomato fruit –The influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. N°15. P205-280.
- 33- **Degrou A.E., (2013).** Etude de l'impact des procédés de transformation sur la diffusion des caroténoïdes : Cas du lycopène de la tomate. P190.
- 34- **Dermesonlouoglou E.K., Pourgouri S. et Taoukis P.S., (2008).** Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, N°9, P 542-549.

- 35- **Desbordes D., (2003).** Qualité microbiologique des fruits et légumes: flores, altérations, risques sanitaires, prévention. *Rapport de Recherche Bibliographique*, P 20-23.
- 36- **Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF):** (juin, 2018). Fiche pratique : conservation des aliments : toutes les techniques. direction départementale de la protection des populations (DDPP) ou direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSPP).
- 37- **Djendoubi M.N., Bonazzi C., Boudhrioua N., Kechaou N., Courtois F., (2012).** Influence of sugar composition on water sorption isotherms and on glass transition in apricots. *J. Food Eng.* N°111, P 403-411.
- 38- **Djerroud D., (2010).** Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation ; l'université de toulouse. thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement de l'université de toulouse. P 166.
- 39- **Eren I. et Kaymak-Ertekin F., (2007).** Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J. Food Eng.*, N°79, P 344-352.
- 40- **FAOSTAT, (2013).** Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 12TU <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancorU12T>.
- 41- **FAOSTAT., (2011).** Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Consultable à <http://faostat.fao.org> (vérifié le 25-05-2013).
- 42- **Ferrando M. et Spiess W., (2001).** Cellular of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose and trehalose solutions. *J. Food Eng.*, N°49, P 115-127.
- 43- **Fitzjames I. et Kuipers B., (2003).** La conservation des fruits et des légumes. *Stoas Digrafi*. Wageningen, Pays bas. P 7.
- 44- **Flink, J.M., (1980).** *Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behavior and product quality.* In *Food Process Engineering*, P. Linko et al., editor, Vol. 1. Academic Press, London.
- 45- **Garcia-segovia P., Mognetti C., André-Bello A. et Martinez J., (2010).** Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). *J. Food Eng.* N°97, p 154-160.

- 46- **Giraldo G., Talens P., Fito P. et Chiralt A., (2003).** Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic of mango. *J. Food Eng.*, N°58, p 33-43.
- 47- **Guiraud J P. (1998).** Microbiologie Alimentaire. Dunod, 89 -95p. transformation du lait, édition la maison rustique, Parie, P 176.
- 48- **Guiraud J.P. et Galzy P., (1980).** L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Edition l'usine. P119.
- 49- **Guiraud J.P., (1998).** Microbiologie alimentaire. Edition : Dunod. Paris. P 615.
- 50- **Guiraud JP. (2003).** Microbiologie alimentaire .nouvelle édition .Paris : Dunod, .P 652. (technique et ingénierie) .ISBN 2-10007259-5.
- 51- **Guiraud J-P., (1998).** Microbiologie alimentaire, microbiologie des principaux produits laitiers. Ed.DUNOD, Paris. P 65.
- 52- **Guiraud J-P. et Rose J-P., (2003).** Pratiques des normes en microbiologie alimentaire. Ed. AFNOR. P 300.
- 53- **Hawkes J. et Flink J.M., (1978).** Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. *J. Food Process. Preserv.*, N°2, P 265-284.
- 54- **IPGRI., (2009).** Descripteurs de la tomate (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resource Institute.
- 55- **Jean M., (2007).** Germes aérobies mésophiles. Edition : Service de la consommation et des affaires vétérinaires, Neuchâtel, Suisse.
- 56- **Jena S. et Das H., (2004).** Modelling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. *J. Food Eng.*, N°66, P 425-432.
- 57- **Khoyi M. et Hesari J., (2007).** Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *J. Food Eng.*, N°78, P 1355-1360.
- 58- **Kowalska H., Lenart A. & Leszczyk D., (2008).** The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, N°86, P30-38.
- 59- **Kowalska H., Lenart A. et Leszczyk D., (2008).** The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, N° 86, P 30-38.
- 60- **Kowalska H., Lenart A. et Leszczyk D., (2008).** The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, N°86, P 30-38.
- 61- **Larpent J.P., (1990).** Lait et produits laitiers non fermentés. Dans Microbiologie alimentaire. (Bourgeois C.M., Mescle J.F. et Zucca J.) Tome 1 : Aspect

- microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Edition Tec et Doc. Lavoisier. P 201-215.
- 62- Larpent J.P., (1997).** Microbiologie alimentaire, technique de laboratoire. ED. Tec&Doc. Lavoisier,Paris.
- 63- Latigui A., (1984).** Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Thèse Magister. INA El-Harrach. Alger.
- 64- Laumonier R., (1979).** Culture légumières et maraichères, tome III. Ed.Bailliere. Paris. P 279.
- 65- LeMaguer H. et Sharma S., (1997).** Design and selection of processing conditions of pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. *J. Food Process Eng.*,N°21, P 75-88.
- 66- Lenart A., (1996).** Osmo-convective drying of fruits and vegetables : technology and application. *Dryingtechnol.*, N°14, P 391- 413.
- 67- Lerica C.R., Pinnavaia T.G., Dalla Rosa M. etBartolucci L., (1985).**Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. *J. Food Eng.*,N° 50, P 1217-1226.
- 68- Leveau J.Y., Larpent J.P et Boulx M., (2001).** Sécurité microbiologique des procédés alimentaires. Techniques de l'ingénieur Agroalimentaire : risques, sécurité, qualité et environnement. Ed.T.I.vol. TIB427DUO. N°(f1120).url. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/agroalimentaire-risques-securite-qualite-et-environnement-42427210/securite-microbiologique-des-procedes-alimentaires-f1120/>
- 69- Leyral G et Vierling É., (2007).** Microbiologie et toxicologie des aliments: hygiène et sécuritéalimentaires. 4e édition Biosciences et techniques. P 87.
- 70- Leyral G., Vierling, E., (2007).** Microbiologie et toxicologie des aliments : Hygiène et sécurité alimentaire (collection biosciences et techniques ,séries : sciences des aliments, 4° Ed). Ed. : Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, Bordeaux. P 20- 108. ISBN 978-2-7040-1233-6.
- 71- MADR., (2010) :** Statistiques Agricoles, Superficies et produits. Ministère de l'agricultureet du développement Rural, Alger.
- 72- Mafart P., (1991).** Les procédés physiques de conservation. Edition Lavoisier Tec et Doc, série Apria, P 295.

- 73- Marchal L., Allali H. et Vorobiev E., (2005).** Blanchiment de fraise par chauffage ohmique : incidence sur la cinétique de déshydratation-imprégnation par immersion. Edition : Lavoisier.Paris.
- 74- Marouzé C., Giroux F., Collignan A. et Rivier M., (2001).** Equipment design for osmotic treatments. *J. Food Eng.*, N°49, P 207-221.
- 75- Mavroudis N.E., Dejmek P. et Sjöholm I., (2004).** Osmotic treatment induced cell death and osmotic processing kinetics of apples with characterised raw material properties. *J. Food Eng.*, N°63, P 47-56.
- 76- Meyer A., Deiana J., Bernard A., (2004).** Biosciences et techniques : cours de microbiologie général avec problèmes et exercices corrigés (2° Ed). Ed. : Doin Editeurs, groupe liaison SA- 1, avenue Edward belin 92856, Rueil Malmaison-cedex, France. P 69. ISBN 2-7040-1170-2.
- 77- MTCTHG, (2009).** Magazine Trimestriel du Centre Technique Horticole de Gembloux .N°27.juin 2009.
- 78- Naika S., De Jeude JVL., De Goffau M., Hilmi M. et Van Dam B. (2005).** La culture de latomate (production, transformation et commercialisation). Cinquième édition. Edition : Wageningen. Pays-Bas. P 105.
- 79- Navez B., (2011).** Tomate : qualité et préférence. Edition Ctifl. Paris. P 271.
- 80- Nestlé Recall Leaves A Mystery in Its Wake, Washington Post, 21 juin 2009**
In Ablad A., (2010). Analyse microbiologiques des aliments, mémoire de licence. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. P 9.
- 81- Nieto A.B., Salvatori D.M., Castro M.A., Alzamora S.M., (2004).** Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration : shrinkage, porosity, density and microscopic features. *J. Food Eng.*, N°61, P 269-278.
- 82- Panades G., Castro D., Chiralt A., Fito P., Nuñez M., et Jimenez, R., (2008).** Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. *J. Food Eng.*, N°87, P 386-390.
- 83- Polese J.M., (2007).** La culture des tomates. Edition : Artémis. chine. P 95.
- 84- Ponting J.D., Watters G.G., Forrey R.R., Jackson R., Stanley W.L., (1966).** Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, N°20. P 125-128.
- 85- Raoult-wach A.L., (1994).** Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Food sci. Technol.*, N°5., p 255-260.

