



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} BENTIRECHE FETTOUM

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CÔNTROLE DE QUALITE

Thème

Confisage et qualité microbiologique des fruits secs : cas des oranges

Jury de soutenance :

Soutenu le : 22 Juin 2019

Nom et Prénom	Grade	qualité
Dr. ADAMOU Ala-Eddine	Maître de Conférences "A"	Président
Mr. DJOUKHDOUN Laid	Maître Assistant "B"	Examineur
Dr. GOUDJAL Yacine	Maître de Conférences "A"	Rapporteur

Promotion : juin - 2019.

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant, de m'avoir donné le courage, la sante, la patience et les moyens afin que je puisse réaliser ce travail.

"ELHAMDOU LILLAH"

Je tiens à remercier mon promoteur Dr. GOUDJAL Yacine, maître de conférences "A" au département des sciences agronomiques de l'Université Amar Telidji – Laghouat, d'avoir accepté de m'encadrer, je le remercie aussi pour son aide, ses critiques constructives tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements aussi à tous les ingénieurs de laboratoire du département des sciences agronomiques chacun son nom.

Mes remerciements sont adressés aux membres de Jury qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail :

Dr. ADAMOU Ala-Eddine maître de conférences "A" au département des sciences agronomiques de l'Université Amar Telidji – Laghouat qui a fait l'honneur de présider ce Jury ; et Monsieur DJOUKHDOUM Laid Maître Assistant "B" qui nous a honoré de bien vouloir examiner ce travail.

Sans oublier démettre mes remerciements les plus sincères à tous les professeurs de spécialité et du cycle d'étude.

En fin, du fond du cœur, j'exprime mes remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

DEDICACE

Je dédie ce travail en premier lieu à mes parents qui me sont très chers en témoignage à leur soutien pendant ma vie et leur tendres encouragements car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection, que dieu les garde et leur accorde une longue vie.

A mes grands-parents maternels

A l'esprit de mon grand-père paternel Mouhammed et à ma grand-mère Hadjadj Zohra que dieu la protège.

A mes chers frères : Mustapha, Yacine, Abdelmalek et Zakaria.

A tous mes amis et mes collègues et à toute la section de 2^{ème} année master agroalimentaire et contrôle de qualité

A tous ceux qui m'aime

Bentireche Fettoum

Table des matières

	Page :
<i>Liste des tableaux</i>	I
<i>Liste des figures</i>	II
<i>Liste des abréviations</i>	III
Introduction	1
Partie I - Synthèse bibliographique	3
Chapitre I - Aspects généraux	3
1 - Histoire et diversité génétique des agrumes.....	3
1.1 - Classification botanique des agrumes.....	4
2 - Généralités sur les oranges.....	4
2.1 - Différentes variétés	5
2.2 – Quelques variétés d’orange cultivée en Algérie.....	6
3 - Utilisation.....	6
4 - La valeur nutritive.....	7
4.1 – La vitamine C	8
5 - Données économiques	8
5.1 - Production mondiale des agrumes.....	8
5.2 - La production d’orange en Algérie	9
5.3 – Commercialisation des agrumes sur le marché algérien.....	10
5.3.1 – La norme de commercialisation en générale	11
➤ Exigences qualitatives minimales.....	11
➤ Exigences minimales en matière de maturité	11
6 - Techniques de conservation des fruits	11
6.1 - La conservation par séchage.....	11

6.1.1 - La déshydratation	11
6.1.2 - La lyophilisation	12
6.2 - La conservation au froid.....	12
6.3 - Les nouvelles techniques.....	13
6.3.1 - L'ionisation.....	13
6.3.2 - Les hautes pressions en agroalimentaire	13
Chapitre II - Confisage, déshydratation osmotique et séchage.....	14
1 - Confisage	14
1.1 - Conserve de fruits, fruits au sirop et confitures	14
➤ Rôle des sucres dans la conservation des fruits	14
1.2 - Choix et maîtrise des solutions osmotiques	14
2 - Déshydratation osmotique	14
2.1 - Transferts de matière dans les traitements osmotiques	15
2.2 - Cinétique la déshydratation osmotique	15
2.3 - Principaux facteurs influençant les performances de la DO	16
a – Propriétés des tissus biologiques.....	16
b - Concentration et composition de la solution osmotique.....	17
c - Température de la solution osmotique.....	17
d - Durée du traitement	18
e - Mode de mise en contact des phases, effet de l'agitation et du rapport solide/ solution.....	18
2.4 - Application de la déshydratation osmotique	18
2.4.1 - Prétraitement mécanique	19
2.4.2 - Prétraitement thermique	19
a- Blanchiment.....	19
b- Congélation.....	20

2.4.3 - Méthode combinées à la déshydratation osmotique.....	20
a- Imprégnation sous vide.....	20
b- Haute pression hydrostatique.....	20
c- Ultrasons.....	20
d- Irradiation.....	21
e- Traitement par champ électrique pulsé.....	21
2.5 - Stabilisation des produits déshydratés osmotiquement par traitements physiques.....	21
2.5.1 - Déshydrocongélation.....	21
3 - Séchage.....	22
3.1 - Objectifs du séchage.....	22
3.2 - Modes du séchage.....	23
3.2.1 - Séchage par conduction.....	23
3.2.2 - Séchage par convection.....	23
3.2.3 - Séchage par rayonnement.....	24
3.3 - Processus de transfert de chaleur et de matière.....	24
3.3.1 - Transfert externe.....	24
3.3.2 - Transfert interne.....	24
3.3.3 - Le transfert d'eau se réalise sous deux formes.....	24
3.3.4 - Phénomènes limitant.....	25
3.4 - La cinétique de séchage.....	25
3.4.1 - Description physique du séchage.....	25
3.4.1.1 - Les phases de séchage.....	26
3.5 - Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage.....	26
3.5.1 - Influence de la température de l'air.....	26
3.5.2 - Influence de l'humidité de l'air.....	26
3.5.3 - Influence de la vitesse d'air.....	27

Chapitre III - Qualité des fruits osmodéshydratés	28
1 - Qualité des produits végétaux traités par déshydratation osmotique	28
1.1 - L'effet de la DO sur les différents attributs de la qualité.....	28
1.1.1 - Saveur	28
1.1.2 - Couleur	28
1.1.3 - Texture.....	29
1.1.4 - Arôme et composition nutritionnelle	29
1.1.5 - Réhydratation.....	29
2 - Les indicateurs en microbiologie alimentaire	30
2.1 - Indicateurs de la qualité et des bonnes pratiques de fabrication des aliments	30
2.2 - Indicateurs de l'innocuité des aliments	30
2.3 - Signification des indicateurs	30
a- Coliformes totaux et coliformes fécaux.....	30
b- Flore aérobie mésophile totale.....	30
c- Levures et moisissures	31
3 - Maladies bactériennes qui touchent les agrumes	31
4 - Les ravageurs	32
Partie II - Matériel et méthodes	33
1 – Matériel biologique	33
1.1 – Orange	33
1.1.1 – Description des oranges	33
1.1.2 – Conditionnement.....	33
1.1.3 – Stockage	33
1.2 – Sucre	34
2 – Matériel technique.....	34
2.1 – Etuve.....	34

2.2 - Four a moufle	35
3 – Méthodes d’analyses biochimiques.....	35
3.1 – Détermination du taux d’acidité titrable.....	35
3.2– Détermination du taux d’humidité.....	35
3.3 – Détermination du taux des sucres réducteurs	36
3.4 – Détermination du taux de cendres	36
4 – Confisage , déshydratation osmotique et séchage	37
4.1 – Opérations préliminaires.....	37
4.1.1 – Lavage et découpe.....	37
4.1.2 – Blanchiment	37
4.2 – Déshydratation osmotique et confisage.....	38
5 – Séchage.....	38
6 – Cinétiques de déshydratation osmotique et du séchage	40
7 - Optimisation de la déshydratation osmotique et du séchage	40
7.1 - Planification de l’expérimentation	40
7.1.1 – Choix de facteurs de variation	40
7.2 – Expérimentation selon un plan complet	42
7.2.1 – Matrice d’expérience pour un plan complet	42
8 – Valorisation des résidus	44
9 – Méthodes d’analyses microbiologiques des oranges sèches	44
9.1 – Préparation des dilutions décimales	44
9.2 - Les coliformes totaux et les coliformes fécaux.....	44
9.3 – La flore aérobie mésophile totale	45
9.4 – Les levures et moisissures	45
Partie III - Résultats et discussions.....	47
1 – Résultats des analyses biochimiques.....	47

1.1– Taux d’acidité titrable.....	47
1.2– Taux d’humidité	48
1.3– Taux des sucres réducteurs	48
1.4 – Taux des cendres	49
2 – Déshydratation osmotique et séchage complémentaire au laboratoire	50
2.1 - Résultats de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire	53
2.1.1 – Résultats selon le plan d’expérience complet	53
2.2 – Evaluation de la déshydratation osmotique des rondelles d’oranges	55
2.2.1 – Effet de blanchiment sur la cinétique de déshydratations osmotique	56
2.3- Perte de poids après séchage complémentaire	57
2.3.1 - Effet de la température du séchage sur la perte de poids.....	58
3 - Combinaison de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire	59
4 - Optimisation par méthodologie de surface de réponse de l’effet des variables indépendants sur la perte en poids.....	60
4.1 – Diagramme de Pareto	60
5 – Résultats de la valorisation des écorces d’orange	61
6 – Résultats des analyses microbiologiques	62
6.1– Coliformes totaux et coliformes fécaux.....	63
6.2 – Flore aérobie mésophile totale.....	64
6.3 – Levures et moisissures.....	66
6.4 – Qualité microbiologique de poudre des écorces d’orange :	66
Conclusion.....	67
Références bibliographiques	68
Annexes.....	74

Liste des tableaux

Tableaux :	Page :
Tableau 1. Composition chimique du jus d'orange.	7
Tableau 2. Apport nutritionnel recommandé en vitamine C.....	8
Tableau 3. Principaux producteurs d'orange dans le monde	9
Tableau 4. Evolution des superficies et des productions d'agrumes	10
Tableau 5. Température d'effondrement de structure observées et composition en sucres de divers jus ou extraits alimentaires.....	12
Tableau 6. Domain d'étude pour chaque facteur de variation.....	42
Tableau 7. Matrices d'expériences du plan complet ($2^k = 2^6$) déterminée par le logiciel Minitab version 2017.....	43
Tableau 8. Réponse des différents facteurs de variation sur la déshydratation osmotique et séchage des rondelles d'oranges obtenus selon un plan d'expérience complet.....	54
Tableau 9. ANOVA.....	55
Tableau 10. Comparaison entre les valeurs moyennes de la FAMT d'orange séchés avec d'autres fruits secs.....	65

Liste des figures

Figures :	Page :
Figure 1. Diversité morphologique des fruits d'agrumes.....	4
Figure 2. Coupe transversale montrant diverses parties anatomiques d'une orange	5
Figure 3. Courbe de séchage $n_s = f(t)$	26
Figure 4. Courbe de séchage $dnsdt = f(t)$	26
Figure 5. Inversion de coloration des fruits.....	31
Figure 6. Des lésions et taches ponctuelles sur fruit et feuilles.....	32
Figure 7. Photographie montrent un échantillon d'orange	33
Figure 8. Représentation schématique de disposition des tranches d'orange osmodéshydratées dans l'étuve de séchage	34
Figure 9. Organigramme montrent les procédés de déshydratation osmotique et du séchage	39
Figure 10. Organigramme montrent les principale étapes des analyses microbiologique	46
Figure 11. L'acidité titrable des oranges fraîche et des oranges osmodéshydratées et séchées.	47
Figure 12. Taux d'humidité et taux de matière sèche des oranges fraîches (a) et des oranges osmodéshydratées puis séchées (b).....	48
Figure 13. Taux des sucres réducteurs des oranges fraîches et des oranges séchées.	49
Figure 14. Taux des cendres par rapport à la matière minérale et par rapport à la matière organique des oranges fraîche.....	49
Figure 15. Taux des cendres par rapport à la matière minérale et par rapport à la matière organique des oranges sèches.	50
Figure 16. Photographie montrent les différente étapes expérimentales de la déshydratation osmotique des rondelles d'oranges (a, b, c, d et e) et une rondelle d'orange osmodéshydratée (f).....	51
Figure 17. Photographie montrent les étapes de séchage complémentaire des rondelles d'oranges osmodéshydratées (a) et du produit fini (b et c).	52

Figure 18. Perte en poids des rondelles d'oranges par déshydratation osmotique.	56
Figure 19. Effet du blanchiment sur la perte en poids dans la déshydratation osmotique.	57
Figure 20. Perte en poids des rondelles d'orange osmodéshydratées après séchage complémentaire.....	58
Figure 21. Influence de la température du séchage sur la perte en poids.....	59
Figure 22. Résultats de la perte en poids obtenu par déshydratation osmotique et séchage complémentaire des rondelles d'orange.	60
Figure 23. Probabilité de l'effet de chaque facteur de variation sur la perte en poids donnée selon le diagramme de Pareto.	61
Figure 24. Valorisation de l'écorce d'orange.	62
Figure 25. Colonie de coliformes totaux isolées sur milieu sélectif VRBL à partir d'un échantillon d'orange osmodéshydratées et séché. La photographie a été prise après 48 h d'incubation à 30°C.....	63
Figure 26. Colonie de coliformes fécaux isolées sur milieu sélectif VRBL à partir d'un échantillon d'orange osmodéshydratées et séché. La photographie a été prise après 24 h d'incubation à 44 °C.....	64
Figure 27. Gélose nutritive en boîte de Pétri, montrent l'absence de la FAMT. La photographie a été prise après 72 h d'incubation à 30°C.	65
Figure 28. Gélose Sabouraud en boîte de Pétri montrent l'absence des levures et moisissures. La photographie a été prise après 5 jours d'incubation à 25 °C.....	66

Liste des abréviations

DO : Déshydratation osmotique

DII : déshydratation-imprégnation immersion

WL: water loss (perte d'eau)

SG : solids gain (gain en solide)

RMN : Résonance magnétique nucléaire

AW : activity water (activité d'eau)

Pa : pascalle

P0 : poids initiale

P1 : poids après déshydratation osmotique

P2 : poids après séchage

MSR : Méthodologie des surfaces de réponse

V.R.B.L : milieu gélosé bilié au cristal violet et au rouge neutre

FAMT : Flore aérobie mésophile totale

UFC : unités formant colonies

MS : Matière sèche

RP : Réduction de poids

Introduction

Les oranges, appelées également agrumes ou encore hespérides sont des fruits de très large consommation. Le mot « hespéride » désigne de façon générale les fruits de citrus.

L'orange (*Citrus sinensis*, orange douce) est une grosse baie cortiqueuse, multiloculaire et à peu près sphérique (Ernould, 2008). L'oranger doux étant le plus cultivé des *Citrus* où il existe de nombreuses variétés : l'orange de valence, l'orange navel et l'orange sanguine (Jaquemon et al., 2009).

Le verger algérien d'agrumes est estimé à 65 000 ha, dont plus de 50% sont localisés dans la Mitidja. Les wilayas d'Annaba, Skikda, Oran, Mascara, Mostaganem, Chlef, Blida, Alger et Tipasa sont les principales zones productrices (Cherif, 2014).

La surproduction sur des périodes très courtes conduit à de fortes pertes après récoltes. Pour faire face à cette surproduction saisonnière, plusieurs méthodes artisanales ou industrielles ont été développées qui permettent la conservation des récoltes : transformation en confiture, séchage, congélation...etc. (Nono et al., 2001). Il devient évident que la conservation des denrées alimentaires n'est pas moins importante que leur production (Touzi et Merziana-Blama, 2008).

Le confisage est une des techniques traditionnelles dont les développements récents ont donné naissance aux procédés dits de «déshydratation osmotique » (DO) (Bchir et al., 2011). La déshydratation osmotique consiste à immerger les produits végétaux ou animaux, parés et découpés dans des solutions concentrées contenant un ou divers solutés (sel, sucre). Ceci conduit à une déshydratation rapide du produit (Touzi et Merziana-Blama, 2008).

Dans ces types de technologies, on utilise une combinaison des différents procédés pour obtenir des modifications contrôlées des propriétés physiques, et éventuellement chimiques (Maltini, 1997).

Les produits issus du procédé de déshydratation osmotique ne sont pas encore microbiologiquement stabilisés et l'activité de l'eau peut y être élevée. Plusieurs traitements ont été proposés pour parfaire le processus : séchage, congélation, pasteurisation, friture..., etc (Bchir et al., 2011).

Le séchage provoque un abaissement de l'activité de l'eau du produit, c'est-à-dire que l'eau reste peu disponible pour les microorganismes et pour les réactions chimiques. (Bchir et al., 2011).

Ainsi, cette technique permet d'obtenir des produits d'excellente qualité organoleptique (couleur, texture, saveur, aptitude à la réhydratation) (Touzi et Merziana-Blama, 2008).

A la lumière de ces données, notre étude vise l'étude de la conservation d'orange par combinaison de déshydratation osmotique et du séchage. Elle porte également sur la détermination expérimentale de l'effet de six facteurs de variation sur la déshydratation osmotique et le séchage de ce fruit, et de leur optimisation en utilisant la méthodologie de surface de réponse.

L'étude de la qualité microbiologique des oranges séchées fait également partie de nos objectifs.

Partie I - Synthèse bibliographique

Chapitre I - Aspects généraux

1 - Histoire et diversité génétique des agrumes

Les agrumes, appelés aussi hespéridés, sont des arbres produisant des fruits caractérisés par une surface de peau (zeste) riche en glandes à huiles essentielles, et une pulpe organisée en quartiers comprenant des pépins et de nombreux poils succulents gorgés de jus. La diversité des fruits consommés (oranges, mandarines, clémentines, pomelos, citrons, limes, pamplemousses, pour ne citer que les plus courants) reflète d'une certaine manière la richesse et la variabilité de ces arbres, originaires d'Asie et aujourd'hui cultivés sur tous les continents entre les 40^es parallèles nord et sud (Jacquemond *et al.*, 2013).

La culture des agrumes s'est intensifiée à l'échelle mondiale au cours des XIX^e et XX^e siècles, et couvre aujourd'hui plusieurs millions d'hectares. L'agrumiculture des pays du Bassin méditerranéen est diversifiée tant au niveau des variétés cultivées que dans leur commercialisation (fruit frais, jus, cosmétiques, plants d'ornement). Les agrumes sont originaires d'Asie subtropicale et plus particulièrement d'une zone allant du nord-est de l'Inde jusqu'au nord de l'Indonésie, en passant par le Myanmar (Birmanie) et le sud de la Chine (Ernould, 2008).

Beaucoup de travaux ont été réalisés au cours du XX^e siècle afin de classer les différentes variétés et espèces (figure 1) et de proposer des hypothèses quant à leur évolution. Nous devons reconnaître qu'il n'y a pas de véritable consensus en la matière, mais il est quand même communément admis que les agrumes se répartissent en trois genres botaniques, sexuellement comestibles entre eux : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*. Les *Poncirus* ne produisant pas de fruits comestibles, mais ils ont été utilisés comme porte-greffes car ils confèrent une certaine résistance ou tolérances intéressantes. Les *Fortunella* produisant des petits fruits qui se consomment avec la peau : les kumquats. Enfin le genre *Citrus* regroupe la plupart des espèces d'agrumes cultivées et il renferme, suivant les taxonomistes, entre seize (Swingle et Reece, 1967) et cent cinquante-six espèces (Jacquemond *et al.*, 2013).

La complexité relative de ces classifications résulte, entre autre, d'une large diversité morphologique et de la compatibilité sexuelle des espèces du genre *Citrus* (Jacquemond *et al.*, 2013).



Figure 1. Diversité morphologique des fruits d'agrumes (Jacquemond *et al.*, 2013).

1.1 - Classification botanique des agrumes

D'après Swingle et Reece (1967), la position taxonomique des agrumes est la suivante :

Classe : Dicotyledoneae

Sous classe : Archichlonideae

Ordre : Geraniales

Famille : Rutaceae

Sous famille : Aurantioideae

Tribu : Citreae

Sous tribu : Citrinae

Genre : *Citrus*.

2 - Généralités sur les oranges

L'orange est une grosse baie cortiqueuse, multiloculaire et à peu près sphérique. L'écorce du fruit (péricarpe) comprend dans sa partie la plus externe un épicarpe («zeste»). Celui-ci, vert avant la maturité puis jaunâtre jusqu'à orangé-rouge, selon les variétés, à surface chagrinée, est abondamment pourvu de poches sécrétrice schizolysigènes remplies d'huiles essentielles visibles à l'œil nu ainsi que d'oxalate de calcium en prime (Teuscher *et al.*, 2005).

La partie plus interne du péricarpe comprend un mésocarpe composé d'une couche externe fine formant avec l'épicarpe le «flavébo», et d'une couche interne cellulosique de couleur blanche «albédo». Ainsi le mésocarpe entoure les loges du fruit gorgé de poils succulents représentant les cellules de l'endocarpe ou épiderme interne (Teuscher *et al.*, 2005).

Cela correspond à la partie comestible du fruit. Chaque carpelle représente un «quartier», en nombre variable selon les agrumes, séparés les uns des autres par un cloison pectocellulosique, reformant éventuellement des graines ou «pépins» et gorgé d'un suc acidulé et sucré, de saveur variable selon les *Citrus*. (Teuscher *et al.*, 2005).

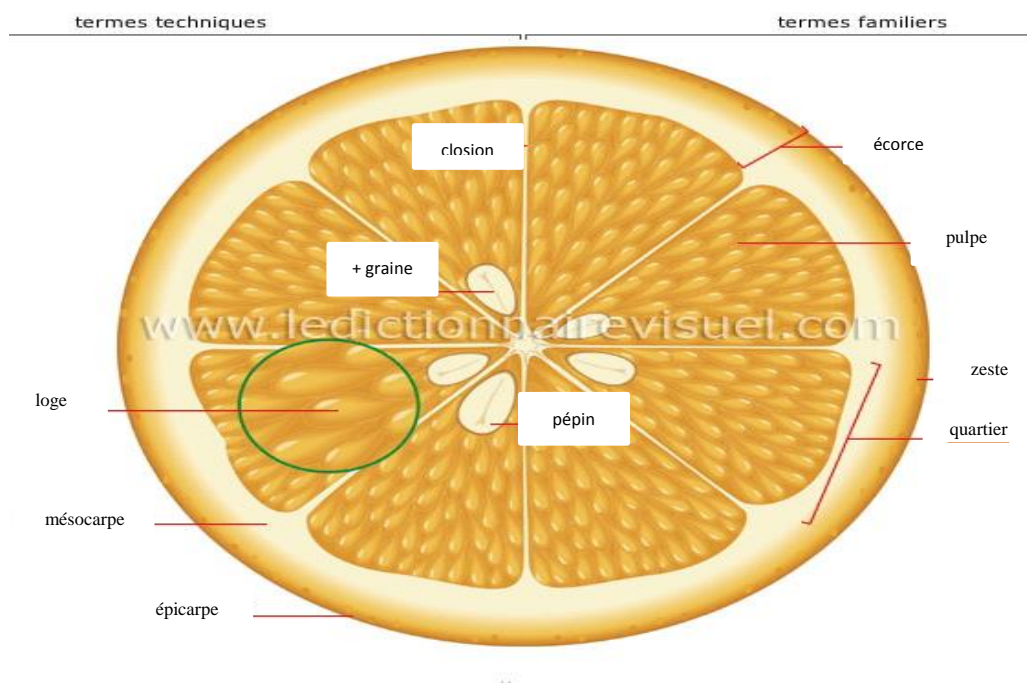


Figure 2. Coupe transversale montrant diverses parties anatomiques d'une orange (<http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/regne-vegetal/fruits/fruit-charnu-agrume.php>).

