

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT : SCIENCE BIOLOGIQUE



**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Biologie

**Spécialité :** Qualité des produits et sécurité alimentaire

**Présenté par**

Raache Hibatrahmane

Bouafia Nada

**Thème**

**Étude comparative de deux techniques de séchage au soleil (direct et indirect) sur la qualité de l'écorce d'oranges**

Soutenu publiquement le : 28 /06 /2021

**Devant le jury**

Chouana Toufik	Président	MCB	UKM Ouargla
Henni Abdellah	Encadreur	MCA	UKM Ouargla
Youcef Rahmani	Co-encadreur	Ing. Doctorant	CRAPC Ouargla
Bouricha M'hammed	Examineur	MAA	UKM Ouargla

*Année universitaire : 2020/2021*

## *Dédicace*

---

*A mes parents qui m'ont soutenu au long de ma vie dans les moments difficiles*

*dans mes études, et dans ce moment particulier de la thèse*

*A ma chère famille du petit au grand*

*A mon cher frère Amine*

*A mes enseignants et professeurs du primaire à l'université*

*A tous mes amis*

*Je dédie ce modeste travail*

*HIBA*

## *Dédicace*

---

*Grace Allah*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon très chère au monde mes parents qui m'a toujours soutenu, et a été  
toujours présentent pour mon et toujours m'encouragé durant mes études*

*A mes sœurs: Meriem ,insaf*

*A mes frères : Imad, Mouataz, Amine*

*A mes tantes et mes oncles*

*A toutes ma famille : Bouafia, Hamlaoui*

*A mon amie Imane*

*A ma chère binôme Hiba*

*A toute la promotion de qualité des produits et sécurité alimentaire 2021*

*NADA*

## **Remerciements**

---

*Ce mémoire n'aurait pas pu être ce qu'elle est, sans l'aide d'ALLAH source de toute connaissance qui nous a donné la force afin de l'accomplir*

*فَاللّٰهُمَّ لَكَ الْحَمْدُ كَمَا يَنْبَغِي لِجَلَالِ وَجْهِكَ وَعَظِيمِ سُلْطَانِكَ*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à mon directeur de mémoire, le Monsieur HENNI ABDELLAH, Pour ses encouragements, ses précieux conseils, sa disponibilité, ses suggestions pertinentes, ses critiques constructives et surtout pour sa patience tout au long de ce projet. Nous avons toujours été satisfaits de son approche pédagogique et de son humilité qui m'ont permis dans une large mesure de surmonter des difficultés et d'affronter d'autres problèmes afin de bien mener à bien ce travail, sans oublier de souligner ses qualités humaines et morales que j'ai toujours appréciées.*

*Nous remercions tout particulièrement monsieur RAHMANI Youcef de nous avoir guidés dans ce mémoire. Ce travail est le résultat non seulement de nos efforts mais aussi de vos efforts et surtout de vos encouragements, disponibilité, écoute, patience, soutien, confiance en vous et de précieux conseils tout au long de ce travail. Nous vous souhaitons une bonne continuation*

*Ce travail a été réalisé au niveau de centre de recherche et analyse physico-chimique CRAPC Ouargla. Ce travail doit beaucoup à l'aide précieuse de membres de centre. Nous voudrais saluer et remercier tous les membres de ce centre.*

*Nous remercions vivement les membres de ce respectueux jury :*

*Monsieur CHOUANA Toufik Nous sommes honorée que vous ayez accepté la présidence du jury*

*Monsieur BOURICHA M'hammed Votre venue en tant qu'examineur est un honneur pour nous, nous vous en sommes très reconnaissants et vous adressons nos sincères remerciements.*

*Un grand merci à tous nos collègues et amis*

**Enfin, nous remercions sincèrement nos parents et frères et sœurs pour leur amour et leur soutien indéfectibles. Sans eux, nous ne serions jamais arrivés à ce point.**

**Nous souhaitons à tous ceux qui ont été directement ou indirectement impliqués dans l'élaboration de cet ouvrage de trouver ici l'expression de nos très vifs remerciements.**