- 86- **Raoult-Wack A.L., Rios G., Saurela R., Giroux F. et Guilberta S., (1994).** Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food Research International Journal of Dairy Technology*. N°27(2) : P 207-209.
- 87- **Rastogi N.K. et Raghavarao K.S.M.S., (2004).** Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Lebensm. Wiss. Technol.*, N°37, P 43-47.
- 88- **Riva M., Campolongo S., Leva A.A., Maestrelli A., et Torreggiani D., (2005).** Structure–property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*, 38(5), p 533-542.
- 89- **Saravacos - George D., (2002).** Mass transfer proprieties of foods Engineering proprieties of foods, INC, 2ème edition, P 531.
- 90- **Saurel R., Raoult-Wack A.L. et Rios Guilbert S., (1995).** Approches technologiques nouvelles de la déshydratation-imprégnation par immersion (DII). *Ind. Aliment. Agric.*, 2, 7-13.
- 91- Section des permis de la Santé, les inspections et l'unité d'exécution, le Conseil municipal de Christchurch.
- 92- **Shi J., Le Maguer M., Wang S. et Liptay A., (1998).** Application of osmotic treatment in tomato processing effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. *Food Res. Int.*, N° 30, P 669-674.
- 93- **Simal S., Sánchez E. S., Bon J., Femenia, A., et Rossello C., (2001).** Water and salt diffusion during cheese ripening: effect of the external and internal resistances to mass transfer. *J. Food Eng.*, N°48(3), P 269-275.
- 94- **Snoussi S., (2010).** Rapport de mission étude de base sur la tomate. Edition : GTFS/REM/070/ITA. Algérie. p 52.
- 95- **Talens P., Escriche I., Martinez-Navarrete N. et Chiralt A., (2003).** Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Res. Int.*, N°36, P 635- 642.
- 96- **Taoussaint A, Baudoin J-P., (2010).** Biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et valorisation de la collection « Luc Fichot* ». Gembloux agro bio tech. P 102.

- 97- Thijssen H.A.C., Romijn J.G., (1973).** Freeze concentration of food liquids. Proceedings of the International Congress of Refrigeration (13th Washington). N°1. P. 719-724.
- 98- Torreggiani D. et Bertolo G., (2001).** Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *J. Food Eng.*, N°49, P 247-253.
- 99- Torreggiani D., (1995).** Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In : Food preservation by moisture control : Fundamentals and applications, ISOPOW PRACTICUM II, G.V.Barbosa-Cànovas and J. Welte-Chanes Eds., Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, PA (USA), P 281-304.
- 100- Uddin M., Ainsworth P. et Ibanoglu S., (2004).** Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. *J. Food Eng.*, N°65, P 473-477.
- 101- Vasseur J., (2011).** Séchage industriel : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1). Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires : évaporation et séchage. P 2451.
- 102- Verdier N.A., Sadat A.W., Clément D.A., Emmanuel N.A. et Georges N.A., (2016).** Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. N°12(4). P402-406.
- 103- Wu L. et al., (2009).** Applicability of vacuum-dehydrofreezing technique for the long-term preservation of fresh-cut eggplant: effects of process conditions on the quality attributes of the samples. *J. Food Process Eng.*, N°91, P 560- 565.
- 104- Zidani S., (2009).** Valorisation des pelures de la tomate séchée en vue de leur incorporation dans la margarine. Mémoire de Magister. Université M'hamed Bougara Boumerdes, Faculté des sciences de l'ingénieur. P 114.

عنوان المذكرة : التجفيف الحلولي, التجفيف والنوعية الميكروبيولوجية للطعام المجففة.