2.1 - Différentes variétés

Les oranges sont classées en deux groupes comprenant les oranges amères et les oranges douces. Il existe plusieurs variétés à l'intérieur de ces groupes.

L'orange amère (*Citrus aurantium*) serait l'ancêtre des oranges douces. On le nomme aussi «bigarade» ou «orange de Séville». Le bigaradier est un arbrisseau épineux aux feuilles persistantes, ovales et luisantes. Ses fleurs blanches ou roses sont très odorantes. L'orange est une épaisse écorce rugueuse, teintée de vert ou de jaune. Elle est plus petite que l'orange douce. Sa chair peu juteuse et très amère.

L'orange douce (*Citrus sinensis*) est l'orange juteuse, sucrée et acidulée tant appréciée, originaire de Chine ou de d'Indochine. Il semble que les arabes soient ceux qui l'introduisirent en Europe durant le xv^e siècle. Il existe de très nombreuses variétés d'oranges douces.

- **L'orange de valence** porte le nom d'une ville d'Espagne où on la cultivait intensivement. Elle fut introduite aux États-Unis vers 1870. Elle représente environ 50% de la production américaine. Sa chair très juteuse et acidulée contient peu ou pas de pépins. L'orange de Valence est l'orange à jus par excellence.
- **L'orange navel** serait originaire du Brésil. Son écorce orangée et épaisse, rugueuse et facile à enlever. Sa chair croquante et sucrée est particulièrement savoureuse et presque toujours exempte de pépins.
- **L'orange sanguine** est un hybride qui est apparu en Europe vers 1850. Sa chair est rouge. Lorsqu'elle n'est que parsemée de filets pigmentés de rouge, on le nomme demi-sanguine. Ces oranges sont surtout cultivées en Espagne, en Italie et en Afrique du Nord. Certaines variétés ont une forme légèrement allongée. La pulpe est sucrée, juteuse et très parfumée. L'orange sanguine est habituellement dépourvue de pépins (Jacquemond *et al.*, 2013).

2.2 – Quelques variétés d'orange cultivées en Algérie

- W.Navel
- W. bernard
- Thomson navel
- Hamlin
- Portugaise
- Maltaise
- Double fine
- Shamouti (jaffa)
- Cadénéra
- Sanguine
- Sanguinilli
- Salustiana
- Valancia Late (Mendil *et al.*, 2011).

3 - Utilisation

Le fruit est alimentaire. Le zeste du fruit est inscrit à la pharmacopée française et fournit l'essence d'orange douce officinale. L'oranger douce est l'agrume le plus utilisé dans l'alimentation et la diététique en raison de sa saveur agréable et de sa richesse en vitamine C (Ernould, 2008).

L'utilisation de l'orange est très variée. On la consomme nature, on la cuisine, on la transforme en boisson variée, on la cuit en marmelade, on confie son zeste et sa chair, on en tire une huile essentielle et une essence utilisées en pâtisserie, en confiserie, en cosmétologie, en pharmacie et même en chimie. On distille ses fleurs pour fabriquer l'eau de fleur d'orange

La bigarade est surtout mise en conserve ou cuite (marmelade, confiture, gelée, sirop, sauce). Les feuilles, utilisées en infusion, auraient des effets digestifs et antispasmodiques. Des fleurs, on extrait l'essence de Néroli Bigarade et l'eau de fleur d'oranger du zeste, on tire aussi de l'essence, dite parfois de bigaradier ou d'orange amère. Le Cointreau, le Curaçao et le Grand Mariner doivent leur saveur d'orange au zeste de la bigarade (Jacquemond *et al.*, 2013).

4 - La valeur nutritive

L'orange est reconnue pour sa teneur très élevée en vitamine C ; elle est une bonne source de potassium. L'orange est diurétique, antiscorbutique, tonique, digestive et légèrement laxative. Ses fleurs sont antispasmodiques et l'eau contenue dans celles-ci facilitent le sommeil (Jacquemond *et al.*, 2013). La valeur nutritive des oranges est synthétisée dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique du jus d'orange (Farnworth *et al.*, 2001).

Constituants	Quantité pour 100g de jus
Eau (g)	87-92
Glucides (g)	10,6
Protéine (g)	0,91
Lipides (g)	0,2
Flavonoïdes (mg)	99
Caroténoïdes (mg)	1,85
Acide ascorbique (mg)	55,5
Acide malique (mg)	951,5
Acide citrique (mg)	160-164
Vitamine B9 (µg)	25
Béta-carotène	0,13
Minéraux (mg)	
Potassium	209-185,5
Phosphore	18,2-20,65
Calcium	11,85 - 40
Magnésium	13,7 – 23,5
Sodium	2,29
Fer	0,48

4.1 – La vitamine C

La vitamine C ou acide ascorbique est une molécule hydrosoluble (Retsky *et al.*, 1999). Présente dans la plupart des fruits et légumes. Elle ne peut être synthétisée par l'homme et il doit donc la trouver dans l'alimentation. Elle est très dispersée dans tout l'organisme. Elle est absorbée principalement à travers l'intestin grêle (Sarubin et Thomson, 2007).

➤ Apport nutritionnel recommandé en vitamine C

Les besoins journaliers en vitamine C pour un être humain sont de l'ordre de 75mg - 100mg et sont augmentés dans les périodes de surmenage, de fatigue, de maladies infectieuses (Tableau2).

Tableau 2. Apport nutritionnel recommandé en vitamine C (Sarubin et Thomson., 2007).

Tranche d'âge	Apports conseillés (mg/jour)
Nourrissons	50
Enfants 1- 3 ans	60
Enfants4- 6 ans	75
Enfants7 - 9 ans	90
Enfants 10 - 12 ans	100
Adolescents 13 -19 et adultes 20 - 60 ans	110
Femmes enceintes	120
Femmes allaitantes	130
Personnes âgées	120

5 - Données économiques

5.1 - Production mondiale des agrumes

Les principaux producteurs mondiaux d'agrumes sont mentionnés dans le tableau 3.

Tableau 3. Principaux producteurs d'orange dans le monde (Source FAO States, 2015).

	Pays	Production (Million de tonnes)	Pourcentage de production mondiale (%)
1	Brésil	17,550	24,5
2	USA	7,589	10,6
3	Chine	7,305	10,2
4	Inde	6,426	9
5	Mexique	4,410	6,2
6	Espagne	3,394	4,7
7	Egypte	2,886	4
8	Turquie	1,781	2,5
9	Italie	1,708	2,4
10	Afrique du Sud	1,672	2,3
11	Pakistan	1,505	2,1
12	Indonésie	1,411	2
13	Iran	1,192	1,7
14	Argentine	0,900	1,3
15	Algérie	0,891	1,2
Total		71,580	100

5.2 - La production d'orange en Algérie

Le verger algérien d'agrumes (surtout constitué d'oranges, d'un peu de clémentines et de citrons et de très peu de mandarines et de pomelos) est estimé à 65 000 ha, dont plus de 50% sont localisés dans la Mitidja. Les wilayas d'Annaba, Skikda, Oran, Mascara, Mostaganem, Chlef, Blida, Alger et Tipasa sont les principales zones productrices (au total, 43% des agrumes sont cultivés dans la plaine de la Mitidja, 27% dans la région du Chélif et 7% à Mascara). Le verger est localisé sur des terres riches et irriguées (Cherif, 2014).

Tableau 4. Evolution des superficies et des productions d'agrumes (Cherif, 2014).

Année	Superficie en hectares			Production en tonnes		
	2000	2005	2012	2000	2005	2012
Agrumes	46010	62126	65353	470000	627 406	1 087 832
Oranges	nd	45492	47732	nd	454 900	802 517
Clémentines	nd	10096	10727	nd	109 892	170 780
Mandarines	nd	1924	2321	nd	33 422	36 730
Citrons	nd	4520	4486	nd	47 305	76 082

Selon l'ITAFV (institut des techniques de l'arboriculture fruitière et de la vigne) et l'INPV (Institut national de protection des végétaux), 55 000 ha sont en production et 9 000 ha sont des jeunes plantations qui entreront en production en 2014. Il existe un programme d'extension du verger d'agrumes de 12 000 ha. Actuellement, 20% du verger d'oranges a plus de 45 ans et seulement 25% a moins de 10 ans. Le verger de clémentiniers et de mandariniers est encore plus vieux puisque 40% a entre 30 et 50 ans et 50% plus de 50 ans (Cherif, 2014).

5.3 – Commercialisation des agrumes sur le marché algérien

L'offre d'agrumes est modeste, d'où les prix élevés des agrumes sur le marché national. De plus, la qualité des agrumes algériens est moyenne en raison du manque de technicité des producteurs et du système de vente sur pied qui n'incite pas à produire des fruits de qualité normalisée. Pour ces deux raisons, la filière algérienne exporte très peu d'agrumes.

L'offre d'oranges étant limitée, la transformation est faible. De ce fait, les producteurs algériens de boissons, qui n'arrivent pas à trouver des matières premières locales, se dirigent souvent vers des concentrés importés (Cherif, 2014).

5.3.1 – La norme de commercialisation en générale

➤ Exigences qualitatives minimales

Les fruits et légumes doivent être :

- Sains, sont exclus les produits atteints de pourriture ou d'altérations qui les rendraient impropres à la consommation ;
- Propres, pratiquement exempts de corps étrangers visibles ;
- Pratiquement exempts de parasites ;
- Pratiquement exempts d'altérations de la pulpe dues à des parasites ;
- Exempts d'humidité extérieure anormale ;
- Exempts de toute odeur ou saveur étrangères ;
- Les produits doivent être dans un état leur permettant :
- de supporter le transport et la manutention ;
- d'arriver dans un état satisfaisant au lieu de destination (Cherif, 2014).

➤ Exigences minimales en matière de maturité

Les produits doivent être suffisamment développés, mais pas excessivement, et les fruits doivent présenter une maturité suffisante et ne doivent pas être trop mûrs.

Le développement et l'état de maturité des produits doivent permettre la poursuite du processus de maturation jusqu'à ce qu'ils atteignent un degré de maturité suffisant (Cherif, 2014).

6 - Techniques de conservation des fruits

L'homme a toujours cherché des moyens de conserver les denrées alimentaires pour assurer sa survie en période de disette. Aux premières et simples méthodes de conservation (le séchage), la conservation par le sucre (les confitures). Au siècle dernier sont apparue la conservation par la chaleur et plus récemment par le froid avec le développement des installations frigorifiques. Ces différents procédés ont chacun leurs avantages en termes de praticité et de qualité nutritionnelle (Biton, 2012).

6.1 - La conservation par séchage

6.1.1 - La déshydratation

Dès la plus haute antiquité, des grains, des fruits, des viandes, des poissons ont été séchés au soleil. Plus tard le séchage a été effectué dans des fours. Aujourd'hui, les denrées

sont déshydratées par différentes techniques : séchoirs à air chaud, rampe infrarouge, cylindres chauffants, fluidisation (passage de gaz chauds à travers une grille plaque). Le but de la déshydratation est d'éliminer suffisamment d'eau du produit pour empêcher le développement de microorganismes et bloquer l'activité enzymatique (Biton, 2012).

6.1.2 - La lyophilisation

C'est une technique de conservation qui consiste en une congélation, une mise sous vide, puis une sublimation de la glace et une désorption de l'eau intracellulaire. Cette technique permet d'obtenir un produit sec en préservant la forme, la dimension, la couleur et surtout la qualité organoleptique de l'aliment frais. Les nutriments, même les plus fragiles, sont bien conservés (Biton, 2012).

La lyophilisation a été fréquemment appliquée aux jus de fruits et leurs concentrés puisqu'elle permet la réduction des dégradations thermiques et améliore la rétention d'arômes. Pour ces raisons, la fraction constituée par les sucres devient le facteur déterminant du comportement au séchage. Alors que les jus d'orange, riches en saccharose peuvent être lyophilisés avec une température de sublimation de -38 à -40 °C (Maltini et Torreggiani, 1997).

Tableau 5. Température d'effondrement de structure observées et composition en sucres de divers jus ou extraits alimentaires (Maltini et Torreggiani, 1997).

	Température d'effondrement de structure en °C (approximative)	Sucres (% relatif)		
		Fructose	Glucose	Saccharose
Jus d'orange	- 32	21,2	23,9	54,8

6.2 - La conservation au froid

La méthode de conservation par le froid est devenue importante depuis l'invention et l'exploitation de la technique du froid (froid artificiel). On peut utiliser le froid comme moyen de conservation définitive mais aussi pour conservation temporaire. L'effet de conservation par le froid est causé sur tout par le freinage du métabolisme des microorganismes (Boeckel et al., 2003).

➤ **La réfrigération**

La réfrigération est une technique de conservation qui nécessite une excellente qualité de matière première car elle ne permet qu'un ralentissement de la vitesse de détérioration. Il importe de réfrigérer des aliments en bon états et frais (Boeckel *et al.*, 2003).

6.3 - Les nouvelles techniques

6.3.1 - L'ionisation

Ce procédé physique repose sur l'exposition des aliments à l'action directe de certains rayonnements électromagnétiques (rayons X) ou électroniques (rayonnement β) permettant de les conserver par destruction des insectes et microorganismes parasites, en préservant au mieux leurs qualités organoleptiques, sanitaires et nutritionnelles. Ce procédé de conservation doit être associé souvent à la réfrigération ou la surgélation (Biton, 2012).

Actuellement, l'ionisation est surtout utilisée pour traiter les épices, les herbes aromatiques, et pour prolonger la durée de vie de certains fruits (Biton, 2012).

6.3.2 - Les hautes pressions en agroalimentaire

Le produit à traiter, conditionné dans un emballage hermétique souple, est placé dans une enceinte métallique (dont l'intérieur est en acier inoxydable) remplie d'un liquide, en général de l'eau, qui est le fluide transmetteur de pression. La pression, générée par une pompe hydraulique qui envoie le fluide transmetteur de pression à l'intérieur de l'enceinte, se maintient sans apport énergétique et s'exerce uniformément à travers tout le produit. Le volume de ce dernier diminue ou pression d'environ 5 à 15 %, mais cette réduction de volume est complètement réversible à la dépression (Kahn et Tonello, 1999).

Chapitre II - Confisage, déshydratation osmotique et séchage

1 - Confisage

Le mot confiture est un terme générique utilisé pour désigner des aliments bouillis et conservés dans du miel, du sucre, mais aussi du sel ou du vinaigre et concerne aussi bien les fruits, les légumes, que les herbes et les fleurs (Michel, 2001).

Le confisage est une des techniques traditionnelles dont les développements récents ont donné naissance aux procédés dits de « déshydratation osmotique » (DO) ou de « déshydratation-imprégnation par immersion » (DII) (Bchir *et al.*, 2011).

1.1 - Conserves de fruits, fruits au sirop et confitures

➤ Rôle des sucres dans la conservation des fruits

Les sucres jouent un rôle important dans la conservation des produits à base de fruits. Déjà dans le fruit mur, les deux tiers de la matière sèche soluble sont des sucres où dans la plupart des cas, le saccharose est prépondérant. L'étude des sucres dans une matrice de fruits soumis à des traitements technologiques de conservation comme le séchage, la congélation ou la cuisson comporte un volet théorique relatif à l'hydratation, la transition vitreuse et l'activité de l'eau et un volet pratique de formulation et d'analyse sensorielle. Le saccharose maintient la saveur sucrée et la renforce dans les fruits conservés tout au long de leur conservation (Mathlouthi, 1996).

1.2 - Choix et maîtrise des solutions osmotiques

Le choix de la solution osmotique est subordonné à un certain nombre de facteurs plus ou moins importants selon le but de l'opération, parmi lesquels le goût, le pouvoir de dépression de l'activité de l'eau, la viscosité, le rapport entre perte d'eau et gain en solutés (WL/SG ratio), le coût... etc. (Forni *et al.*, 1997).

Parmi les agents osmotiques les plus utilisés, on trouve le saccharose, mélanges saccharose–sucre inverti, sirops à haute teneur en fructose, sirop de glucose, maltose, maltitol/Sorbitol (Maltini et Torrègriani, 1997).

2 - Déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique est une opération simple utilisée dans de nombreuses méthodes de conservation traditionnelles (salage de viande et poisson, fruits confits), actuellement, le traitement osmotique connaît un regain dans de nombreux industries, pas

uniquement comme méthode de conservation, mais comme procédé pour obtenir des produits de meilleure qualité (Belhachat *et al.*, 2015).

La déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits, est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion des fruits, entiers ou en morceaux, dans une solution hypertonique de sucres divers. En principe, l'osmose décrit les mouvements de l'eau et des solutés qui se produisent quand deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable, en raison de la pression osmotique relative de chaque composant. Dans ces conditions, une partie de l'eau sort du fruit, une fraction des matières sèches solubles du sirop entre dans le fruit et une partie des matières sèches du fruit (acides organiques et sels minéraux en particulier) se déplace vers la solution concentrée (Maltini et Torreggiani, 1997).

2.1 - Transferts de matière dans les traitements osmotiques

Dans un processus de déshydratation par osmose, il y a un certain nombre de variables, primaires ou dérivées, qui changent simultanément, ces variables changent avec des intensités différentes en fonction du temps (Maltini et Torreggiani, 1997).

Parmi les nombreux facteurs influençant le procédé de déshydratation osmotique (DO) certains méritent d'être soulignés :

- a) conditions opératoires (température, degré d'agitation, rapport fruit/sirop)
- b) type et concentration du sirop
- c) espèce du fruit et variété, comme conséquences de la structure spécifique des tissus, du volume de gaz, de la présence de peau ou d'enveloppes
- d) prétraitements (blanchiment, décirage)
- e) forme et géométrie des morceaux
- f) vide plus ou moins poussé (Raoult-Wack, 1994 ; Torreggiani, 1995).

2.2 - Cinétique 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). Il semble probable que les membranes cellulaires soient victimes d'une perte de leur

caractère semi-perméable, permettant progressivement aux solutés de pénétrer dans la cellule (Raoult-Wack, 1994). La durée de la première phase est très variable suivant le produit traité, d'une demi-heure à deux heures dans les conditions les plus courantes (morceaux de petites travers les parois et membranes cellulaires du produit).

À l'intérieur de ces derniers, les espaces intercellulaires servent de lieux d'accumulation ou de passage pour les substances échangées (Raoult-Wack, 1994)

Selon Garcia-Segovia *et al.* (2010), Deux approches sont employées afin d'étudier la cinétique de la déshydratation osmotique :

– L'approche classique qui se base sur la détermination de deux paramètres. En effet, des travaux antérieurs ont prouvé que deux paramètres peuvent quantitativement représenter le processus osmotique. Ces paramètres sont la perte d'eau (« Water loss », WL), indiquant l'eau qui sort du matériel cellulaire vers la solution et le gain en solides (« Solids Gain », SG). Ces paramètres sont habituellement déterminés par la mesure des solides totaux ou par analyse chimique.

– L'approche fine qui se base sur l'étude des paramètres déterminés à partir de la calorimétrie différentielle à balayage et la résonance magnétique nucléaire (RMN). Ces techniques permettent d'approcher les liaisons de l'eau dans le produit

2.3 - Principaux facteurs influençant les performances de la DO

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

- les propriétés intrinsèques des tissus traités : la structure poreuse, la taille, la forme, la superficie du produit,
- les conditions opératoires de traitement : temps, température de traitement, pression, agitation de la solution, composition de la solution,
- le mode de mise en contact des phases entre aliment solide et solution liquide

a – Propriétés des tissus biologiques

Tout ce qui est préjudiciable à l'intégrité des tissus, tel qu'une maturation trop avancée, la mise en œuvre de prétraitements thermiques, chimiques ou enzymatiques, peut entraver la perte en eau tout en favorisant le gain en soluté. La grande variabilité observée dans le comportement des végétaux au cours d'un traitement de DO est généralement attribuée aux

différentes propriétés tissulaires. Ces dernières incluent la compacité des tissus, l'importance relative des espaces intra- et extracellulaires, la porosité et la teneur initiale en matières sèches. En effet, la porosité de l'aliment affecte sa texture et influence sa fermeté (Lenart, 1996).

La majorité des produits végétaux sont découpés en cube ou en sphère avant le traitement de déshydratation osmotique, ce qui facilite le transfert de matière grâce à un contact direct entre les cellules et la solution (Kowalska *et al.*, 2008). Les traitements osmotiques impliquent ainsi un stress cellulaire par suite de la réduction de l'eau disponible dans les cellules, ce qui modifie leur physiologie (Bchir *et al.*, 2011).

b - Concentration et composition de la solution osmotique

La différence de concentration en soluté entre le produit à traiter et la solution est le moteur du transfert de masse en DO. La perte en eau est plus importante lorsque cet écart est initialement élevé (Raoult-Wack, 1994). En effet, Vial *et al.* (1990) ont montré que toute augmentation de la concentration en sucre se traduit principalement par une augmentation des vitesses de transfert d'eau, les transferts de soluté n'étant que peu affectés. Pour la déshydratation des fruits, des solutions de sucre concentrées de 50 à 70 °Brix ont été employées (Corrêa *et al.*, 2010). Néanmoins, il existe une concentration seuil (entre 50 et 65 °Brix) au-delà de laquelle l'imprégnation décroît (Raoult-Wack, 1994 ; Lenart, 1996).

La composition des solutions (type, masse moléculaire du soluté) mises en œuvre en DO est un facteur clé du procédé (Corrêa *et al.*, 2010). Le choix du soluté 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 dépresseur de l'activité en eau. Les solutions à base de sucres (saccharose) sont les plus couramment utilisées dans la DO des fruits (Lenart, 1996).

c - Température de la solution osmotique

Le rôle de la température en DO a été étudié sur un large éventail de températures (5-85 °C), le domaine de travail devant être adapté pour chaque famille de produit (Floury *et al.*, 2008).