## Listes des abréviations

**C°**: degré Celsius

**C** : Concentration

**FAMT**: La flore aérobie mésophile totale

**g**: gramme

**h**: heure

**H%** : Taux d'humidité en pourcentage.

**mg**: milligramme

**ml**: millilitre

**M** : masse en gramme

**MG** : matière grasse

**N**: Normalité

**PCA**: Plate Count Agar

**S-S**: *Salmonella Shigella*

**T**: température

**Va**: vitesse de l'air de séchage

**V**: Volume

**VF**: Viande-foie

**UFC** : Unité Formant colonies

**µl**: microlitre

## Liste des Figures

		<b>Pages</b>
<b>Figure I.1</b>	Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire direct	<b>06</b>
<b>Figure I.2</b>	Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire indirect	<b>09</b>
<b>Figure I.3</b>	Les composants d'une orange	<b>15</b>
<b>Figure II.1</b>	Photos des séchoirs utilisés	<b>21</b>
<b>Figure II.2</b>	Méthodes d'analyses physico-chimique et microbiologique Utilisées	<b>23</b>
<b>Figure II.3</b>	Écorces d'orange séchées.	<b>23</b>
<b>Figure III.1</b>	Courbe représentant la teneur en eau des écorces d'orange	<b>34</b>
<b>Figure III.2</b>	Teneur en lipides totaux	<b>35</b>
<b>Figure III.3</b>	Teneur en protéines des échantillons d'écores d'orange	<b>36</b>
<b>Figure III.4</b>	Teneur en acidité titrable	<b>37</b>
<b>Figure III.5</b>	Teneur en cendre des écorces d'orange	<b>38</b>
<b>Figure III.6</b>	Teneur en polyphénols.	<b>39</b>
<b>Figure III.7</b>	Teneur en huiles essentielles	<b>40</b>
<b>Figure III.8</b>	Teneur en glucides totaux.	<b>42</b>

## Liste des Tableaux

		<b>Pages</b>
<b>Tableau I.1</b>	Les Variétés d'agrumes dans le monde	<b>12</b>
<b>Tableau I.2</b>	Composition chimique d'orange	<b>16</b>
<b>Tableau I.3</b>	Composition minérale d'orange	<b>16</b>
<b>Tableau I.4</b>	Les Constituants des écorces d'orange	<b>17</b>
<b>Tableau I.5</b>	Composition du fenouil en minéraux (mg /100g de matière comestible)	<b>19</b>
<b>Tableau I.6</b>	Composition minérale des écorces d'orange	<b>18</b>
<b>Tableau II.1</b>	Représentation simplifiée des germes recherchés.	<b>31</b>
<b>Tableau III.1</b>	Variations de la distance de couleur de l'écorce d'orange pour le séchage solaire direct et indirect	<b>41</b>
<b>Tableau III.2</b>	La variation de différence de couleur $\Delta E$ de l'écorce d'orange	<b>41</b>
<b>Tableau III.3</b>	Résultats des analyses microbiologiques de l'écorce d'orange sèche par le séchoir solaire direct.	<b>42</b>

## TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Étude bibliographique</b>	
<b>I.1 Définition de séchage.....</b>	<b>3</b>
<b>I.2 Séchage solaire.....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Classifications des séchoirs industriels.....</b>	<b>3</b>
I.3.1 Propriété physique de la matière.....	3
I.3.2 Méthode d’approvisionnement en énergie.....	3
I.3.3 La gamme de température.....	4
I.3.4 Mode de répartition des nourritures.....	4
<b>I.4 Le séchoir solaire.....</b>	<b>4</b>
I.4.1 Principe du séchoir solaire.....	4
I.4.2 Description d’un séchoir solaire.....	5
I.4.3 Classification séchoir solaire.....	5
<b>I.5 Les séchoirs solaires directs.....</b>	<b>5</b>
I.5.1 Principe de fonctionnement.....	5
I.5.2 Type de séchoirs directs.....	7
<b>I.6 Les séchoirs solaires indirects.....</b>	<b>8</b>
I.6.1 Principe de fonctionnement.....	9
I.6.2 Type du séchoir indirect.....	10
<b>I.7 Origine et historique des agrumes.....</b>	<b>11</b>
<b>I.8 Généralité sur les agrumes.....</b>	<b>11</b>
<b>I.9 Production des agrumes.....</b>	<b>12</b>
I.9.1 Dans le monde.....	12
I.9.2 Dans l’Algérie.....	13
I.9.3 Importance économique.....	14
<b>I.10 Généralité sur l’orange.....</b>	<b>14</b>
I.10.1 Les composants d’orange.....	15
<b>I.11 Valorisation des sous-produits d’orange.....</b>	<b>17</b>
<b>I.12 Composition chimique des écorces d’orange.....</b>	<b>17</b>
I.12.1 Huiles essentielles.....	18



I.12.2 Fibres .....	19
I.12.3 Pigments.....	19
I.12.4 Composés phénoliques .....	19
I.12.5 Vitamine C .....	20