الإسم: بتول فاطمة الزهراء **اللقب:** شخاوي

المؤطر: قوجال ياسين

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التجفيف الحلولي , التجفيف والنوعية الميكروبيولوجية لقطع الطماطم , وهذا باستعمال المخططات التجريبية وبتغير أربع عوامل وهي : درجة حرارة الحضانة بين 40 درجة حرارة مئوية و 25 درجة حرارة مئوية , غشاء الطماطم الخارجي (مع أو بدونه) , كتلة الملح بين 50 غرام و 100 غرام , وأيضا مدة الحضانة بين 4 ساعات أو 6 ساعات, من اجل الحصول في الأخير على الشروط الملائمة لفقدان الوزن لعينات الطماطم و كمية ماء أخيرة الأقل . بالنسبة لعينات الطماطم المعالجة, تأثير التجفيف الحلولي والتجفيف على نقصان الوزن لقطع الطماطم وأيضا كمية الماء الأقل وجدت في الشروط التالية : درجة حرارة مئوية 40 , مدة زمنية تساوي 6 ساعات و كمية ملح تساوي 50 غرام على عينات طماطم بالغشاء الخارجي. النتائج المتحصل عليها من المخططات التجريبية أثبتت أن الغشاء الخارجي للطماطم, ودرجة الحرارة وأيضا المدة الزمنية للتجفيف الحلولي لهم الأكثر تأثيرا على فقدان الوزن لعينات الطماطم المجففة اسموزيا . نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية والتحليل الميكروبيولوجية موجودة في منطقة الامتثال للمعايير, مما يعني مما يعني أن الطماطم الجافة ذات جودة غذائية وبيولوجية دقيقة.

كلمات مفتاحية: التجفيف الحلولي, التجفيف, مخطط العمليات, النوعية الميكروبيولوجية, الطماط

Memory title : Osmotic dehydration, drying and microbiological quality

dried tomatoes

Name : CHIKHAOUI **First name:** Batoul Fatima Zohra **Directed by:** GOUDJAL Yacine

Abstract

The aim of this document is the study of osmotic dehydration, drying and determination of the microbiological quality of tomato slices, using the method experimental planification, while varying the incubation temperature (25°C or 40°C), With the epicarp or without, the mass of the salt (50g or 100g), and the duration of incubation (4h or 6h), in order to get the conditions allowing to achieve a loss in weight of tomato sample and a lowest final water content. For the samples of treated tomato, the effect of osmotic dehydration and drying on weight loss of tomato slices as well as the lowest moisture content are obtained under the following conditions: a 40°C incubation temperature, an incubation time of 6 hours and a salt mass of 50 g on a tomato sample with epicarp. The results obtained from the experimental designs show that the epicarps, the temperature and the duration of incubation are the most significant on the weight loss of osmodehydrated tomato samples. The results of physicochemical and microbiological analyzes are in the compliance area of the standards, which means that dry tomatoes are of good nutritional and microbiological quality.

Key words: Osmotic dehydration,
drying, microbiological quality, experimental planification, tomato.

Titre du mémoire : Déshydratation osmotique, séchage et qualité microbiologique des tomates séchées.

Nom:CHIKHAOUI **Prénom:** Batoul F.Z.

Encadreur:GOUDJAL Yacine

Résumé

L'objectif de notre travail vise l'étude de la déshydratation osmotique, le séchage et la détermination de la qualité microbiologique des tranches de tomate, en utilisant la méthode des plans d'expériences, tout en variant la température d'incubation (25°C ou 40°C), les épicarpes (sans ou avec), la masse du sel (50g ou 100g), et la durée d'incubation (4h ou 6h), afin de tirer les conditions permettant d'atteindre une perte en poids d'échantillon de tomate et une teneur en eau finale les plus faibles. Pour les échantillons de tomate traités, l'effet de la déshydratation osmotique et du séchage sur la perte en poids des tranches de tomate ainsi que la teneur en eau la plus faible sont obtenues avec les conditions suivantes : une température d'incubation de 40°C, une durée d'incubation de 6h et une masse du sel de 50 g sur un échantillon de tomate avec épicarpes. Les résultats obtenus des plans d'expériences montrent que les épicarpes, la température et la durée d'incubation sont les plus significatifs sur la perte en poids des échantillons de la tomate osmodéshydratée. Les résultats des analyses physicochimiques et ceux des analyses microbiologiques se situent dans la zone de conformité des normes, ce qui signifie que les tomates secs sont de bonne qualité nutritive et microbiologique.

Mots clé : Déshydratation osmotique, séchage, plan d'expérience, tomate, qualité microbiologique.