L'extraction de l'eau est alors possible seulement par des processus osmotiques. Les transferts d'eau sont favorisés par des températures élevées (Floury *et al.*, 2008). Aussi, le sucrage et confisage des fruits sont habituellement réalisés à 60 °C. Cependant, une température trop élevée n'est pas souhaitable car la température est l'un des facteurs responsables de la rupture des tissus végétaux et des membranes. Pour chaque fruit et légume existe en outre une température seuil, au-delà de laquelle la qualité du produit est affectée et les transferts de soluté prennent le pas sur le transfert d'eau (Floury *et al.*, 2008).

d - 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 (Bchir *et al.*, 2011).

e - Mode de mise en contact des phases, effet de l'agitation et du rapport solide/solution

Dans le cas de tranches de fruits, les coefficients de transfert d'eau libre et de saccharose de la solution de déshydratation augmentent, non seulement avec la concentration en saccharose, mais aussi avec l'agitation (Vial *et al.*, 1990). En effet, Mavroudis *et al.* (2004) ont mesuré les effets de l'agitation sur le transfert de masse en termes de nombre de Reynolds et ont montré qu'une forte agitation augmente la perte en eau. Au cours du temps, la perte en eau s'avère moindre lorsque la DO est réalisée en écoulement laminaire plutôt que turbulent. Le gain en solide n'est que peu affectée par le niveau d'agitation, ce qui s'explique par l'existence d'une couche limite diluée autour de l'aliment. 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 (Bchir *et al.*, 2011).

2.4 - Application de la déshydratation osmotique

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 (Bchir *et al.*, 2011).

Il est donc nécessaire de bien identifier les prétraitements pour perméabiliser la membrane cellulaire et augmenter le taux de transfert sans trop affecter la qualité de l'aliment (Allali, 2008).

2.4.1 - Prétraitement mécanique

Le prétraitement mécanique peut être : le pelage, l'abrasion de la surface et la découpe en formes variées, telles que les moitiés, les cylindres et les cubes. L'épaisseur de découpage agit considérablement sur le temps de séchage de fruit dans un tunnel de séchage, les tranches fines résultent d'un temps de séchage réduit. L'effet de la réduction de la taille (tranchage) sur la cinétique de la déshydratation osmotique a été étudié par Sirousazar *et al.* (2009), en comparant les courbes de déshydratation des fruits sous forme de sphères et de cylindres complets avec celles des pièces tranchées. Ils ont pu montrer que la découpe des fruits en rondelles plutôt fines accélère considérablement le taux de la déshydratation (Lahbari, 2015).

2.4.2 - Prétraitement thermique

a- Blanchiment

Le blanchiment est un traitement thermique, réalisé par immersion du produit dans un bain d'eau chaude, par passage dans une atmosphère de vapeur ou par chauffage ohmique. Sa durée est de quelques minutes, dans une gamme de 85 °C à 100 °C. Il permet de détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant leur traitement ultérieur (dans notre cas, c'est la déshydratation) (Bchir *et al.*, 2011).

Le blanchiment, c'est-à-dire l'exposition des fruits à des températures élevées pendant quelques minutes, est une opération de contrôle décisive de leur transformation en produits stables. Dans les méthodes traditionnelles de conservation, ce traitement par la chaleur a pour principale fonction de détruire les enzymes susceptibles d'abîmer les légumes et les fruits (Bchir *et al.*, 2011).

Dans ces techniques de transformation minimums, le blanchiment a un autre rôle important: réduire la charge microbienne initiale en inactivant les microorganismes sensibles à la chaleur. Les températures utilisées sont létales pour les levures ainsi que pour la plupart des moisissures et des microorganismes aérobies. On a trouvé que le blanchiment réduisait en fait la charge microbienne de 60% à 99% (Alzamora *et al.*, 1995).

b- Congélation

Cette préservation de la qualité s'explique tant par l'abaissement de la température qui ralentit les réactions biochimiques et inhibe les activités microbiennes que par la réduction de l'activité de l'eau du substrat (Floury *et al.*, 2008).

2.4.3 - Méthode combinées à la déshydratation osmotique

a- Imprégnation sous vide

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 de 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 (Corrêa *et al.*, 2010).

La DO sous vide permettrait d'obtenir des produits de qualité organoleptique et physicochimique supérieure à celle des produits traités par DO à pression atmosphérique. De plus, cette alternative réduit les coûts énergétiques globaux (Fito, 1994).

b- Haute pression hydrostatique

Les traitements à haute pression permettent une stabilisation microbiologique significative des aliments, tout en préservant les qualités organoleptiques et nutritionnelles de manière plus importante que les traitements thermiques.

À haute pression, les membranes cellulaires sont réversiblement perméabilisées. Ce phénomène est imputable aux transitions de phase des bicouches lipidiques de la membrane cellulaire. Cet effet est recherché pour l'élaboration rapide des fruits sucrés tout en préservant l'aspect, les qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit frais.

Cependant, la technologie haute pression reste coûteuse, du fait des contraintes de fabrication des enceintes et par leur capacité limitée (Bchir *et al.*, 2011).

c- Ultrasons

L'application d'ultrasons produit un phénomène de cavitation consistant en la formation dans le liquide de bulles de gaz qui engendrent, en éclatant, des fluctuations de pression. Cet effet facilite la diffusion pendant le processus osmotique et accélère le dégazage

du produit, tout en préservant la saveur, la couleur et les composants nutritifs les plus sensibles à la chaleur (Simal *et al.*, 2001).

d- Irradiation

La structure intérieure du tissu des produits agricoles peut être lysée par γ -irradiation. Il en résulte une plus grande perméabilité des cellules, d'où un transfert de masse amélioré pendant un séchage à l'air (Wang *et al.*, 2000).

e- Traitement par champ électrique pulsé

Le traitement par champ électrique pulsé, pour une intensité de champ électrique comprise entre 0,5 et 15 kV.cm⁻¹, entraîne une augmentation de la perméabilité des membranes végétales. Son action instantanée, sa courte durée d'application (moins d'une seconde) et la possibilité de traiter des aliments solides à basse température, rendent le champ électrique pulsé plus prometteur qu'un traitement thermique dans une perspective de diffusion ou d'extraction d'eau (séchage) ou de métabolites (Ade-Omowaye *et al.*, 2003).

2.5 - Stabilisation des produits déshydratés osmotiquement par traitements physiques

Les produits issus du procédé de déshydratation osmotique sont classés parmi les produits à humidité intermédiaire, à taux d'humidité. Plusieurs traitements ont été proposés pour parfaire le processus : séchage, congélation, pasteurisation, friture, etc (Bchir *et al.*, 2011).

2.5.1 - Déshydrocongélation

Ce traitement consiste en une déshydratation partielle, généralement à l'air chaud (mais l'osmose peut convenir), suivie par la stabilisation du produit par congélation (Maltini *et Torreggiani*, 1997).

La possibilité de prétraiter les produits par une déshydratation partielle (voire par imprégnation) avant congélation semble prometteuse (Talens *et al.*, 2003). Cette technique, permet la réduction de la quantité d'eau dans le produit afin de diminuer la quantité de cristaux formés, le temps de congélation et de décongélation.

Il en résulte une meilleure conservation des propriétés du fruit. La déshydratation osmotique constitue de ce point de vue un prétraitement efficace (Dermesonlouoglou *et al.*, 2008).

3 - Séchage

Le séchage est l'un des plus anciens procédés de préservation des aliments, avec pour objectif principal de convertir des denrées périssables en produits stabilisés. Le séchage consiste à enlever l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient. Ce phénomène provoque un abaissement de l'activité de l'eau (a_w) du produit, c'est-à-dire que l'eau restante est peu disponible pour les microorganismes et pour les réactions chimiques. Dans les aliments déshydratés, du fait d'une faible activité de l'eau, les microorganismes ne peuvent pas proliférer, et la plupart des réactions chimiques et enzymatiques de détérioration sont ralenties. On considère généralement qu'un produit est stable lorsque son activité de l'eau est inférieure ou égale 0,65.

Les raisons de sécher sont aussi nombreuses que les produits à sécher, mais elles peuvent être regroupées en trois catégories principales :

- Permettre ou faciliter la conservation des produits ;
- Diminuer la masse et le volume des aliments, pour réduire leur encombrement et faciliter leur transport ;
- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit (Rivier *et al.*, 2009).

La combinaison de la déshydratation osmotique avec le séchage permet d'améliorer la qualité des produits et de réduire le coût énergétique global de l'élimination de l'eau. En effet, la pré-déshydratation diminue le temps de séchage et le besoin énergétique du séchage complémentaire (Fernandes *et al.*, 2006).

3.1 - Objectifs du séchage

L'utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires a de multiples objectifs : accroître la durée de conservation des produits, stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait,...etc.) pour amortir le caractère saisonnier de certaines activités et transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt,...etc.). Cependant, cette technique est coûteuse en énergie : le séchage des produits végétaux nécessite environ 5 000 kJ.kg⁻¹ d'eau évaporée (Mujumdar, 2006).

3.2 - Modes du 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 :

-Par ébullition, le produit est porté à la température telle que la pression de vapeur d'eau du produit devient égale à la pression totale ambiante régnant dans le séchoir. La température du liquide est donc déterminée par la pression d'ébullition (par exemple 100°C pour l'eau à $1,013 \times 10^5$ Pa) (Boussalia, 2010).

-Par entraînement, l'énergie est apportée par un gaz vecteur en mouvement, généralement de l'air chaud. Ce gaz est conditionné de manière à ce que sa température soit supérieure à celle du produit, et la pression de vapeur d'eau dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau dans l'atmosphère qui l'entoure (Boussalia, 2010).

Le séchage fait appel aux trois modes de transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement. Ceux-ci sont utilisés seuls ou combinés entre eux (Boussalia, 2010).

3.2.1 - 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 (Boussalia, 2010).

3.2.2 - Séchage par convection

Il s'agit probablement du mode 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 (Boussalia, 2010).

3.2.3 - 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). L'énergie est apportée aux produits à sécher par des ondes électromagnétiques (rayonnement), soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge (Boussalia, 2010).

3.3 - Processus de transfert de chaleur et de matière

Le séchage est un procédé complexe où interviennent des phénomènes de transferts de chaleur et de matière. La génération de la vapeur d'eau peut avoir lieu au sein de la matière ou à sa surface d'échange. Le transfert de matière du volume du corps vers sa surface d'échange a ainsi lieu en phase liquide ou/ et en phase vapeur. Le changement de phase nécessite un apport calorifique extérieur compensant principalement la chaleur nécessaire à la vaporisation

Il y a quatre processus dans le séchage :

- un transfert de chaleur du milieu extérieur vers la surface d'échange ;
- un transfert de chaleur au sein du corps ;
- un transfert de la matière liquide et/ou vapeur, du corps vers sa surface d'échange ;
- puis le transport de l'eau sous forme vapeur vers le milieu extérieur.

Pour faciliter la compréhension de ces processus, certains auteurs les classent en deux catégories : transfert externe entre le milieu extérieur et la surface d'échange et transfert interne entre la surface d'échange et le cœur du produit (Nguyen, 2015).

Au cours d'un séchage par entraînement en convection naturelle et par chauffage au gaz, le transfert de chaleur se fait de la façon suivante :

3.3.1 - Transfert externe

La chaleur est transférée par convection et par conduction de l'air vers la surface du produit à sécher. L'air directement en contact avec la surface est considéré comme immobile (Rivier *et al.*, 2009).

3.3.2 - Transfert interne

Le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur du produit se fait par conduction, la chaleur diffuse dans le produit sous l'effet de différences de température (Rivier *et al.*, 2009).

3.3.3 - Le transfert d'eau se réalise sous deux formes

- le transfert interne correspond à la migration de l'eau de l'intérieur de produit vers sa surface. Vers la fin du séchage, l'eau présente au centre du produit doit traverser la zone sèche périphérique d'épaisseur significative. Cela demande du temps

- le transfert externe correspond à l'élimination de la vapeur d'eau à la surface du produit par convection/diffusion. Comme pour la chaleur. L'échange dépend fortement de la vitesse de l'air au voisinage du produit

À la fin de séchage, c'est le déplacement de l'eau du centre du produit vers la surface qui constitue le phénomène limitant (Rivier *et al.*, 2009).

3.3.4 - Phénomènes limitant

La vitesse à laquelle s'effectue le séchage est liée à l'allure des transferts internes et externes de matière et de chaleur. Ces transferts correspondent à des mécanismes que l'on peut considérer comme intervenant en parallèle ou en série. Dans ce dernier cas, c'est le mécanisme le plus lent qui constitue l'étape limitant et qui détermine la cinétique globale du procédé. Lors du séchage par entraînement d'un produit biologique, c'est le plus souvent le transfert interne de matière qui correspond au phénomène limitant. Dans le cas d'un séchage par ébullition, c'est plutôt l'allure du transfert de chaleur qui limite la vitesse de séchage (Bonazzi et Bimbenet, 2003).

3.4 - La cinétique de séchage

Les mécanismes de séchage comportent le chauffage et la vaporisation de l'eau à la surface d'échange, et le transport de la vapeur vers le milieu environnant. Le séchage est aussi un transfert de chaleur par conduction couplé à un transfert d'eau sous des forces capillaires et de la diffusion interne à la fois du liquide et de la vapeur dans le produit (Changrue, 2006).

3.4.1 - 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 3, ou encore la vitesse du séchage dn_s/dt en fonction du temps t donnée sur la figure 4.

Ces courbes de séchage ont la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent) (Boussalia, 2010).

3.4.1.1 - Les phases de séchage

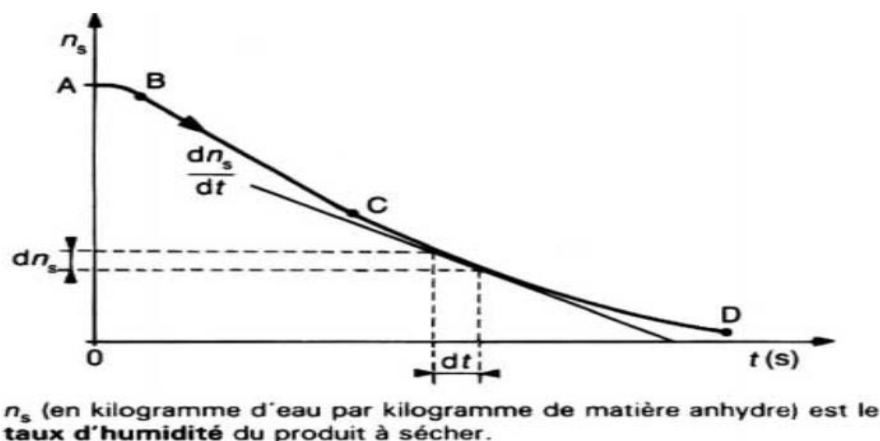


Figure 3. Courbe de séchage $n_s = f(t)$

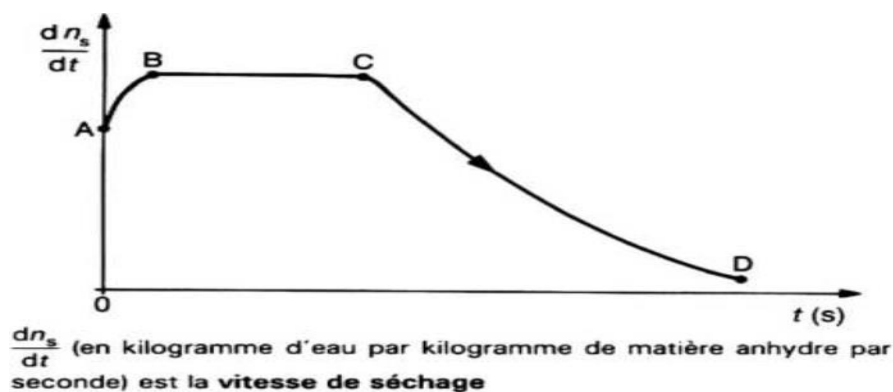


Figure 4. Courbe de séchage $\frac{dn_s}{dt} = f(t)$

3.5 - Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage

3.5.1 - Influence de la température de l'air

La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air. L'effet de la température de l'air de séchage a été étudié par de nombreux chercheurs, par exemple pour le haricot vert (Doymaz, 2005), différents légumes (Krokida et al., 2003), la pomme (Seiedlou et al., 2010). Ces auteurs ont constaté que le temps de séchage diminuait avec l'augmentation de la température de séchage (Nguyen, 2015).

3.5.2 - Influence de l'humidité de l'air

L'effet de l'humidité relative a été étudié par Kaya et al. (2007) sur la pomme. Une diminution de l'humidité relative entraîne une diminution du temps de séchage et une accélération du processus de séchage (Nguyen, 2015).

3.5.3 - Influence de la vitesse d'air

La vitesse d'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par la migration interne de l'eau, l'influence de la vitesse d'air devient très faible (Nguyen, 2015).

L'apport d'une ventilation forcée dans une installation de séchage a pour conséquences l'accélération du début du séchage, l'amélioration de l'homogénéité de séchage et l'augmentation du rendement thermique (Rivier *et al.*, 2009).

Chapitre III - Qualité des fruits osmodéshydratés

1 - Qualité des produits végétaux traités par déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique permet le maintien des qualités nutritionnelles, voire l'amélioration des qualités organoleptiques de produits souvent fragiles, ainsi qu'une meilleure résistance à des traitements ultérieurs (séchage, stockage, etc.) (Albagnac *et al.*, 2002). En effet, en tenant compte de la possibilité de transferts de masse dans les deux sens (gain de solutés et perte de solutés), la déshydratation osmotique permet la formulation de nouveaux produits (Albagnac *et al.*, 2002). Selon Raoult-Wack (1994), la déshydratation osmotique permet de modifier les propriétés fonctionnelles des produits en les imprégnant dans des solutés souhaités. La DO augmente le rapport sucre/acide, améliore la texture et préserve la couleur pendant la déshydratation et le stockage (Raoult-Wack, 1994). Toutefois, il convient de noter que les apports en soluté, notamment en sucres, ne vont pas toujours dans le sens d'une amélioration des propriétés nutritionnelles.

1.1 - L'effet de la DO sur les différents attributs de la qualité

1.1.1 - Saveur

Au cours de la DO, l'introduction de soluté modifie inévitablement le rapport acides/sucre, ce qui adoucit la saveur du produit final. Cependant, en séchage ou en DO, l'élimination d'eau ne doit pas se faire au détriment de la saveur. En règle générale, tout facteur tendant à augmenter la viscosité de la solution osmotique diminue la diffusivité relative des arômes. Ainsi, il vaut mieux en DO diminuer la température et augmenter la concentration du produit en matières sèches pour conserver les arômes (Torreggiani *et al.*, 2001).

1.1.2 - Couleur

La couleur est un attribut très important des aliments, car elle influence l'acceptabilité par le consommateur (40 % du critère d'acceptabilité) (Falade *et al.*, 2007). Des couleurs anormales, suggérant la détérioration de la qualité ou du caractère comestible, sont des causes de rejet par le consommateur. Beaucoup de réactions peuvent affecter la couleur pendant le traitement thermique des fruits et de leurs dérivés. Les plus communes sont la dégradation des pigments (chlorophylle, β - carotène,...etc.), et les caroténoïdes et la chlorophylle. Les réactions de brunissement telles que la réaction de Maillard des hexoses et l'oxydation de l'acide ascorbique sont également affectées. 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. L'activité enzymatique de polyphenol-oxydase responsable du brunissement enzymatique est alors inhibée. La sensibilité des produits au brunissement non enzymatique est également limitée (Torreggiani *et al.*, 2001).

1.1.3 - Texture

Le départ d'eau, ainsi que son remplacement par d'autres molécules, implique des contraintes mécaniques qui modifient la conformation du matériau. Ainsi, le produit se rétracte sous l'action des fortes densités de flux (Castello *et al.*, 2009 ; Garcia-Segovia *et al.*, 2010). D'autre part, au cours du processus de déshydratation, les polysaccharides (pectine, hémicelluloses, cellulose) qui constituent la membrane cellulaire sont partiellement solubilisés, modifiant ainsi la fermeté du produit (Nunes *et al.*, 2008).

1.1.4 - Arôme et composition nutritionnelle

La déshydratation imprégnation par immersion (DII) affecte aussi la saveur des aliments. La déshydratation-imprégnation 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.

1.1.5 - 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 (Djendoubi, 2012).

Taiwo *et al.* (2002) ont identifié plusieurs facteurs qui affectent le processus de réhydratation d'un produit traité par DII. Ces facteurs sont classés en 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

2 - Les indicateurs en microbiologie alimentaire

2.1 - Indicateurs de la qualité et des bonnes pratiques de fabrication des aliments

Les indicateurs de la qualité microbiologique d'un produit sont des microorganismes et/ou leurs produits métaboliques dont la présence dans des aliments donnés, à certaines concentrations, peut être utilisée pour évaluer la qualité (fraîcheur) et ainsi prédire la durée de vie d'un produit ou démontrer des lacunes dans les conditions de fabrication (Barthe, 2006).

2.2 - Indicateurs de l'innocuité des aliments

L'innocuité d'un aliment peut être définie par une absence ou un faible nombre de bactéries pathogènes (pouvant causer des maladies). Cependant, la recherche systématique de l'ensemble des microorganismes pathogènes est une entreprise fastidieuse et impossible à réaliser en tout temps et sur l'ensemble des aliments. De plus, il est démontré que les microorganismes pathogènes sont, en général, dans une très faible proportion et en très faible concentration dans les aliments (Barthe, 2006).

2.3 - Signification des indicateurs

a- Coliformes totaux et coliformes fécaux

Les deux groupes de microorganismes les plus utilisés comme indicateurs de contamination bactérienne sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux. Le groupe des coliformes totaux comprend toutes les bactéries aérobies et anaérobies facultatives. Gram négative. Non sporulées. Qui font fermenter le lactose avec dégagement de gaz en moins de 48 h à 35°C. Le groupe des coliformes fécaux comprend les coliformes pouvant former de gaz en moins de 24 h à 44.5°C (Desjardins, 1997).

b- Flore aérobie mésophile totale

La flore aérobie mésophile totale permet d'évaluer la qualité microbiologique au sens large du terme et reflète l'histoire du produit. Il est ainsi possible, pour un aliment donné, de prédire les types microbiens que l'on a le plus de chance de rencontrer tout au long de leur histoire. Ce nombre de germes totaux représente l'état de fraîcheur ou de décomposition du produit. Sur le produit manipulé ou soumis à divers traitements technologiques, le dénombrement des germes totaux permet de juger la qualité des opérations de production, transport, entreposage...etc (Cuq *et al.*, 1992).

c- Levures et moisissures

Les levures et les moisissures sont largement répandues dans l'environnement. On les trouve, entre autres, dans l'eau, le sol, le bois en décomposition, les débris organiques, les excréments, sur les plantes et les produits de plante, les grains, le fourrage, les fruits, les légumes et les noix. Certaines d'entre elles font partie de la flore normale de divers produits alimentaires. On les utilise dans les processus de fermentation de boissons, de charcuteries, de fromages et de pain, ainsi que pour la production d'antibiotiques. Lorsqu'elles prolifèrent dans les aliments et que leurs populations atteignent des niveaux excessifs, les levures et les moisissures peuvent occasionner la détérioration des produits (goût, texture, apparence) et entraîner des pertes économiques importantes (Barthe, 2006).

3 - Maladies bactériennes qui touchent les agrumes

▪ Le Stubborn (*Spiroplasma citri*)

Est un mycoplasme (micro-organisme à structure proche de celle des virus et des bactéries). Le mycoplasme peut être transmis en pépinière par greffage. En verger, il peut être transmis d'arbre malade à des arbres sains par les cicadelles, plus spécialement par les 2 espèces *Circulifer tenellus* et *Neolaiturus haematoceps*. C'est la maladie la plus répandue et la plus grave, surtout lorsqu'elle est associée à une autre virose principalement la Psorose (Mendil et al., 2011).

Symptômes

- La déformation en gland des fruits ;
- Fruits de petits calibres et à différents stades de maturation, résultant des floraisons échelonnées comme le citronnier quatre saisons;
- Jeunes ramifications à entrenœuds courts (balai de sorcière) ;
- Feuilles à port érigé et à limbe relevé en forme de cuillère et de rosette;
- Balais de sorcière (prolifération anormale des bourgeons axillaires) ;
- Inversion de coloration des fruits (figure 5) (Mendil et al., 2011).



Figure 5. Inversion de coloration des fruits

Le chancre bactérien des agrumes (*Xanthomonas campestris* PV. Citri)

Symptômes

- Infecte toutes les parties aériennes de la plante.
- Les lésions, taches ponctuelles au départ, deviennent soit de petites pustules surélevés soit des éruptions (figure 6) ;
- Les lésions sont au début de couleur claire, puis deviennent brunes; ces lésions sont entourés d'un halo jaune avec des bordures huileuses ou graisseuses (Mendil *et al.*, 2011).



Figure 6. Des lésions et taches ponctuelles sur fruit et feuilles.

4 - Les ravageurs

Les insectes se développent sur les organes de l'arbre et sont extrêmement nombreux, non seulement ils causent de graves dégâts, mais ce sont des vecteurs de maladies virales et bactériennes.

- **Pucerons** : ils apparaissent le plus souvent sur la face inférieure des feuilles et sur les jeunes pousses des agrumes.
- **Cératite** (Mouche méditerranéenne des fruits) : Les fruits attaqués présentent généralement une zone de décoloration. Souvent, l'attaque se traduit par le mûrissement précoce puis la chute des fruits.
- **Acariens** : ils causent la déformation, décoloration, nécroses et chutes des bourgeons, des fruits et des feuilles (Mendil *et al.*, 2011).

Partie II - Matériel et méthodes

Notre étude a été réalisée au niveau des laboratoires de microbiologie et de biochimie du département des sciences agronomiques, faculté des sciences, université Ammar Telidji Laghouat.

Dans cette étude, le matériel biologique et le matériel technique utilisés sont représentés par :

1 – Matériel biologique

1.1 – Orange

Les oranges utilisées dans cette expérimentation sont représentées par l'orange douce de l'espèce *Citrus sinensis*. Elles ont été achetées du marché local des fruits et légumes au centre-ville de la wilaya de Laghouat.

1.1.1 – Description des oranges

Forme : Arrondie ;

Fruits : Moyenne taille avec quelque pépin ;

Couleur : Orange ;

Vigueur : Moyenne ;

Poids : 200 à 250 g ;

Qualité gustative : Pulpe orange, juteuse, sucré

et très aromatique ;

Peau : Fine, brillante et parfumée.

1.1.2 – Conditionnement

Les oranges ont été conditionnées dans une caisse en plastique afin permettre leur transport, stockage et commercialisation.

1.1.3 – Stockage

A la réception des échantillons d'orange, ils ont été entreposés au réfrigérateur à 4°C durant trois jours avant de subir des opérations préliminaires de lavage et de découpage, une déshydratation osmotique et un séchage.



Figure 7. Photographie montrant un échantillon d'orange

1.2 – Sucre

Le sucre, l'agent utilisé dans la déshydratation osmotique, est représenté par le saccharose (le sucre blanc cristallisé ou sucre de table). Il est acheté en paquet de 1kg du commerce de la ville de Laghouat.

2 – Matériel technique

Le principale matériel technique utilisé durant notre étude est représenté principalement par :

2.1 – Etuve

Une étuve chimique de la marque memmert ($0 - 250^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) est utilisée pour incuber les pots de déshydratation osmotique à 25 ou à 40°C .

L'étuve est également utilisée pour le processus de séchage complémentaire effectué à 40°C ou à 60°C et pour déterminer le taux d'humidité des oranges fraîches, et des oranges séchées.

Un schéma représentatif de la disposition des tranches d'orange dans les claies de séchage à l'étuve est représenté par la figure 8.

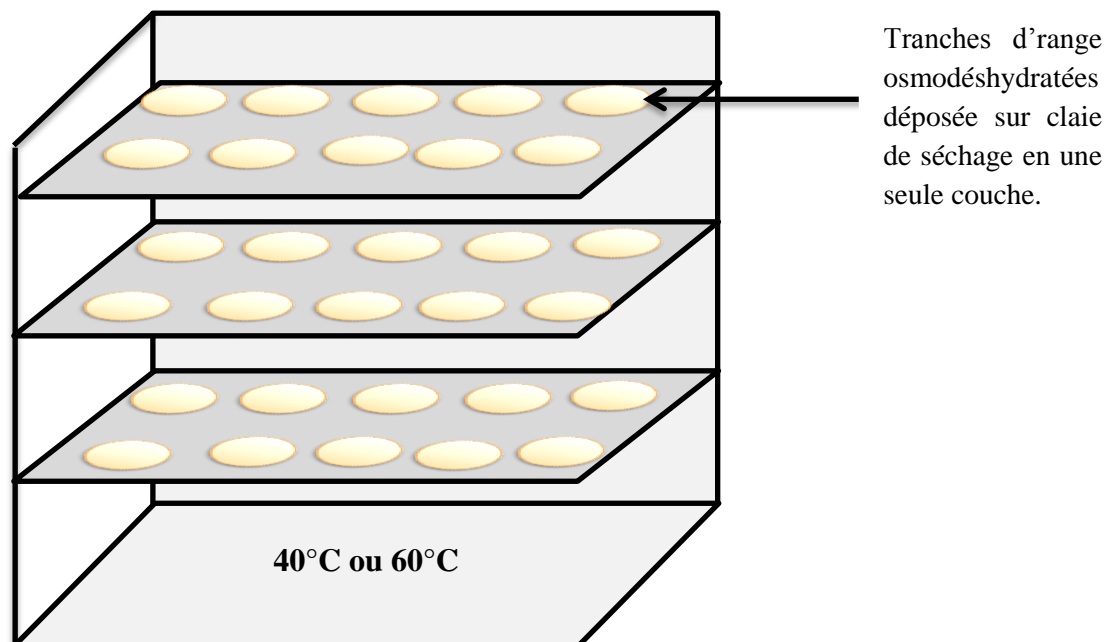


Figure 8. Représentation schématique de disposition des tranches d'orange osmodéshydratées dans l'étuve de séchage

2.2 - Four a moufle

Un four à moufle électrique de la marque nüve est utilisé pour incinérer à 600 °C pendant 5 h les oranges fraîches et les oranges séchées.

3 – Méthodes d’analyses biochimiques

Les analyses biochimiques sont réalisées dans le but de déterminer certaines caractéristiques biochimiques pour les oranges fraîches et celles après déshydratation osmotique et séchage.

3.1 – Détermination du taux d’acidité titrable

Le taux d’acidité titrable est déterminé en utilisant la méthode décrite par [AFNOR \(1986\)](#).

Un titrage acido-basique en présence d’indicateur coloré (la Phénolphtaléine à 1%) est effectué entre une solution d’hydroxyde de sodium (Na OH) 0,1N et une solution mère de l’échantillon (10 grammes d’orange découpées en petits morceaux sont broyées dans 100ml d’eau distillée). Le point d’équivalence est déterminé lors du virage de la couleur de l’échantillon vers le rose clair.

Le taux d’acidité titrable est calculé par la relation suivante :

$$\% \text{ d'acidité} = \frac{V \times N \times M}{P \times 100} \times 100$$

V : volume de NaOH utilisé (ml) ;

N : normalité de NaOH (0.1 N) ;

M : masse équivalente (64g/mol) pour l’acide citrique ;

P : poids de l’échantillon (g).

3.2– Détermination du taux d’humidité

Le taux d’humidité est déterminé par la méthode décrite par [\(A.O.A.C., 1984\)](#). Cette méthode est basée sur la dessiccation de 5grammes d’orange dans une étuve réglée à 110°C pendant 3 heures. Le résultat est exprimé en pourcentage de matière sèche par rapport à la matière fraîche.

Le taux d’humidité est calculé par la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

m_0 : masse de l'échantillon avant étuvage (g) ;

m_1 : masse de l'échantillon après étuvage (g) ;

H% : teneur en eau (g d'eau/100g MF).

3.3 – Détermination du taux des sucres réducteurs

Le dosage des sucres réducteurs est effectué par la méthode de Fehling ([A.O.A.C., 1984](#)).

Dans un premier temps, la liqueur de Fehling (10 ml de liqueur de Fehling A + 10 ml de liqueur de Fehling B + 30 ml d'eau distillée) est titrée par une solution de glucose de concentration connue (0.1g + 100 ml d'eau distillée). La solution de Fehling, en agitation à chaud, est titré à l'aide d'une burette graduée jusqu'au virage de la couleur du bleu vers le rouge brique.

Le dosage des glucides réducteurs des oranges est effectué selon la même méthode sauf que dans la burette, on met le jus de fruits et non pas la solution de glucose (10g d'orange coupée en petits morceaux + 100ml d'eau distillée).

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

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

C_1 : concentration de solution de glucose (g/l) ;

C_2 : concentration en sucres réducteurs du filtrat du jus de fruit (g/l) ;

V_1 : volume de la solution de glucose (ml) ;

V_2 : volume de filtrat du jus de fruit (ml).

3.4 – Détermination du taux de cendres

La détermination du taux de cendres est effectuée selon la méthode [Afilal et al. \(2014\)](#). le principe de cette méthode consiste à l'incinération d'une quantité de fruits (d'environ 5grammes d'orange sèche) dans un four à moufle réglé à 600°C pendant 5h. Les cendres sont ensuite pesées à l'aide d'une balance de précision.

Après 5 heures dans l'incinérateur, on obtient un résidu inorganique porte l'expression de cendres totales. Cette masse du déchet calciné à 600°C. Est la matière minérale en pourcentage, est donné par l'équation :

$$MM\% = \frac{A}{B} \times 100$$

Où

A : Poids des cendres.

B : poids d'échantillon (MS).

Le taux de matière organique est obtenu par la relation suivante :

$$MO\% = 100 - MM$$

4 – Confisage , déshydratation osmotique et séchage

4.1 – Opérations préliminaires

4.1.1 – Lavage et découpe

Les oranges sont lavées à l'eau de robinet puis séchées dans un égouttoir. L'épluchage est effectué manuellement à l'aide d'un couteau.

Les oranges épluchées sont découpées horizontalement en rondelles d'environ 1 cm d'épaisseur. Le poids frais de chacune des rondelles (P0) est déterminé à l'aide d'une balance de précision.

4.1.2 – Blanchiment

Les rondelles d'orange subissent un blanchiment par trempage dans l'eau bouillante à 100°C pendant 3 min, puis refroidies par trempage dans l'eau froide afin d'arrêter l'effet du blanchiment.

Ce processus permet de détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant leur traitement ultérieur (dans notre cas, c'est la déshydratation). Ce procédé prévient ainsi un certain nombre d'altérations organoleptiques telles que des modifications de saveurs et de couleurs. 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 en facilitant ainsi la réhydratation (Dermesonlouoglou *et al.*, 2008).

4.2 – Déshydratation osmotique et confisage

La déshydratation osmotique des tranches fraîches d'orange est effectuée dans des gobelets en polyéthylène téréphtalate alimentaire en utilisant une quantité de sucre cristallisé à 25 ou à 40°C pendant 4 ou 6 h.

La quantité de sucre, la température d'incubation, la durée de déshydratation osmotique sont déterminées par planification expérimentale et mentionnées dans le tableau 5.

L'utilisation pratique des traitements osmotiques se base sur les doubles effets de sortie d'eau et d'entrée de matières sèches. Avec des combinaisons appropriées entre réduction de la teneur en eau et incorporation de matières sèches (Maltini et Torreggiani, 1997).

Les tranches d'orange sont retirées du sucre et déposées sur papier absorbant pour éliminer le sucre restant après la déshydratation osmotique.

Durant l'opération de déshydratation osmotique, il y a une perte de poids des rondelles d'orange, cette perte de poids est mesurée par pesée (P1) en fin de déshydratation osmotique.

5 – Séchage

Afin d'étudier l'effet de la température et de la durée du séchage sur la cinétique de perte en eau des rondelles d'orange osmodéshydratées, ces dernières sont placées dans les claies de l'étuve réglée à 40°C ou à 60°C pendant 15 ou 20 heures. Après séchage, les rondelles d'orange sont pesées pour une troisième fois (P2).

La perte en eau des rondelles d'oranges est déterminée selon l'équation donnée à la page 41.

L'organigramme des processus de déshydrations osmotique et de séchage des rondelles d'orange est présenté par la figure 9.

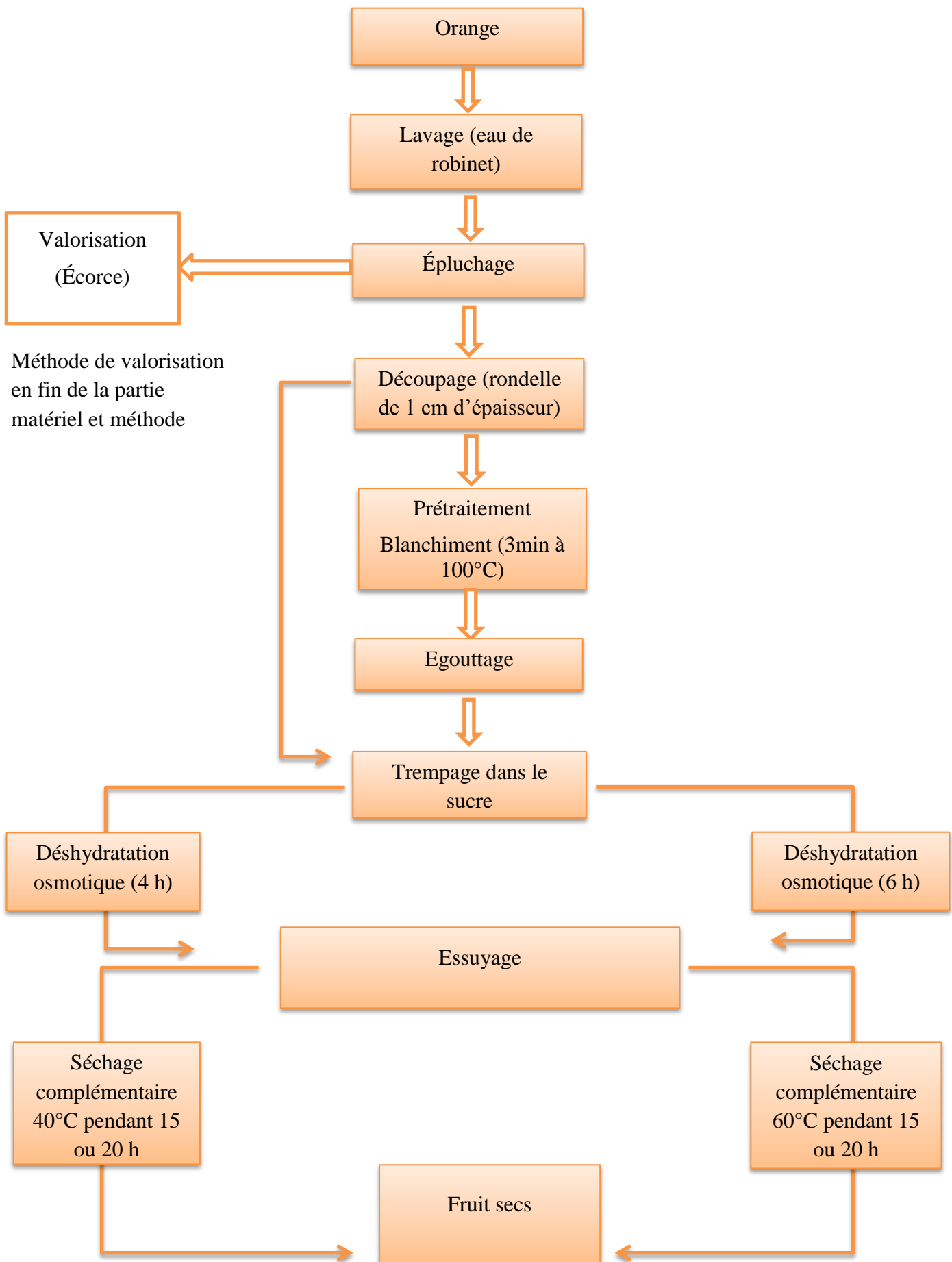


Figure 9. Organigramme montrant les procédés de déshydratation osmotique et du séchage

6 – Cinétiques de déshydratation osmotique et du séchage

Le principal paramètre utilisé pour suivre la cinétique de déshydratation osmotique et le séchage est l'évolution de la perte en poids des rondelles d'orange, en fonction du temps. Cette perte en poids est déterminée, selon la méthode de [Khatir et al. \(2013\)](#). En utilisant la formule suivante :

La perte en poids

$$RP(\%) = \frac{M_0 - M}{M_0} \times 100$$

RP (%) : Réduction de poids ;

M₀ : masse initial de l'échantillon (g) ;

M : masse de l'échantillon au temps t (g).

7 - Optimisation de la déshydratation osmotique et du séchage

7.1 - Planification de l'expérimentation

7.1.1 – Choix de facteurs de variation

Afin de clarifier les idées sur la façon de fixer les différents paramètres ainsi que les variantes de mise en œuvre de la méthode de déshydratation osmotique, des tests basés sur des modèles statistiques expérimentaux sont retenus.

La méthodologie des surfaces de réponse (MSR) est utilisée pour évaluer les principaux effets du procédé de déshydratation osmotique sur la perte en poids.

Durant notre expérimentation, nous avons étudiés l'influence de six facteurs sur la vitesse moyenne de déshydratation osmotique et celle du séchage, qui sont les suivants :

Facteur 1 : blanchiment ;

Facteur 2 : durée de déshydratation osmotique ;

Facteur 3 : température de déshydratation osmotique ;

Facteur 4 : quantité de sucre ;

Facteur 5 : température du séchage ;

Facteur 6 : durée du séchage.

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

- Blanchiment : Il est défini entre deux niveaux, un niveau inférieur : "sans blanchiment" et un niveau supérieur "avec blanchiment" ;
- La durée de déshydratation osmotique : ce facteur est fixé à un niveau inférieur "4 heures" et à un niveau supérieur "6 heures" ;
- La température de déshydratation osmotique : le niveau inférieur est fixé à 40°C et le niveau supérieur est à 60°C ;
- La quantité de sucre : pour ce facteur de variation, le niveau bas est fixé par une quantité de sucre égale ou double de la masse de l'échantillon. Cependant, le niveau haut est représenté par le triple du poids de l'échantillon.
- La température du séchage : elle est étudiée entre deux niveaux, un niveau inférieur : 40°C et un niveau supérieur : 60°C ;
- La durée de séchage : ce facteur est compris entre un niveau inférieur 15 heures et un niveau supérieur 20 heures.

Les domaines de l'étude pour chaque facteur de variation est mentionné dans le tableau 6.

Tableau 6. Domain d'étude pour chaque facteur de variation.

Facteurs :	Code	Niveau bas (-1)	Niveau haut (+1)
Blanchiment	F1	Sans	Avec
Durée de déshydratation osmotique	F2	4 heures	6 heures
Température de déshydratation osmotique	F3	25°C	40°C
Quantité de sucre	F4	Double de la masse de l'échantillon	Triple de la masse de l'échantillon
Température de séchage	F5	40°C	60°C
Durée de séchage	F6	15 heures	20 Eures

7.2 – Expérimentation selon un plan complet

Dans cette expérimentation, nous étudions l'effet des six facteurs de variation et les interactions entre les facteurs sur la vitesse moyenne de la déshydratation osmotique et celle du séchage.

7.2.1 – Matrice d'expérience pour un plan complet

Un plan d'expérience complet ($2^k = 2^6$) a été choisi. Le tableau 7 indique l'ensemble des expériences menées qui sont déterminées selon le logiciel Minitab version 2017.

Tableau 7. Matrices d'expériences du plan complet ($2^K = 2^6$) déterminée par le logiciel Minitab version 2017.

Numéro d'essais	Blanchiment	Durée DO	T°C DO	Quantité du sucre	T°C séchage	Durée/séchage
1	1	-1	1	-1	-1	-1
2	1	1	-1	1	-1	-1
3	-1	1	1	-1	1	-1
4	1	-1	1	1	-1	1
5	1	1	-1	1	1	-1
6	1	1	1	-1	1	1
7	-1	1	1	1	-1	1
8	-1	-1	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1	1	1
10	1	-1	-1	-1	1	1
11	-1	1	-1	-1	-1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13	1	-1	1	-1	-1	-1
14	1	1	-1	1	-1	-1
15	-1	1	1	-1	1	-1
16	1	-1	1	1	-1	1
17	1	1	-1	1	1	-1
18	1	1	1	-1	1	1
19	-1	1	1	1	-1	1
20	-1	-1	1	1	1	-1
21	-1	-1	-1	1	1	1
22	1	-1	-1	-1	1	1
23	-1	1	-1	-1	-1	1
24	-1	-1	-1	-1	-1	-1
25	1	-1	1	-1	-1	-1
26	1	1	-1	1	-1	-1
27	-1	1	1	-1	1	-1
28	1	-1	1	1	-1	1
29	1	1	-1	1	1	-1
30	1	1	1	-1	1	1
31	-1	1	1	1	-1	1
32	-1	-1	1	1	1	-1

33	-1	-1	-1	1	1	1
34	1	-1	-1	-1	1	1
35	-1	1	-1	-1	-1	1
36	-1	-1	-1	-1	-1	-1

8 – Valorisation des résidus

Dans un premier temps, le zeste d'orange est enlevé à l'aide d'un couteau, blanchi à 100°C pendant 3min puis refroidi par trempage dans l'eau froide. Il est ensuite placé sur papier absorbant pour enlever l'excès d'eau qui reste dans l'écorce avant de le mettre dans l'étuve à 60°C pendant 9 h.

Après séchage, les écorces séchées sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique et tamisées pour donner une poudre fine. La figure 21 représente les étapes de valorisation d'écorce d'orange.

9 – Méthodes d'analyses microbiologiques des oranges sèches

Les analyses microbiologiques ont pour but la recherche des germes pathogènes et le dénombrement des autres microorganismes. Pour notre étude, les analyses microbiologiques sont effectuées pour le produit fini.

9.1 – Préparation des dilutions décimales

Un gramme de l'échantillon à analyser est additionné aseptiquement à 9 ml d'eau physiologique stérile (9 g de Na Cl dans un litre d'eau distillée). C'est la solution mère correspondant à la dilution (10^1), à l'aide d'une pipette on verse 1 ml de la dilution 10^1 dans un nouveau tube contenant 9 ml d'eau physiologique, ce qui correspond à la dilution (10^2). L'opération est renouvelée en changeant de pipette à chaque dilution jusqu'à arriver à la dilution décimale 10^5 . Les tubes sont homogénéisés entre chaque dilution avant chaque prélèvement.

Ces dilutions sont utilisées pour l'ensemencement des différents milieux de cultures utilisés pour le dénombrement des germes recherchés et qui sont représentés par :

9.2 - Les coliformes totaux et les coliformes fécaux

Les coliformes sont des entérobactéries fermentant le glucose et le lactose en produisant du gaz et des acides organiques.

Ces microorganismes sont considérés comme indicateurs de contamination fécale. Leur dénombrement est effectué par ensemencement de 1 ml de la solution mère ou de ses dilutions décimales en profondeur du milieu V.R.B.L (milieu gélosé bilié au cristal violet et au rouge neutre). Deux séries de boîtes de Pétri sont incubées à :

- 30°C pour le dénombrement des coliformes totaux.
- 44°C pour le dénombrement des coliformes fécaux.

Le dénombrement des colonies caractéristiques est effectué après 24 heures et 48 heures d'incubation où on prend en compte les colonies rouges.

9.3 – La flore aérobique mésophile totale

Cette microflore est considérée comme un indicateur sanitaire (indicateur d'hygiène élémentaire). Le dénombrement de la FAMT est effectué par étalement de 0,1 ml en surface à partir de la suspension mère ou de ses dilutions décimales à l'aide d'une pipette Pasteur. Le milieu de culture utilisé pour le dénombrement de cette microflore est le milieu gélose nutritive. Les boîtes sont incubées à 30°C pendant 72 h.

Après incubation des boîtes de Pétri, un comptage des colonies de FAMT qui apparaissent est effectuée pour les boîtes de Pétri contenant entre 30 et 300 colonies.

9.4 – Les levures et moisissures

Le dénombrement de ces germes est effectuée par étalement de 0,1 ml de la suspension mère ou de ses dilutions décimales dans une boîte de Pétri contenant le milieu gélosé Sabouraud. L'incubation est effectuée à 25°C pendant 5 jours.

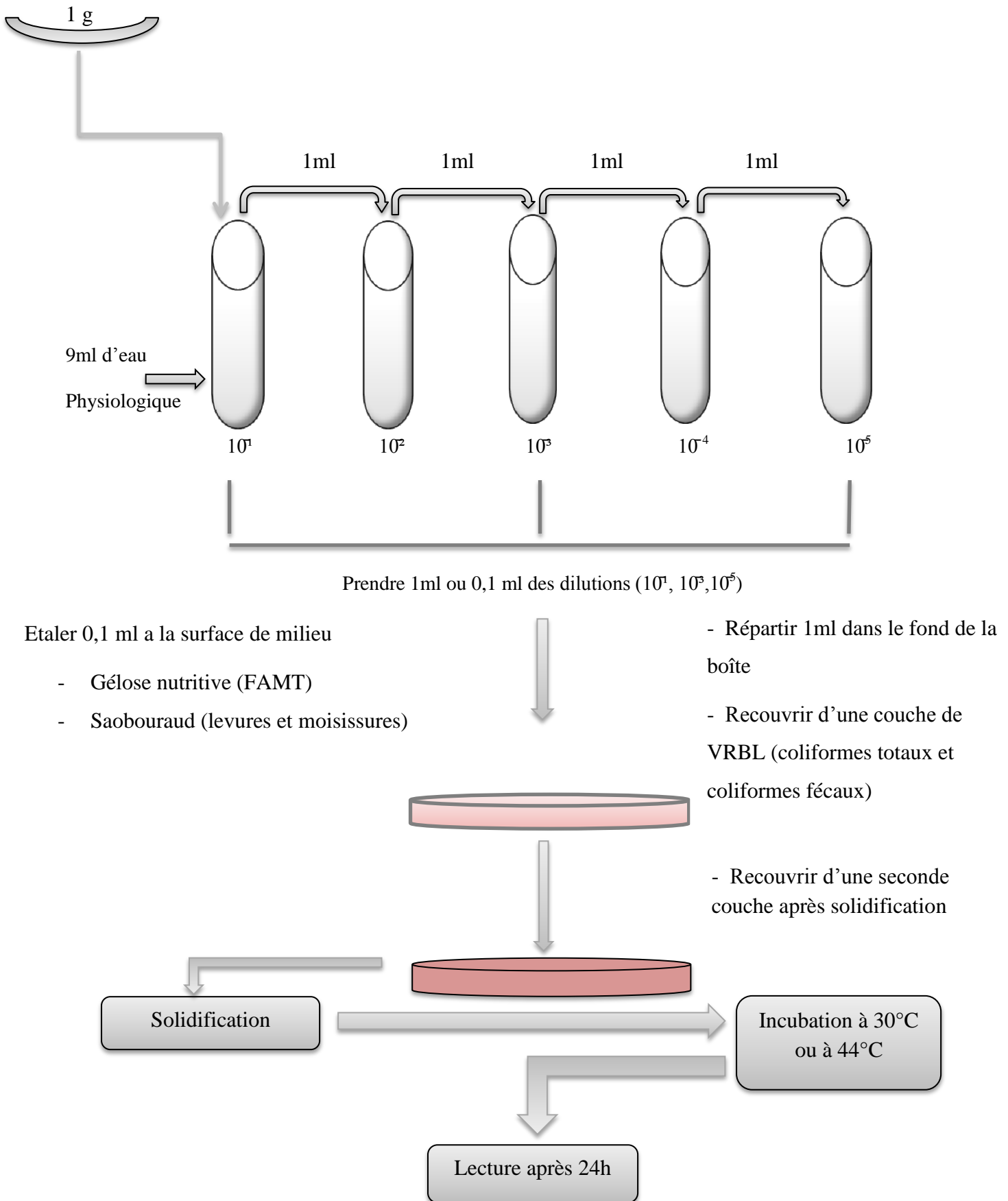


Figure 10. Organigramme montrant les principales étapes des analyses microbiologiques

Partie III - Résultats et discussions

1 – Résultats des analyses biochimiques

Des analyses biochimiques portant sur la détermination du taux d'acidité titrable, des cendres, des sucres réducteurs, ainsi que du taux d'humidité des oranges ont été effectuées pour les oranges fraîches et celles osmodéshydratées.

Les résultats des analyses biochimiques réalisées sur les échantillons d'oranges fraîches, après déshydratation osmotique et après séchage complémentaire sont représentés ci-après:

1.1– Taux d'acidité titrable

L'acidité du jus correspond à la quantité totale des acides minéraux et acides organiques libres présents dans le jus. Ils sont représentés par l'acide citrique majoritairement prédominant et représentant entre 85% et 95% de l'acidité totale des jus d'agrumes (Essahli et al., 2016).

Le taux d'acidité titrable des oranges fraîches est de 2,56g d'équivalent acide citrique par 100g de MS. Après déshydratation osmotique et séchage, l'acidité diminue jusqu'à 2,24 g d'équivalent acide citrique par 100g de MS (figure 11).

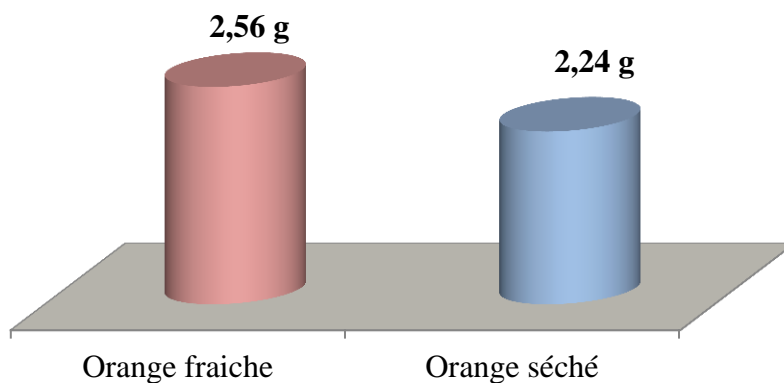


Figure 11. L'acidité titrable des oranges fraîche et des oranges osmodéshydratées et séchées.

Ces résultats sont légèrement supérieurs de ceux trouvés par Mahmoudi et al. (2017) ayant rapportés un taux d'acidité titrable de 0,81 à 2,34 pour les oranges.

Cette différence peut être expliquée par une différence de degré de maturation des échantillons d'orange comme elle peut être expliquée par une différence variétale.

1.2– Taux d’humidité

Les résultats du taux d’humidité et du taux de matière sèche des oranges fraîches et après déshydratation osmotique et séchage complémentaire sont représentés par la figure 12.

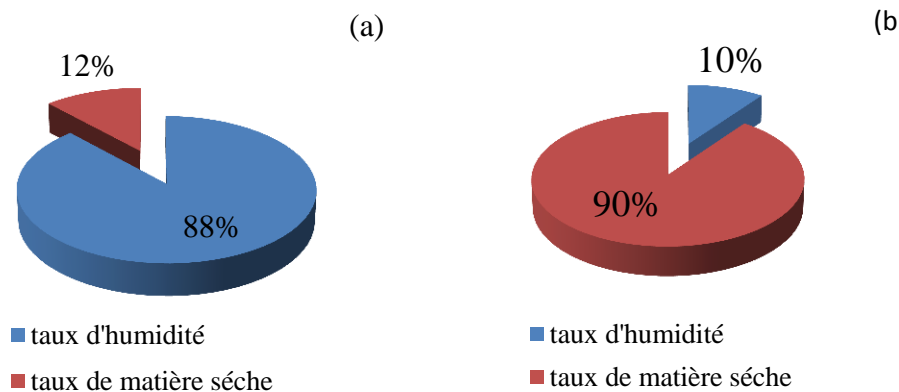


Figure 12. Taux d'humidité et taux de matière sèche des oranges fraîches (a) et des oranges osmodéshydratées puis séchées (b).

L’analyse des résultats de la figure 12 montre que la teneur en eau des oranges fraîches est élevée et peut atteindre en moyenne 88%. Ceci correspond à un taux de matière sèche de 12%. Comparativement avec les oranges séchées, la teneur en eau est de 10% seulement et le taux de matière sèche atteint 90%. Ceci montre qu’après déshydratation osmotique et séchage, la teneur en eau des oranges fraîches diminue de 88% à 10%. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par [Ferradji et Malek \(2005\)](#) concernant les abricots secs.

1.3– Taux des sucres réducteurs

Les principaux sucres de la pulpe des agrumes sont le saccharose, le glucose et le fructose dont les concentrations varient en fonction des espèces ([Antoine, 2013](#)).

Les résultats du taux des sucres réducteurs des oranges fraîche est de 2,96 g/l. Après déshydratation osmotique et séchage, la teneur en sucres réducteurs est évaluée à 3,56 g/l.

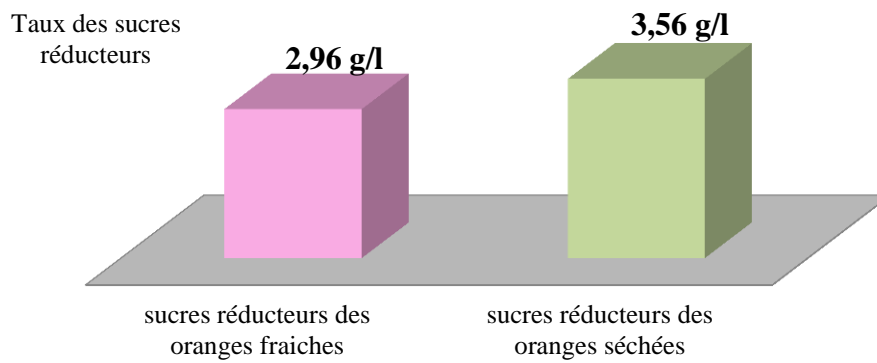


Figure 13. Taux des sucres réducteurs des oranges fraîches et des oranges séchées.

Nous remarquons que le taux des sucres augmente après déshydratation osmotique et séchage. Selon [Mouawad et bassal \(2003\)](#), les degrés brix des orange augmente sous l'effet de la déshydratation osmotique à cause de la diffusion des solutés du milieu le plus concentré (saccharose) vers le milieu le moins concentré (orange).

1.4 – Taux des cendres

La mesure du taux de cendres permet de connaître et d'évaluer la minéralité des différents échantillons, issus des différentes étapes du procédé de transformation.

Les taux de cendres des oranges fraîches et après déshydrations osmotique et séchage complémentaire sont représentés dans les figures 14 et 15.

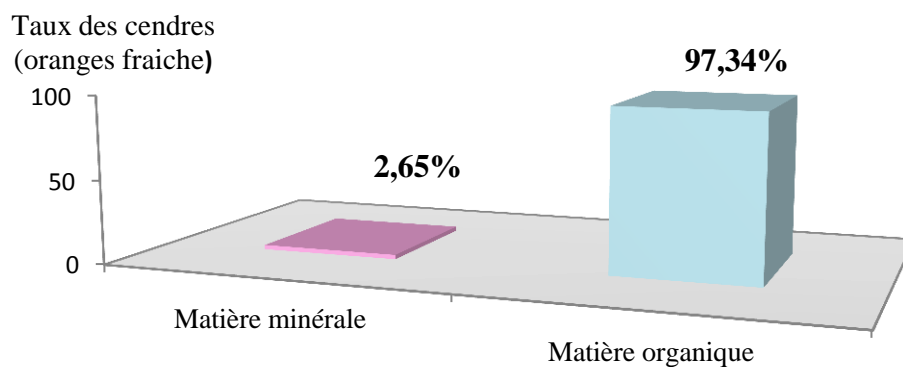


Figure 14. Taux des cendres par rapport à la matière minérale et par rapport à la matière organique des oranges fraîche.

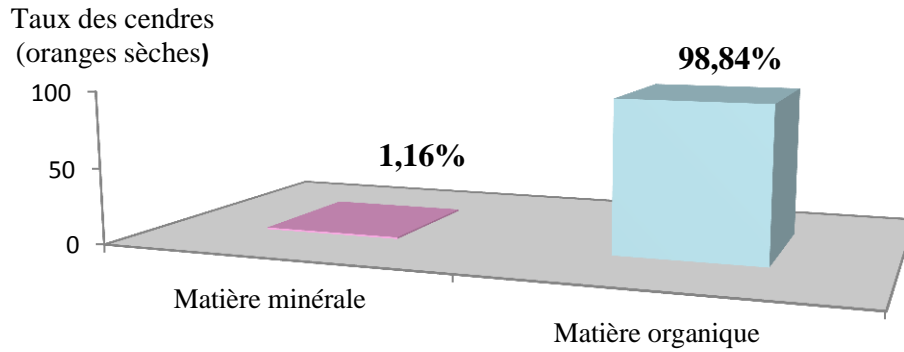


Figure 15. Taux des cendres par rapport à la matière minérale et par rapport à la matière organique des oranges sèches.

D'après ces résultats, nous remarquons que le taux des cendres des oranges fraîches par rapport à la matière minérale est de 2,65% et 97,34% par rapport à la matière organique comparativement avec les oranges séchés, le taux des cendres par rapport à la matière minérale est de 1,16% et 98,84% par rapport à la matière organique.

2 – Déshydratation osmotique et séchage complémentaire au laboratoire

La déshydratation osmotique et le séchage complémentaire des oranges au laboratoire a porté sur une quantité de 5 kg. Ces derniers sont lavés, épluchés et découpés horizontalement en rondelles d'environ 1 cm d'épaisseur. (Figure 16.a)

Deux essais ont été effectués, l'un est avec blanchiment par trempage dans l'eau bouillante à 100°C pendant 3 min, puis un refroidissement par trempage dans l'eau froide ; et l'autre sans blanchiment et cela pour étudier l'effet du blanchiment sur la perméabilité des membranes cellulaires. (Figure 16.b)

Les rondelles d'orange prétraitées par blanchiment et les rondelles qui non traitées, ont subies par la suite une déshydratation osmotique par immersion dans le saccharose dans des gobelet en polyéthylène téréphtalate alimentaire et déposés à l'étuve à une température de 25°C ou 40°C pendant 4 ou 6 heures. (Figure 16.c et d)

Les étapes expérimentales de déshydrations osmotique des oranges sont illustrées par les photographies de la figure 16 :

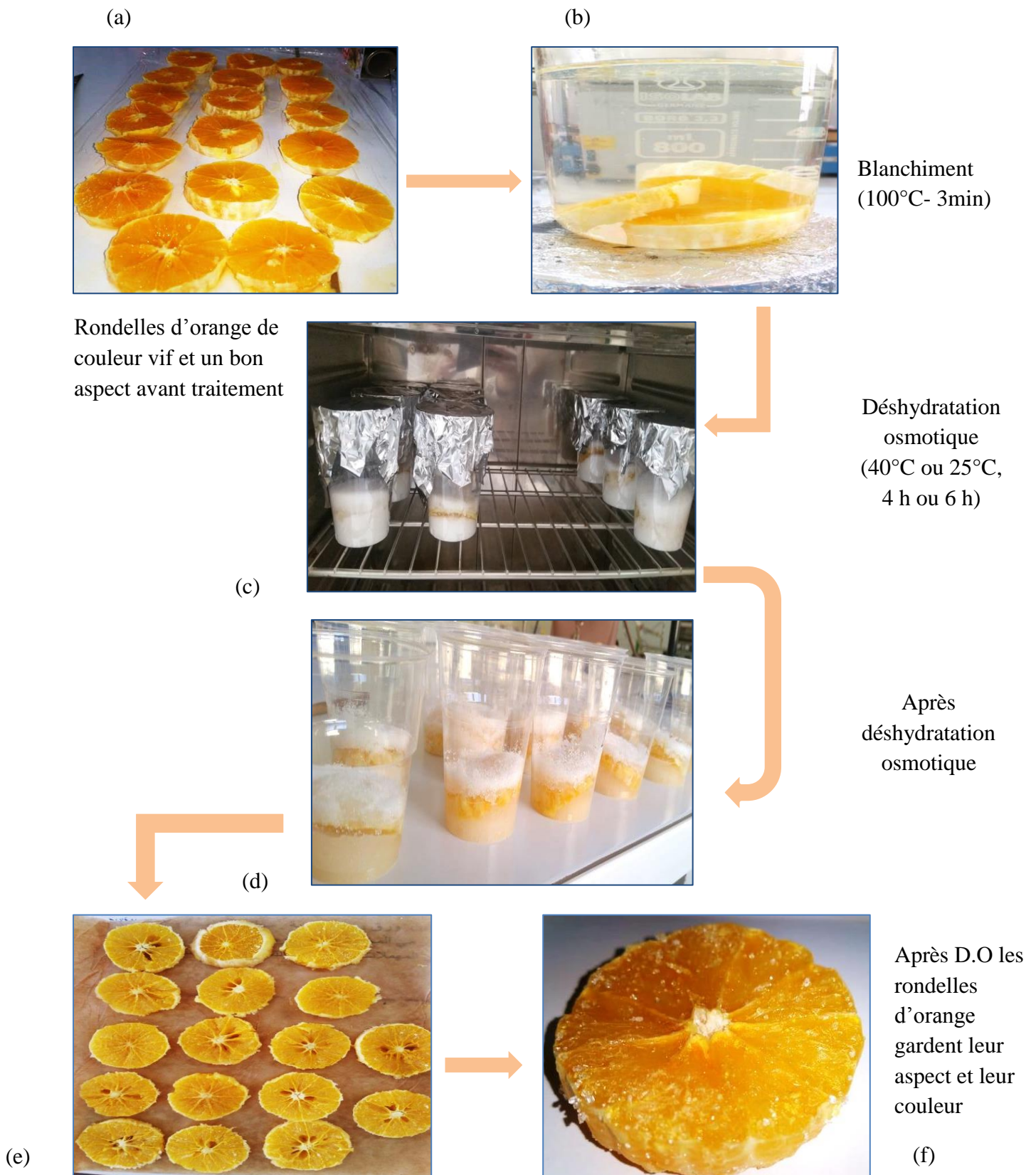


Figure 16. Photographie montrent les différentes étapes expérimentales de la déshydratation osmotique des rondelles d'oranges (a, b, c, d et e) et une rondelle d'orange osmodéshydratée (f).

Les rondelles d'orange osmodéshydratées ont subies ensuite un séchage complémentaire dans l'étuve à 40°C ou à 60°C pendant 15 ou 20 heures.

Le séchage est assuré par l'air chaud qui traverse parallèlement les couches du produit. La chaleur est transférée au produit par convection tandis que l'élimination d'eau se fait par entraînement à l'air sec qui entre par le bas du four et en ressort par le haut chargé d'humidité (Kaméni *et al.*, 2007).

Les étapes de séchage des oranges sont illustrées par les photographies de la figure 17 :

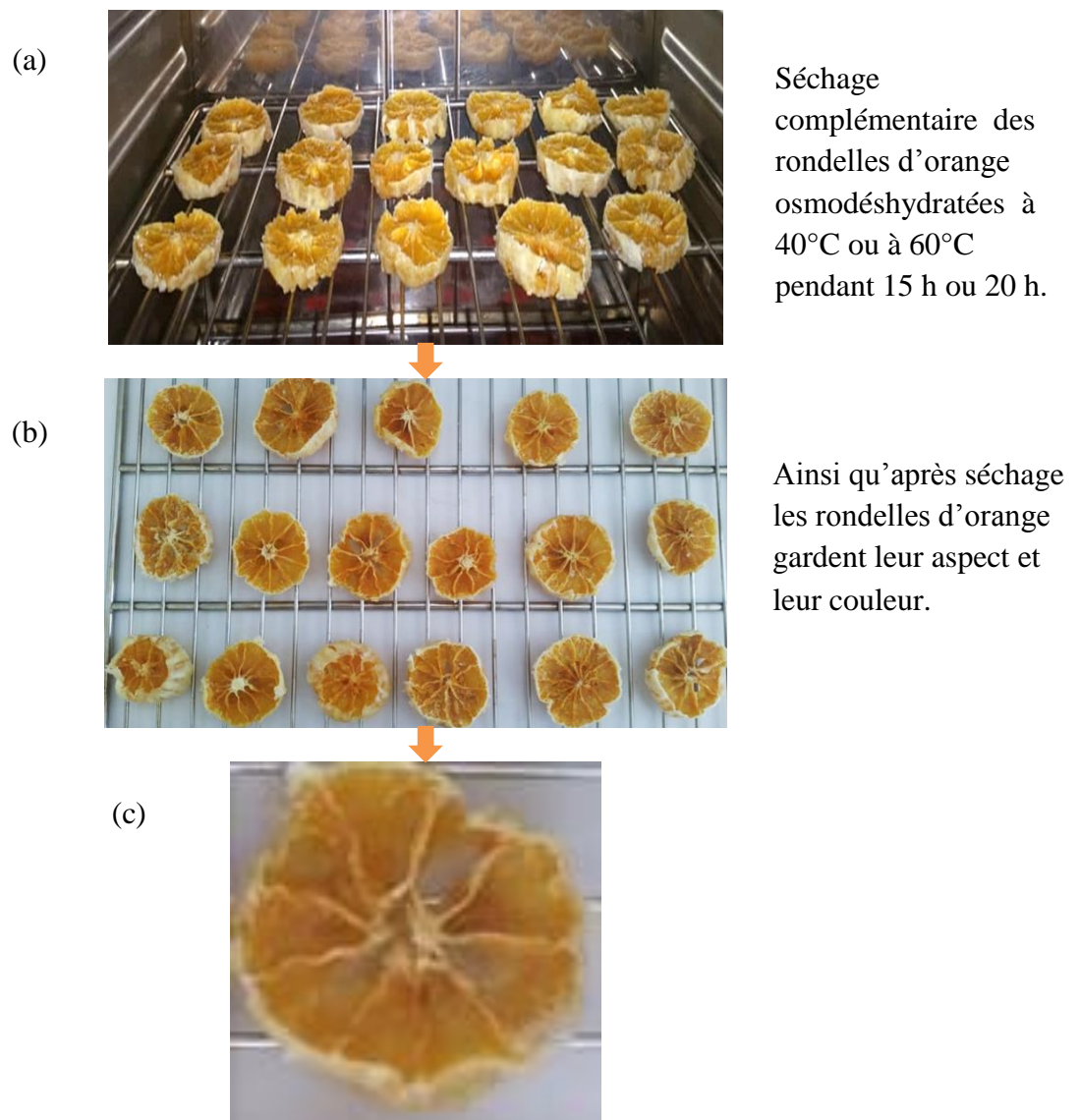


Figure 17. Photographie montrent les étapes de séchage complémentaire des rondelles d'oranges osmodéshydratées (a) et du produit fini (b et c).

2.1 - Résultats de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire

2.1.1 – Résultats selon le plan d'expérience complet

Afin de déterminer les conditions opératoires permettant d'obtenir l'évolution de perte en poids au cours de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire, le tableau 8 indique les expériences du plan complet ($2^k = 2^6$) et les résultats des effets des facteurs des variations.

Les trente-six essais réalisés pour l'ensemble des six facteurs de variation parallèlement fixés sont : (Le blanchiment, La durée de déshydratation osmotique, La température de déshydratation osmotique, La quantité de sucre, La température du séchage, La durée du séchage).

Tableau 8. Réponse des différents facteurs de variation sur la déshydratation osmotique et séchage des rondelles d'oranges obtenus selon un plan d'expérience complet.

Numéro d'essais	Blanchiment	Durée DO	T°C DO	Quantité du sucre	T°C Séchage	Durée / Séchage	Réduction de Poids ¹ après DO(%)	Réduction de Poids ² après séchage(%)	SOMME (RP ¹ + RP ²)(%)
1	1	-1	1	-1	-1	-1	13,85	16,72	30,57
2	1	1	-1	1	-1	-1	12,02	16,34	28,36
3	-1	1	1	-1	1	-1	15,29	57,72	73,01
4	1	-1	1	1	-1	1	15,51	19,5	35,01
5	1	1	-1	1	1	-1	19,92	53,86	73,78
6	1	1	1	-1	1	1	47,69	26,64	74,33
7	-1	1	1	1	-1	1	15,2	13,13	28,33
8	-1	-1	1	1	1	-1	15,69	56,97	72,66
9	-1	-1	-1	1	1	1	9,87	64,33	74,2
10	1	-1	-1	-1	1	1	22,41	56,49	78,9
11	-1	1	-1	-1	-1	1	12,61	15,68	28,29
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	10,57	16,33	26,9
13	1	-1	1	-1	-1	-1	13,13	16,92	30,05
14	1	1	-1	1	-1	-1	14,43	15,91	30,34
15	-1	1	1	-1	1	-1	13,7	52,38	66,08
16	1	-1	1	1	-1	1	9,84	19,46	29,3
17	1	1	-1	1	1	-1	17,9	52,64	70,54
18	1	1	1	-1	1	1	45,59	32,58	78,17
19	-1	1	1	1	-1	1	14,54	22,86	37,4
20	-1	-1	1	1	1	-1	15,98	56,25	72,23
21	-1	-1	-1	1	1	1	8,1	67,13	75,23
22	1	-1	-1	-1	1	1	17,04	61,07	78,11
23	-1	1	-1	-1	-1	1	15,12	18,25	33,37
24	-1	-1	-1	-1	-1	-1	16,92	18,12	35,04
25	1	-1	1	-1	-1	-1	17,07	21,84	38,91
26	1	1	-1	1	-1	-1	15,94	17,79	33,73
27	-1	1	1	-1	1	-1	13,67	51,81	65,48
28	1	-1	1	1	-1	1	12,9	21,5	34,4
29	1	1	-1	1	1	-1	27,07	44,84	71,91
30	1	1	1	-1	1	1	43,05	36	79,05
31	-1	1	1	1	-1	1	18,11	5,94	24,05
32	-1	-1	1	1	1	-1	23,07	41,39	64,46
33	-1	-1	-1	1	1	1	12,99	52,34	65,33
34	1	-1	-1	-1	1	1	3,92	67,88	71,8
35	-1	1	-1	-1	-1	1	11,1	18,59	29,69
36	-1	-1	-1	-1	-1	-1	17,72	22,05	39,77

Tableau 9. ANOVA.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	15047,6	2507,9	140,54	0,000
Linear	6	15047,6	2507,9	140,54	0,000
Blanchiment	1	86,2	86,2	4,83	0,036
Durée DO	1	20,2	20,2	1,13	0,296
T°C DO	1	3,8	3,8	0,22	0,646
Quantité du sucre	1	36,6	36,6	2,05	0,163
T°C Séchage	1	14873,8	14873,8	833,53	0,00
Durée / Séchage	1	26,9	26,9	1,51	0,229
Error	29	517,5	17,8		
Lack-of-Fit	5	56,9	11,4	0,59	0,705
Pure Error	24	460,5	19,2		
Total	35	15565,0			

D'après le tableau 9. Nous remarquons que la perte en poids des rondelles d'orange a été significativement variable avec le facteur de blanchiment ($F^{1, 35}=4,83$; $P=0.036$) et de même pour la température du séchage ($F^{1, 35}=833.53$; $P \leq 0$).

Nous remarquons ici que seul deux facteur de variation ont un effet significatif sur la perte en poids au cours de déshydratation osmotique et du séchage complémentaire.

2.2 – Evaluation de la déshydratation osmotique des rondelles d'oranges

Afin d'étudier l'effet de déshydratation osmotique sur la perte en poids, en comparant les résultats obtenus selon le plan d'expériences complet, nous constatons que :

Au cours de déshydratation osmotiques les plus grandes valeurs de la perte en poids ont été enregistrées pour les expériences numéro 30 et 6 qui ont les mêmes conditions expérimentales.

La perte en poids des rondelles d'oranges blanchi et osmodéshydratées à 40°C pendant 6 h montrée une perte de poids a l'on jusqu'à 43,05 et 47,69% du poids initiale des rondelles d'oranges. Comparativement aux résultats des expériences numéro 34 et 21, sans blanchiment et osmodéshydratées à 25°C pendant 4 h, la perte en poids n'atteint que 3,92 % et 8,10 % du poids initial des échantillons (figure 18).

A l'issus de ces résultats, nous constatons que la perte en poids augment avec l'augmentation de température et la durée de la déshydrations osmotique. Ces résultats sont en

accord avec ceux rapportés par [Paradkar et Sahu \(2018\)](#). Ayant travaillé sur la déshydratation osmotiques des pommes.

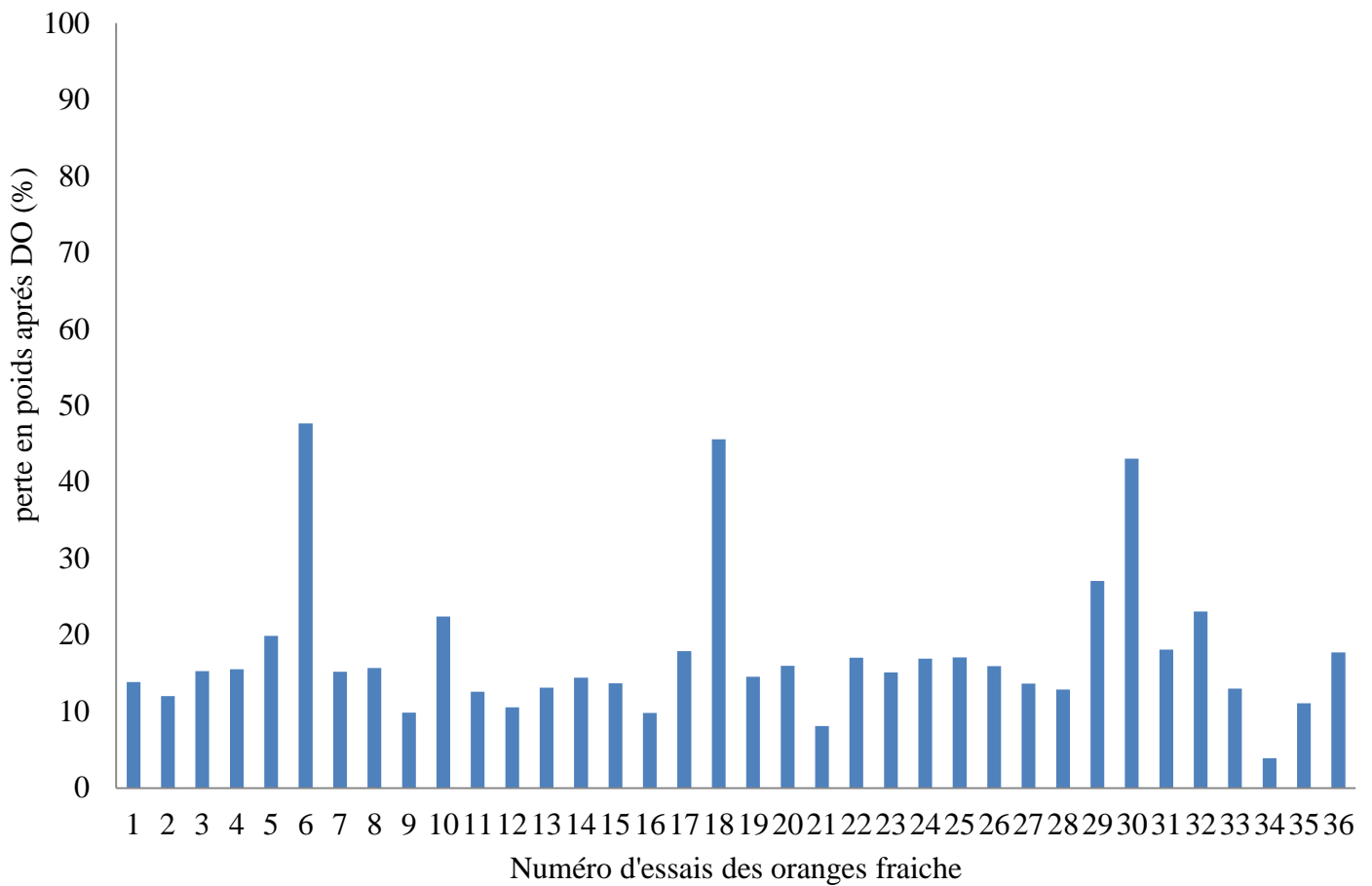


Figure 18. Perte en poids des rondelles d'oranges par déshydratation osmotique.

2.2.1 – Effet de blanchiment sur la cinétique de déshydrations osmotique

L'influence du blanchiment sur la perte en poids au cours de la déshydratation osmotique est présentée dans la figure 19.

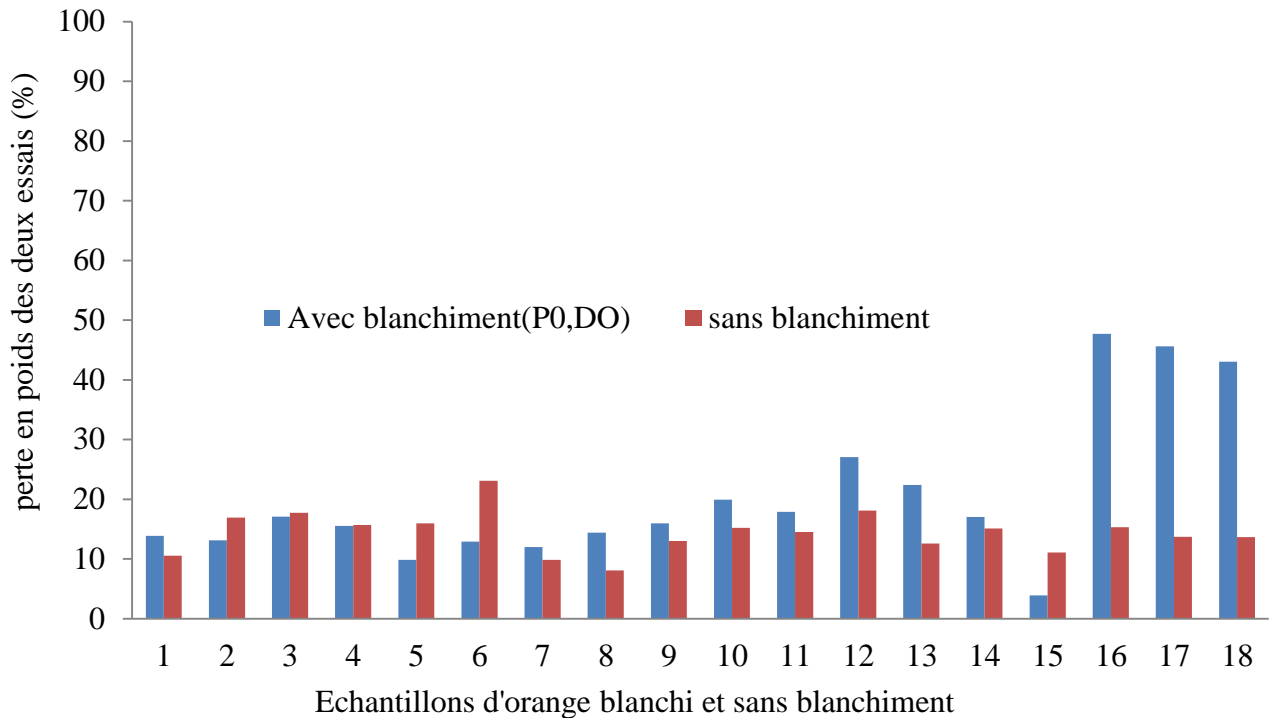


Figure 19. Effet du blanchiment sur la perte en poids dans la déshydratation osmotique.

En comparant les résultats des échantillons qui sont prétraités par blanchiment avant la déshydratation osmotique avec les échantillons qui ne sont pas blanchis, nous constatons que :

Les échantillons qui subissent un prétraitement de blanchiment perdent beaucoup de poids par rapport aux autres échantillons sans blanchiment.

Pour l’histogramme numéro 16 qui est représenté par :

- L’essai numéro 3 : sans blanchiment et osmodéshydratées à 40°C pendant 6 h.
- L’essai numéro 6 : blanchi et osmodéshydratées à 40°C pendant 6 h.

Nous remarquons que pour la même température et la même durée de déshydratation osmotique, l’essai numéro 6 perd 47,69 % de son poids initial, tandis que l’essai numéro 3 ne permet de perdre que 15,29% du poids initial. Ceci confirme que le blanchiment a un effet significatif sur la perte en poids au cours de la déshydratation osmotique. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par Ferradji *et al.* (2017) qui ont porté sur la déshydratation osmotique des carottes.

2.3- Perte de poids après séchage complémentaire

Afin de déterminer l’influence du séchage complémentaire sur la perte en poids, des échantillons d’orange osmodéshydratées, nous avons mesuré la différence de poids entre le

poids initial et enfin d'opération du séchage. Les résultats obtenus sont représentés par les histogrammes de la figure 20.

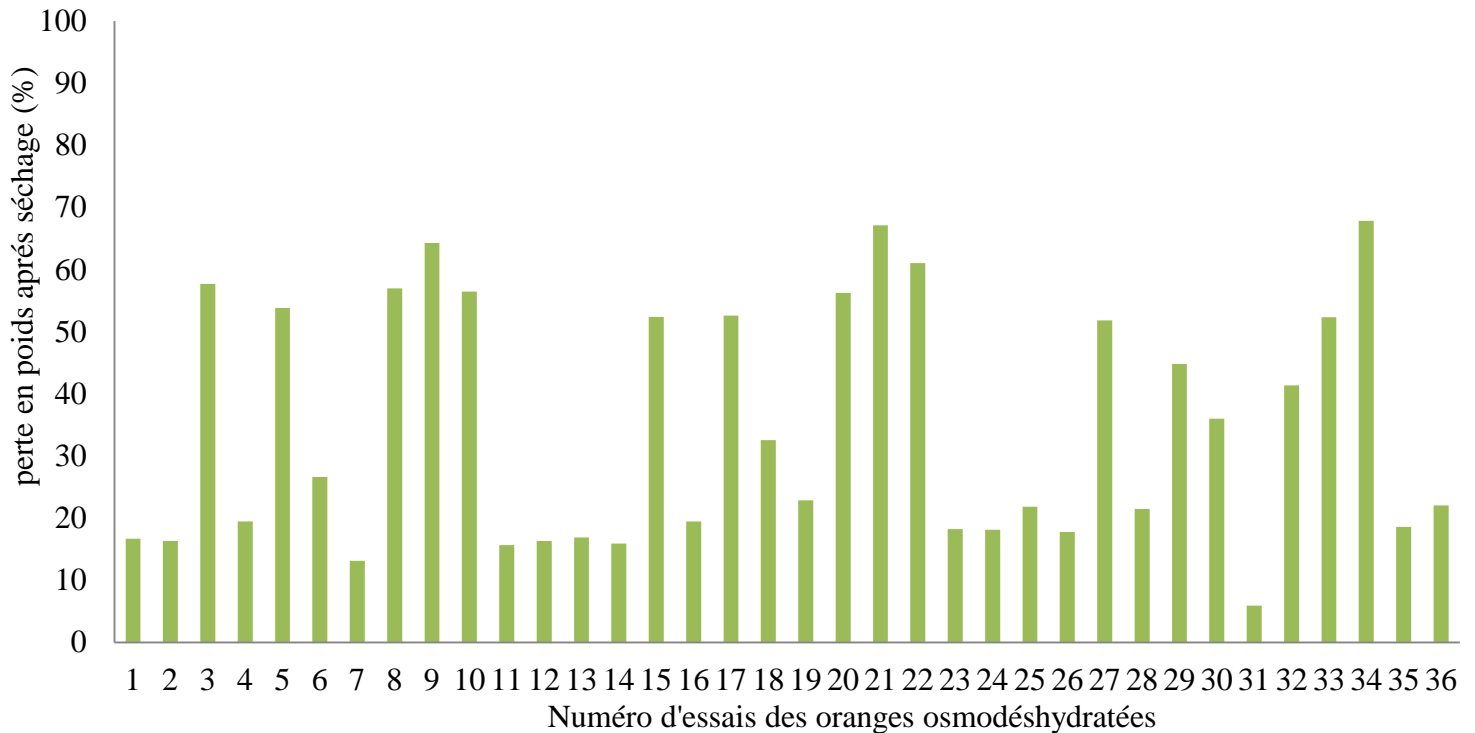


Figure 20. Perte en poids des rondelles d'orange osmodéshydratées après séchage complémentaire.

D'après ces résultats, nous remarquons que les rondelles d'oranges perdant beaucoup de poids dans les expériences numéro 21 et 34 qui subissant un séchage complémentaire à 60°C pendant 20 h. Dans ces conditions, la perte de poids atteint respectivement 67,12% et 67,88%. Comparativement avec les expériences numéro 31 et 7 (séchage à 40°C pendant 20 h), les résultats obtenus sont de 5,93% et 13,12% respectivement.

Il est à noter que cette différence de réduction du poids entre les expériences à 60°C et les expériences à 40°C peut être expliquée par l'augmentation de la température du séchage. Les mêmes conditions ont été tirées par [Mouawad et Bassal \(2003\)](#) et qui ont montré le Rôle de la température dans l'augmentation de la vitesse de séchage.

2.3.1 - Effet de la température du séchage sur la perte de poids

L'influence de la température du séchage sur la perte en poids des rondelles d'oranges est présentée par la figure 21.

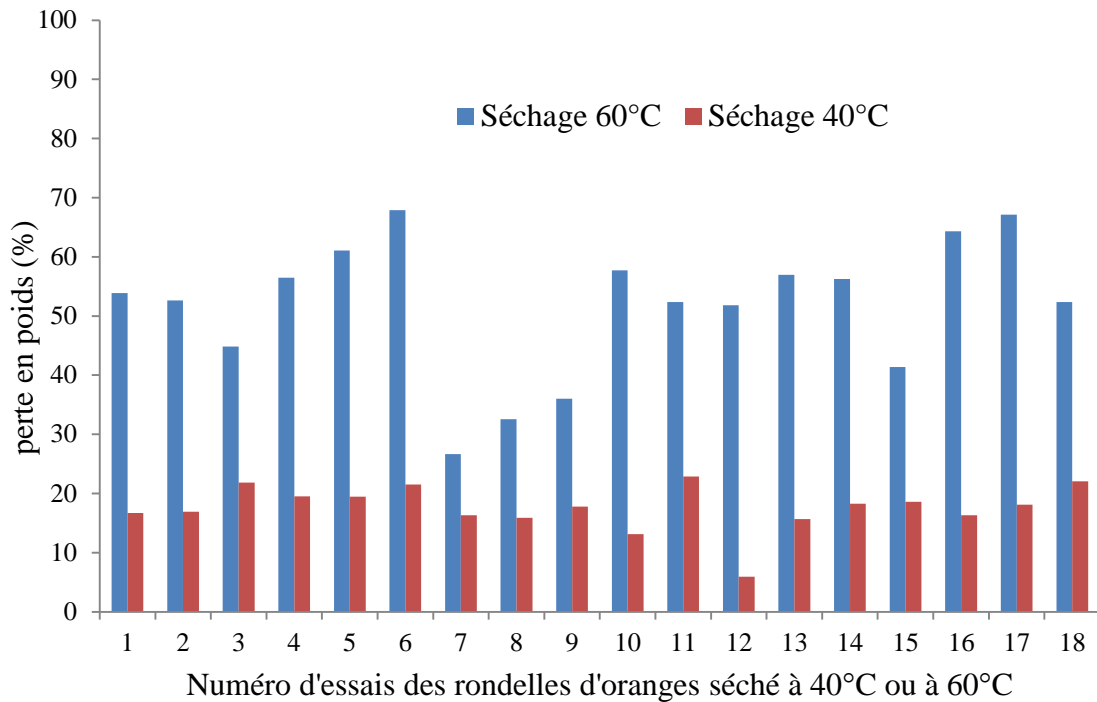


Figure 21. Influence de la température du séchage sur la perte en poids.

D'après ces résultats, nous remarquons un décalage entre les histogrammes des échantillons séchés à 40°C et les histogrammes des échantillons séché à 60°C, et que la réduction de poids des rondelles d'oranges est plus élevée pour les rondelles séché à 60°C que celles séchées à 40°C.

D'une manière générale, l'augmentation de de la température du traitement des fruits accélère l'évolution des paramètres du procédé de réduction de poids [Nono et al. \(2001\)](#). La faible valeur trouvée à 40°C confirme encore une fois que le séchage est meilleur à 60°C.

Ces résultats sont proches de ceux trouvés par [Mouawad et Bassal \(2003\)](#) sur la préparation des fruits semi confits à base d'orange. Ils sont montrés que la température élevée permet une accélération de la perte en poids.

3 - Combinaison de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire

Les résultats de la combinaison de la déshydratation osmotique et du séchage complémentaire des rondelles d'orange sont représentés par les histogrammes de la figure 22.

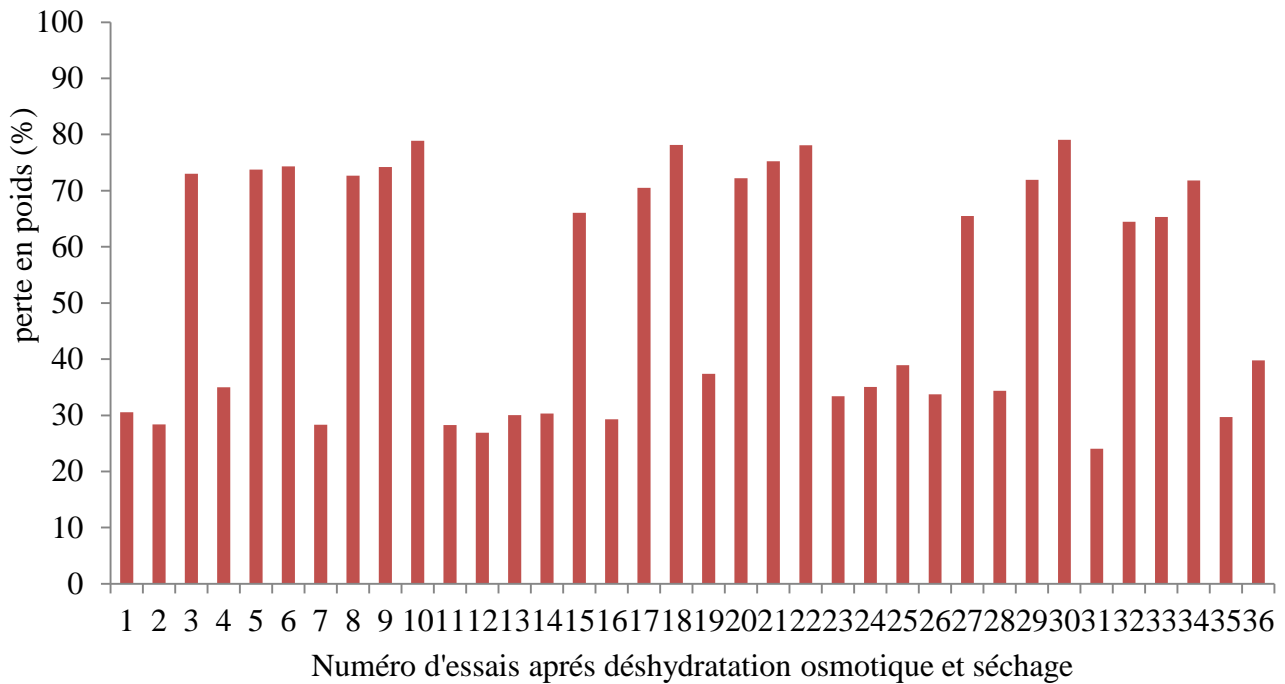


Figure 22. Résultats de la perte en poids obtenu par déshydratation osmotique et séchage complémentaire des rondelles d'orange.

D'après ces résultats, il ressort que la plus grande valeur de perte en poids est enregistrée pour l'essai numéro 30 avec 79.05 %. Et plus précisément lorsque les rondelles d'oranges subissent un prétraitement de blanchiment et une température de déshydratation osmotique à 40°C pendant 6 heures combinées à un séchage complémentaire à 60°C pendant 20 heures.

Ces résultats sont en accord avec ceux donnés par [Ferredji et al. \(2001\)](#) qui ont rapportés l'accélération du processus de déshydratation osmotique et du séchage des carottes.

4 - Optimisation par méthodologie de surface de réponse de l'effet des variables indépendants sur la perte en poids

4.1 – Diagramme de Pareto

Le diagramme de pareto permet de fixer une limite entre les facteurs influents et non influents [Ferredji et al. \(2017\)](#). Pour notre étude, la limite est fixée à $P=2,05$ (figure 23) et qui correspond à l'analyse de la probabilité de chaque facteur. Cette analyse révèle que le blanchiment et la température de séchage ont un effet significatif sur la perte en poids des rondelles d'oranges.

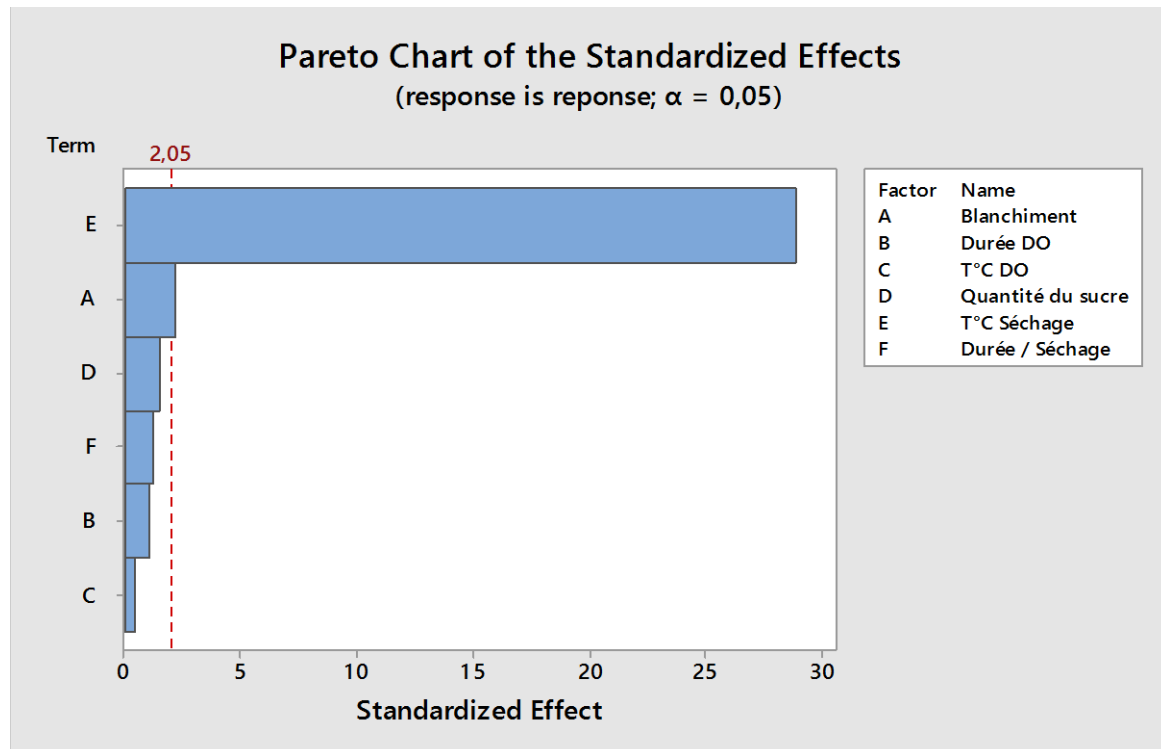


Figure 23. Probabilité de l'effet de chaque facteur de variation sur la perte en poids donnée selon le diagramme de Pareto.

D'après ces données, nous remarquons que seul deux facteur de variation (température du séchage et blanchiment) ont un effet significatif sur la perte de poids des rondelles d'oranges osmodéshydratées. Cependant, les quatre autres facteurs étudiés ont montré un effet non significatif. Ces résultats sont confirmés par ceux trouvés par [Ferredji et al. \(2001\)](#), ayant rapportés l'effet significatif de la température du séchage et du blanchiment sur le séchage des fruits.

5 – Résultats de la valorisation des écorces d'orange

Les étapes de valorisation des écorces d'orange sont illustrées par les photographies de la figure 24.

Les écorces d'orange sont blanchies à 100°C pendant 1 min (figure 24.a), puis refroidies par trempage dans l'eau froide et déposées dans l'étuve réglée à 60°C pendant 9 h (figure 24.b).

Les écorces séchées (figure 24.c) sont par la suite broyées et tamisées pour obtenir une poudre fine (figure 24.d).

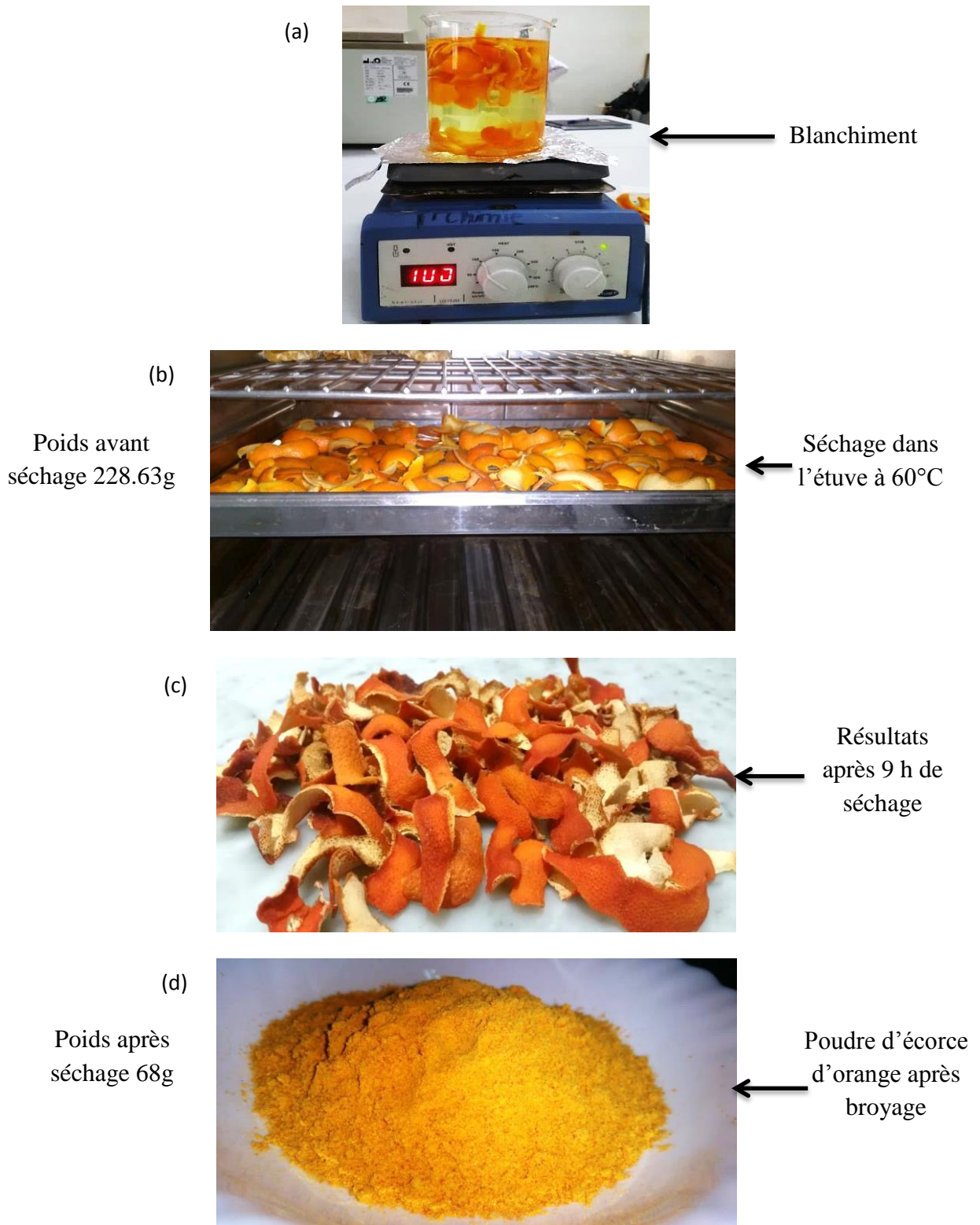


Figure 24. Valorisation de l'écorce d'orange.

6 – Résultats des analyses microbiologiques

Le premier objectif du contrôle microbiologique est d'assurer une bonne sécurité hygiénique et une bonne qualité marchande du produit fabriqué, cette qualité dépend

essentiellement des microorganismes. Le second objectif du contrôle microbiologique est de favoriser un bon rendement en permettant de minimiser les pertes dues aux mauvaises conditions de fabrication et d'avoir le moins possible de produits non conformes.

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur les oranges séchées sont représentés comme suit :

6.1– Coliformes totaux et coliformes fécaux

L'analyse des coliformes totaux et des coliformes fécaux effectués sur les rondelles d'orange osmodéshydratées puis séchées nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

6.1.1 – Coliformes totaux

La charge microbienne des coliformes totaux obtenu pour les oranges osmodéshydratées et séché est de l'ordre de 43 UFC/g.

D'après la figure ci-dessous, nous remarquons la présence des coliformes totaux dans les échantillons d'orange séchées. Le dénombrement des coliformes totaux sur le milieu VRBL a permis d'avoir des colonies caractéristiques qui sont représentées dans la figure 25. Les colonies dénombrées sont violettes de forme ronde ou fusiforme et d'un diamètre varient de 0,5 à 1mm.

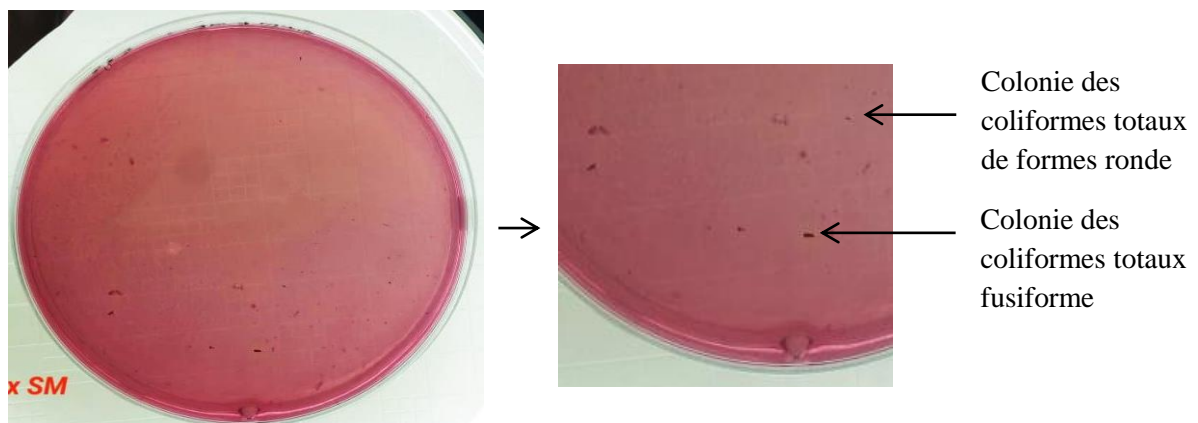


Figure 25. Colonie de coliformes totaux isolées sur milieu sélectif VRBL à partir d'un échantillon d'orange osmodéshydratées et séché. La photographie a été prise après 48 h d'incubation à 30°C.

6.1.2 - Coliformes fécaux

Les résultats du dénombrement des coliformes fécaux pour les oranges osmodéshydratées et séchées est de l'ordre de 35 UFC/g.

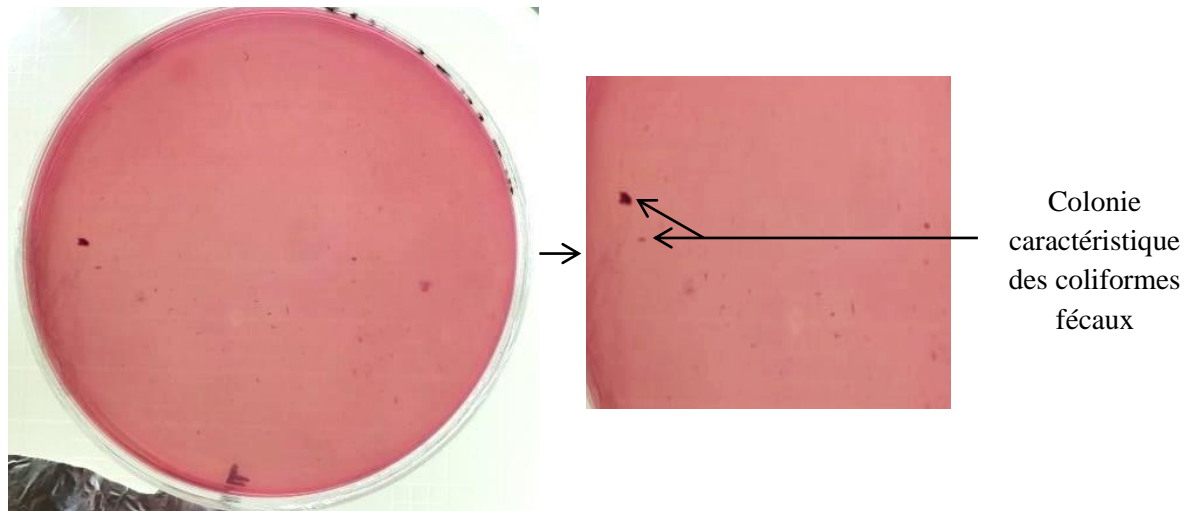


Figure 26. Colonie de coliformes fécaux isolées sur milieu sélectif VRBL à partir d'un échantillon d'orange osmodéshydratées et séché. La photographie a été prise après 24 h d'incubation à 44 °C.

D'après la figure 26, nous remarquons la présence des coliformes fécaux dans les échantillons d'orange osmodéshydratés et séchés. Les colonies dénombrées dans le milieu VRBL sont caractérisées par une couleur violette ou rouge foncée.

Il est à noter que la contamination par les coliformes totaux et coliformes fécaux n'est pas mentionnée parmi les normes du journal officiel de la république algérienne N° 39, 2017. A cet effet, nos résultats ont fait l'objet d'une comparaison avec des résultats d'autres travaux similaires. Des résultats donnés par Taouda *et al.* (2011), représentant les valeurs moyennes des germes dénombrés pour différents fruits secs sont comparés avec nos résultats.

Globalement, nos résultats sont légèrement plus élevés que ceux de Taouda *et al.* (2011) qui ont rapportés des résultats négatifs. La présence de ces germes ne correspond pas avec les résultats de la FAMT et les résultats de levures et moisissures (résultats ci-dessous). Ceci peut être expliqué par une contamination au cours de la manipulation ou durant l'incubation des boîtes.

6.2 – Flore aérobie mésophile totale

L'analyse microbiologique des échantillons a montré une absence totale de la flore aérobie mésophile totale dans la gélose nutritive après incubation à 30°C comme il est indiqué par la photographie de la figure 27.

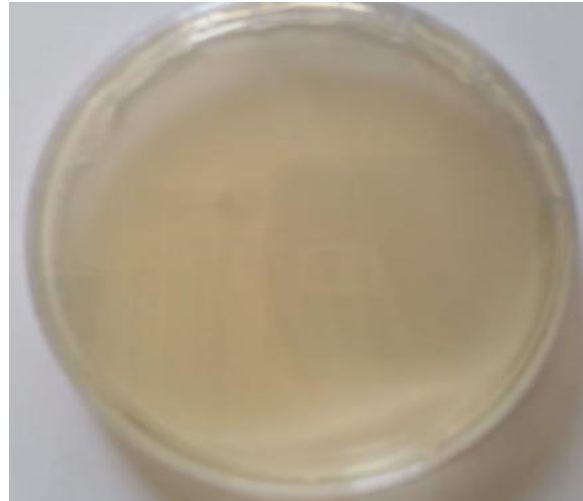


Figure 27. Gélose nutritive en boîte de Pétri, montrent l'absence de la FAMT. La photographie a été prise après 72 h d'incubation à 30°C.

Cette absence peut être expliquée par l'effet des traitements de la déshydratation osmotique et de séchage qui ont été effectués sur les rondelles d'oranges.

Des résultats similaires, donnés par [Taouda et al, \(2011\)](#), représentant les valeurs moyennes des germes dénombrés pour différents fruits secs sont comparés avec nos résultats (Tableau 10).

Tableau 10. Comparaison entre les valeurs moyennes de la FAMT d'orange séchés avec d'autres fruits secs.

Fruits secs	FAMT
Abricot secs	$4,10^2$
Bananes sèches	$1,17.10^2$
Figue sèches	$6,21.10^2$
Fruits confit	$1,10^2$
Pruneaux	$2,50.10^2$
Raisin secs	$6,53.10^2$
Oranges séchés	0

Nos résultats sont nettement différents de ceux de [Taouda et al. \(2011\)](#) qui ont rapporté que la charge moyenne de la flore aérobie mésophile totale dans les différents échantillons est de l'ordre de $6,53.10^2$ pour le raisin sec et $4,10.10^2$ pour les abricots secs. Cette différence peut être expliquée par l'effet de la déshydratation osmotique dont notre processus de séchage où nous avons effectué une déshydratation osmotique par pression ionique élevée en utilisant

le saccharose, ce qui a permis d'inhiber la flore aérobie mésophile totale. En comparaison avec les résultats de [Taouda et al. \(2011\)](#). Les valeurs relativement élevées de la flore aérobie mésophile totale peuvent être expliquées par l'absence de déshydratation osmotique ou par contamination poste séchage.

6.3 – Levures et moisissures

Pour la recherche et le dénombrement des levures et moisissures, les résultats obtenus montrent une absence totale comme il est indiqué par la figure 28.

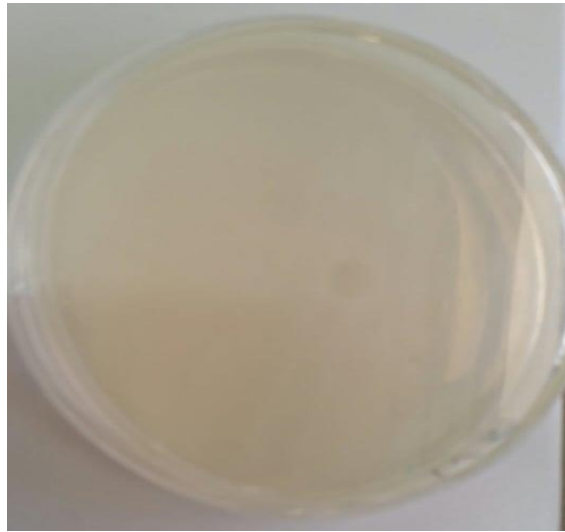


Figure 28. Gélose Sabouraud en boîte de Pétri montrant l'absence des levures et moisissures.

La photographie a été prise après 5 jours d'incubation à 25 °C.

Ces résultats peuvent expliquer l'efficacité des différents traitements de transformation dont la déshydratation osmotique et le séchage complémentaire effectués sur les rondelles d'orange qui inhibe la croissance de la majorité de ces germes.

En récapitulatif, les résultats microbiologiques obtenus pour la totalité des échantillons d'orange analysés sont conformes aux normes décrites dans [le journal officiel de la république algérienne N° 39, 2017](#).

6.4 – Qualité microbiologique de poudre des écorces d'orange :

L'analyse microbiologique des écorces d'orange a montré une absence totale des coliformes totaux et coliformes fécaux, la flore aérobie mésophile totale et levures et moisissures. Ces résultats montrent que la poudre des écorces d'orange a une qualité microbiologique satisfaisante.

Conclusion

Conclusion

D'après les résultats de notre étude, les analyses biochimiques des rondelles d'orange fraîche et les rondelles d'orange osmodéshydratées et séché montrant une taux d'humidité de 88% ; une acidité titrable de 2,56 g ; un taux des sucres réducteurs de 2,96 g/l et un taux des cendre de 2.65% pour les oranges fraîches et une taux d'humidité de 10% ; une acidité titrable de 2,24 g ; un taux des sucres réducteurs de 3,56 g/l et un taux des cendre de 1.16% pour les oranges osmodéshydratées et séché.

Nous avons étudié une déshydratation osmotique et un séchage complémentaire des rondelles d'orange où six facteurs de de variation (blanchiment, quantité de sucre, température de déshydratation osmotique, durée de déshydratation osmotique, durée du séchage et température du séchage) ont été étudiées en utilisant la méthodologie de surface de réponse pour déterminer les conditions optimales et obtenir un rendement maximale de perte en poids.

Les résultats montrent que le blanchiment à 100°C pendant 3 min et le séchage à 60°C ont un effet significatif sur la perte en poids des rondelles d'orange. Dans ces conditions, le pourcentage de la perte en poids est de 79,05%. Cependant, les quatre autres facteurs ont montré un effet non significatif sur la perte en poids.

L'étude microbiologique de produits fini a montré que les rondelles d'orange osmodéshydratées et séchées ont une qualité microbiologique satisfaisante. Ces résultats peuvent expliquer l'efficacité des différents traitements de transformation dont la déshydratation osmotique et le séchage complémentaire effectués sur les rondelles d'oranges.

Pour que ce travail de laboratoire concernant la conservation d'orange par déshydratation osmotique et séchage complémentaire soit clos et que l'on puisse passer à son extrapolation à l'échelle industrielle, il est envisageable :

- d'exploitées les résultats obtenus à l'échelle laboratoire dans l'échelle industrielle ;
- il serait intéressant d'élaborer des normes microbiologiques propres aux fruits secs pour assurer leur innocuité microbiologique ;
- La réalisation d'une étude du marché et du coût économique global du produit fini.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 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. *Journal of Food Engineering*, 60 : 89-98.
- Afilal M. E., Elasri O., et Merzak Z., 2014. Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas). *Journal Mater Environment*, 5(4), 1160-1169.
- AFNOR., 1986. produits dérivés des fruits et légumes. 2ème Ed, France.
- Albagnac P.G., Varoquaux J. et Montigaud C.I., 2002. Technologies de transformation des fruits. Lavoisier-Tec & Doc, Paris.
- Allali H., 2008. Production de confitures de fruits par déshydratation osmotique couplée au chauffage ohmique. Thèse de doctorat, Université de technologie compiègne, 251 p.
- Alzamora S.M., Cerrutti P., Guerrero S. et López-Malo A., 1995. Minimally processed fruits by combined methods. *Food preservation by moisture control: fundamentals and applications*, 463-492.
- Antoine S., 2013. Etude des mécanismes de l'acidification de la pulpe des agrumes en conditions d'assimilats contrastées. Thèse de doctorat, Université de corse-Pascal Paoli, 121p.
- AOAC : Association of official Analytical Chemists., 1984. Official methods of analyses. 14 th Ed. Washington DS.
- 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*, 15(1), 129-142.
- Belhachat D., Sabrine F., chaouche A. et Ferradji A., 2015. La conservation des carottes osmotiquement déshydratées Isothermes de sorption à 40 et 60 °C, 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage.
- Biton M., 2012. Les procédés de conservation des aliments. Nutrition professionnels de la santé, France.
- Boeckel T. P. V., Hounhouigan J. D. et Nout R., 2003. Les aliments: transformation, conservation et qualité. CTA.

- Bohuon P. et Raoult-Wack A.L., 2002. Procédé de déshydratation osmotique. Ed. Lavoisier, paris, 708 p.
- Bonazzi C. et Bimbenet J.J., 2003. Séchage des produits alimentaires Principes. Techniques de l'Ingénieur, 2(F3000), F3000-1.
- Boussalia A., 2010. Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Thèse de doctorat, Université de mentouri, constantine. 119 p.
- 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'). Journal of Food Engineering, 91 : 1- 9.
- Barthe C., 2006. Centre québécois d'inspection des aliments et de santé animale, Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire. Agriculture, pêche et alimentation, Direction du laboratoire d'expertises et d'analyses alimentaires. Gouvernement du Québec, canada, 58 p.
- Changrue V., 2006. Hybrid (osmotic, microwave-vacuum) drying of strawberries and carrots. Thèse de doctorat, McGill University, Quebec canada.
- Cuq J-L., Guiraud J. et Navarro J-M., 1992. Microbiologie alimentaire. 1267-1330. *in* Dupin H., Alimentation et nutrition humaines. Ed. Esf, paris, 1533 P.
- 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., 9 : 542-549.
- Desjardins R., 1997. Le traitement des eaux. Presses inter Polytechnique, canada, 304 p.
- Doymaz I., 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of food engineering, 61(3), 359-364.
- Dudez P., Thémelin A. et Reynes, M., 1996. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés. Ed. Gret.
- Ernould A., 2008. les vertus de l'oranger amer et l'oranger doux, Thèse pour diplôme d'états de docteur en pharmacie, Université de Nantes Faculté de Pharmacie.
- Essahli E.M., Handaji N., Brhadda N., Gmira N., Aarsalane N., Label K., Aderdour T. et Benyahya H., 2016. Study of the variation of the quality of the fruit of ten clones clementine (*Citrus clementina*) in the region of Gharb. International Journal of Innovation and Applied Studies, 15 (2), 319-328.

- Falade K., Igbeka J. et Ayanwuyi F., 2007. Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80 : 979-985.
- FAO., 2016. Citrus fruit - fresh and processed. *Statistical Bulletin*.
- Farnworth E.R., Lagace M., Couture R., Yaylayan V et Stewart B. 2001. Thermal processing, storage conditions and the composition and physical properties of orange juice. *Food Research International*, 34(1): 25-30.
- Ferradji A. et Malek A., 2005. Isothermes d'Adsorption des Abricots Secs à 25 °C et 45 °C. *Revue des Energies Renouvelables*, 8 : 39-48.
- Ferradji A., Aït Chaouche R.S., Belhachat D. et Malek A., 2017. Optimisation de la déshydratation osmotique des tranches de carottes dans une solution de saccharose concentrée en utilisant la Méthodologie des Surfaces de Réponse. *Revue des Energies Renouvelables*, 20 (4), 581 – 590.
- Ferradji A., Malek A., Bedoud M., Baziz R. et Aoua S.A., 2001. Séchoir solaire à convection forcée pour le séchage des fruits en Algérie. *Revue des Énergies Renouvelables*, 4 : 49-59.
- Fito P., 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22 : 313-328.
- Flourey J., Le Bail A. et Pham Q.T., 2008. A three-dimensional numerical simulation of the osmotic dehydration of mango and effect of freezing on the mass transfer rates. *Journal of Food Engineering*, 85 : 1-11.
- Forni E., Sormani A., Scalise S. et Torreggiani D., 1997. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Res. Int.*, 30 : 87-94.
- Garcia-Segovia P., Moggetti C., André-Bello A. et Martinez-Monzo J., 2010. Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloea barbadensis* Miller). *Journal of Food Engineering*, 97 : 154-160.
- <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/regne-vegetal/fruits/fruit-charnu-agrume.php>
- Mendil et al., 2011. Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne. La culture des agrumes. Tessala el Merdja- Birtouta- Alger. 20 p.
- Jacquemond C., Curk F. et Heuzet M., 2013. Les clémentines et autres petits agrumes. Ed. Quae, France, 368 p.

- Jaquemond C., Agostini D. et Cur K., 2009. Des agrumes pour l'Algérie, Bureau d'ingénierie en horticulture et agro-industrie, p 4.
- Jiokap Nono Y., Nuadje G.B., Raoult-Wack A.L. et Giroux F., 2001. Comportement de certains fruits tropicaux traités par déshydratation imprégnation par immersion dans une solution de saccharose. *Sciences All rights reserved*, 56(2), 75–83.
- Journal officiel de la république algérienne N° 39, 2017.
- Kahn J. et Tonello C., 1999. Les hautes pressions en agro-alimentaire. *Bulletin de l'académie vétérinaire de France*, 72 : 157-162.
- Kaméni A., Mbofung C.M., Ngnamtam Z., Doassem J. et Hamadou L., 2003. Aptitude au séchage de quelques variétés de mangue cultivées au Cameroun : Amélie, Zill, Irwin et Horé Wandou. *Actes du colloque, Garoua, Cameroun*, 9 P.
- Kaya A., Aydın O. et Demirtaş C., 2007. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosystems Engineering*, 96(4), 517-524.
- Khan J. et Tonello C., 1999. Les hautes pressions en agro-alimentaire. *Bulletin de l'Académie vétérinaire de France*.
- Kowalska H., Lenart A. et Leszczyk D., 2008. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86 : 30-38.
- Krokida M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B. et Marinos-Kouris D., 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food engineering*, 59(4), 391-403.
- Lahbari M., 2015. Etude et simulation su séchage de l'abricot : application a quelques variétés de la région des aures. *Thèse de doctorat, Université de Batna 2*, 97 P.
- Lenart A., 1996. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technol*, 14 : 391- 413.
- Mahmoudi K., Handaji N., ArsalaneN., Ibriz M., Aderdour T., Label K., Ait El Aouad B. et Benyahya H., 2017. Preliminary selection of the orange cultivars using as female parents in diploids crosses and in triploidy program. *International Journal of Botany Studies*, 2(6), 232-240.
- Maltini E. et Torreggiani D., 1997. Déshydratation des produits alimentaires riches en sucre. *Département des Sciences Alimentaires, Université d'Udine, Italie*.
- Marchal L., Allali H. et Vorobiev E., 2005. Blanchiment de fraise par chauffage ohmique : incidence sur la cinétique de déshydratation-imprégnation par immersion. *Ed. Lavoisier. Paris*.

- Mathlouthi M., 1996. Les sucres et la durée de vie des produits à base de fruits. Laboratoire de Chimie Physique Industrielle, UMR URCA/INRA. Université de Reims Champagne-Ardenne
- 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. *Journal of Food Engineering*, 63 : 47-56.
- Michel D., 2001. Confitures et confisage: aspects historiques. *Industries alimentaires et agricoles*, 118(7), 81-83.
- Mouawad C. et Bassal A., 2003. Contribution à la préparation des fruits semi confits à base d'orange. *Annales de recherche scientifique*, 4 : 221-232.
- Mrad N.D., 2012. Etude cinétique et optimisation multicritères du couplage déshydratation imprégnation par immersion: séchage convectif de la poire, la pomme et l'abricot. Thèse de doctorat, ingénierie des aliments. AgroParisTech, 219 p.
- Mujumdar A.S., 2006. *Handbook of industrial drying*. 3rd ed. New York, USA: Taylor and Francis Group, LLC, 688-700.
- Nguyen T. H., 2015. Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Thèse de doctorat, université de Bretagne Sud. 242 p.
- Nunes C., 2008. Effect of candying on microstructure and texture of plums (*Prunus domestica* L.). *Lebensm. Wiss. Technol*, 41 : 1776-1783.
- Paradkar V. et Sahu G., 2018. Studies on Drying of Osmotically Dehydrated Apple Slices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 633-642.
- Piar G. et Lanoisellé J.L., 2000. Appertisation des denrées alimentaires. Congrès français de Thermique, Lyon.
- Raoult-Wack A.L., 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Food Sci. Technol*, 5 : 255-260.
- 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*, 37 : 43-47.
- Retsky K.L., Chen K., Zeind J et Frei B. 1999. Inhibition of copper-induced LDL oxidation by vitamin C is associated with decreased copper-binding to LDL and 2-oxo-histidine formation. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(1): 90-98.

- Rivier M., Méot J.M., Ferré T. et Briard M., 2009. Le séchage des mangues. Ed. Quae, 109 p.
- Sarubin-Fragakis A et Thomson C.2007. The health professional's guide to popular dietary supplements. American Dietetic Associati. 682 p.
- Seiiedlou S., Ghasemzadeh H.R., Hamdami N., Talati F. et Moghaddam M., 2010. Convective drying of apple: Mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 171-178.
- Simal S., 2001. Water and salt diffusion during cheese ripening: effect of the external and internal resistances to mass transfer. *Journal of Food engineering*, 48 : 269-275.
- Sirousazar M., Mohammadi-doust A. et Achachlouei B.F., 2009. Mathematical investigation of the effects of slicing on the osmotic dehydration of sphere and cylinder shaped fruits. *Czech J. Food Sci.*, 27 (2), 95–101.
- Swingle WT. et Reece PC., 1967. The botany of Citrus and its wild relatives. The citrus industry. Ed. Berckley, Etats-unis: University of California Press I, 190-430.
- Taiwo K.A., Angersbach A. et Knorr D., 2002. Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 52 :185-192.
- Tchango T., 1996. Qualité microbiologique des jus et nectars de fruits exotiques croissance et thermorésistance des levures d'altération. Thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de lille, 217 p.
- Teuscher E., Antor R. et Lobstein A., 2005. Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. tec & doc, paris, 77-82 p.
- Torreggiani D. et Bertolo G., 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing : chemical, physical and structural effects. *Journal of Food engineering*, 49 : 247-253.
- Touzi, A. et Merzaia-Blama A., 2008. La conservation des denrées agro-alimentaires par séchage dans les régions sahariennes. *Revue des Energies Renouvelables*, 8 : 267-272.
- Vial C., Guilbert S. et Cuq J., 1990. Osmotic dehydration of kiwi-fruits: influence of process variables on the colour and ascorbic acid content. *Sci. Aliments*, 11 : 63-84.
- Visavale G.L., 2012. Principles, classification and selection of solar dryers. *Solar drying: Fundamentals, Applications and Innovations*, Singapore. 50 p.
- Wang W.C. et Sastry S.K., 2000. Effects of thermal and electrothermal pretreatments on hot air drying rate of vegetable tissue. *Journal of Food engineering*, 23 : 299-319.

Annexe

Annexes

Composition des milieux de cultures utilisés lors de la manipulation

Milieu VRBL

- Extrait de levures.....3 g
- Peptone pancréatique de caséine.....7 g
- Désoxychlorate de sodium.....1,44 g
- Lactose.....10 g
- NaCl.....5 g
- Rouge neutre.....30 mg
- Cristale violet.....2 mg
- Gélose.....11 g
- Eau distillé.....1000 ml
- pH = 7,4

Milieu Sabouraud

- Peptone.....10 g
- Glucose massè.....20 g
- Agar-agar.....15 g
- Eau distillée (qsp).....1000 ml
- pH = 6,0

Gélose nutritive

- Extrait bœuf.....1,0 g/l
- Extrait de levure.....2,5 g/l
- Peptone.....5,0 g/l
- Chlorure de sodium.....5,0 g/l
- Agar.....15,0 g/l
- pH = 7,0

Titre : Confisage et qualité microbiologique des fruits secs : cas des oranges

Nom : BENTIRECHE Prénom : FETTOUM Encadreur : Mr. Goudjal Yacine

Résumé

L'objectif de notre étude porte sur la conservation des oranges par déshydratation osmotique et séchage complémentaire à l'aide d'une étuve réglés a différentes températures. Il vise également la caractérisation biochimique des oranges fraîches et des oranges osmodéshydratées puis séchées. La détermination des conditions optimales permettant le maximum de perte en poids au cours de déshydratation osmotique et du séchage des rondelles d'oranges dans le saccharose font également partie de nos objectifs. Les expériences ont été réalisées en utilisant le CCD (central composite design). Les variables indépendantes pour la déshydratation osmotique sont le blanchiment (avec – sans), la quantité de saccharose (double – triple), la température de déshydratation osmotique (25 – 40°C), la durée de déshydratation osmotique (4h - 6h). Pour le séchage, une température de 40 à 60°C et une durée de 15h à 20h ont été retenus. Le procédé de déshydratation osmotique et du séchage ont été optimisés pour la perte en poids. Les conditions optimales de déshydratation osmotique et du séchage des rondelles d'orange sont le blanchiment et la température du séchage. Dans ces conditions, le pourcentage de perte en poids est de 79,05%. La qualité microbiologique du produit fini, selon les résultats obtenus après les analyses microbiologiques ont permis de constater que les rondelles d'oranges osmodéshydratées et séchées sont conformes aux critères réglementaires et sont jugés de qualité microbiologique satisfaisante.

Mots clés : Orange, déshydratation osmotique, séchage, conservation, qualité microbiologique.

Abstract

The objective of our study is the oranges conservation by drying and osmotic deshydration in dryer oven set at différent températures. It is also the biochemical characterization of freche orange and orange osmodehydrated then dried. The determination of the optimal conditions for maximum weight reduction during osmotic dehydration and drying of orange slices in a sucrose are also part of our objectives. The experiments were conducted according to a Central Composite Design CCD. The independent process variables for osmotic dehydration process were bleaching (with – without), amount of sugar (double – triple), temperature of osmotic déshydratation (25 – 40°C), duration of treatment (4h- 6h). For drying, temperature of 40 to 60°C and duration of 15h to 20h. The optimal conditions for maximum weight reduction correspond to bleaching and temperature of drying in order to obtain wright reduction of 79.05%. The microbiological quality of our product, according to the results obtained after the microbiological analyzes, have shown that the osmodehydrated and dried orange slices comply with the regulatory criteria and are considered to be satisfactory microbiological quality.

Key words : Orange, osmotic deshydration, drying, conservation, microbiological quality.

المخلص:

الهدف من دراستنا هو حفظ البرتقال بواسطة الجفاف الأسموزي والتجفيف المكمل بواسطة فرن التجفيف في درجات حرارة مختلفة. ونهدف أيضاً إلى المميزات الكيميائية للبرتقال الطازج والبرتقال المجفف. إن تحديد الظروف المثلى لفقدان الوزن أثناء الجفاف الأسموزي وتجفيف حلقات البرتقال في السكروز هي أيضاً جزء من أهدافنا. تم إجراء التجارب باستخدام (التصميم المركب المركزي) المتغيرات المستقلة للتجفيف الجزئي الحلولي هي التبييض (مع - بدون) ، كمية السكروز (ضعف - ثلاثي) ، درجة حرارة للتجفيف الجزئي الحلولي (25 - 40 درجة حرارة مئوية) ، زمن التجفيف الجزئي الحلولي (4 ساعات - 6 ساعات). تم الاحتفاظ بدرجة حرارة تتراوح من 40 إلى 60 درجة حرارة مئوية ومدة تتراوح من 15 إلى 20 ساعة. تم تحسين عملية الجفاف الاسموزي والتجفيف لفقدان الوزن. الظروف المثلى للتجفيف الجزئي الحلولي والتجفيف المكمل شرائح البرتقال هي التبييض و درجة حرارة التجفيف. في هذه الحالة، فإن نسبة فقدان الوزن هي 79.05٪. أظهرت الجودة الميكروبيولوجية للمنتج النهائي ، وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها بعد التحليلات الميكروبيولوجية ، أن شرائح البرتقال المجففة جزئياً تمثل للمعايير التنظيمية ويُعتبر أنها ذات جودة ميكروبيولوجية مقبولة.

الكلمات المفتاحية: البرتقال ، الجفاف الاسموزي ، التجفيف ، الحفظ ، الجودة الميكروبيولوجية.