## **Chapitre II : Dispositifs et techniques expérimentaux**

<b>II.1 Cadre de l'étude .....</b>	<b>21</b>
<b>II.2 Matériel végétal.....</b>	<b>21</b>
<b>II.3 Cinétique séchage.....</b>	<b>22</b>
<b>II.4 Analyse physico-chimique.....</b>	<b>24</b>
II.4.1 Détermination de la teneur en eau.....	<b>Erreur ! Signet non défini.24</b>
II.4.2 Détermination de la teneur en lipides totaux .....	25
II.4.3 Détermination de la teneur en azote .....	26
II.4.4 Détermination de l'acidité titrable .....	27
II.4.5 Expression des résultats .....	27
II.4.6 Détermination de la teneur des cendres .....	27
II.4.7 Détermination de la teneur en polyphénol totaux.....	28
II.4.8 Détermination des huiles essentielles .....	29
II.4.9 Détermination de la couleur .....	29
II.4.10 Détermination de la teneur en glucides totaux .....	30
<b>II.5 Analyse microbiologique .....</b>	<b>30</b>
II.5.1 Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles total (FMAT) .....	31
II.5.2 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux .....	32
II.5.3 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.....	32
II.5.4 Recherche des salmonella .....	33
II.5.5 Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures .....	33

## **Chapitre III : Résultats et Discussions**

<b>III.1 La teneur en eau et la matière sèche.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2 Détermination des lipides totaux .....</b>	<b>35</b>
<b>III.3 Détermination des protéines.....</b>	<b>36</b>
<b>III.4 Détermination de l'acidité titrable.....</b>	<b>36</b>
<b>III.5 Détermination de la Teneur en cendre .....</b>	<b>37</b>

<b>III.6 Détermination de teneur en polyphénol totaux .....</b>	<b>38</b>
<b>III.7 Détermination des huiles essentielles.....</b>	<b>39</b>
<b>III.8 Qualité de couleur .....</b>	<b>40</b>
<b>III.9 Détermination de la teneur en glucide totaux.....</b>	<b>41</b>
<b>III.10 Analyse microbiologique.....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>44</b>
<b>Références.....</b>	<b>46</b>
<b>Annexes</b>	

---

# **Introduction générale**

---

## **Introduction générale**

Parmi toutes les cultures arboricoles et leur importance socio-économique dans le monde, l'agrumiculture constitue l'un des principaux secteurs de l'économie internationale. Elle constitue par son tonnage l'une des trois premières productions fruitières mondiales devant les bananes et les raisins.

Les besoins des populations en produits agrumes ne cessent de croître à cause de sa valeur nutritionnelle (**Meziane, 2013**). Les plusieurs études épidémiologiques ont démontré que la consommation des agrumes serait reliée à la prévention de certaines maladies cancéreuses du tube digestif et des maladies cardiovasculaires du à l'effet de plusieurs composants telle que la vitamine C, les caroténoïdes les flavonoïdes et des limonoïdes.

L'Algérie compte parmi les pays producteurs et transformateurs d'agrumes dont notamment les oranges. La quantité d'oranges produite pour la saison agricole de 2018 a été estimée à plus de 11 millions de quintaux (**Berrah,2019** ). On peut constater que chaque année en Afrique du Nord plusieurs milliers de tonnes de déchets d'agrumes sont déversés à la mer, dans les cours d'eau ou laissés à pourrir au soleil. En Algérie, les industries agroalimentaires, génèrent d'importantes quantités de déchets. Ces derniers constituent une nuisance certaine pour l'environnement et un gaspillage de matières organiques utiles.

La valorisation de ces sous-produits est devenue une priorité pour les industriels. En effet, ces déchets pourraient être transformés en capitaux, si des bioproduits potentiellement commercialisables, tels que la pectine et les huiles essentielles, peuvent être extraites à partir des écorces et des fruits à faible valeur marchande (**Boudraa ,2017**).

Afin de garder la qualité de ces sous-produits on peut utiliser des techniques de conservation tel que le séchage. Parmi les différents types de séchages on trouve le séchage solaire qu'est un procédé de conservation et de valorisation qui favorise le stockage des aliments et qui utilise l'énergie solaire comme source de chauffage. Le séchage solaire constitue un moyen rentable pour la déshydratation des produits agro-alimentaires à basses températures (**Kouhila et al., 1998 ; Kouhila et al., 2001**) sachant que le séchage est l'une des opérations unitaires les plus consommatrices d'énergie dans les industries de transformation.

L'utilisation de l'énergie solaire pour le séchage peut constituer une solution intéressante sur les plans économiques et écologiques. Des études ont permis de déterminer l'influence des principaux paramètres susceptibles d'influencer sur le séchage solaire ainsi que l'effet du rayonnement solaire sur la couleur et la réduction des vitamines (**Mechlouch et al.,2010**) .

Ce travail une étude comparative de séchage des écorces d'oranges exposée directement au soleil (séchoir solaire indirect) avec celle effectuée dans le séchoir solaire indirect a été faite afin de sécher, valoriser la qualité et la valeur des écorces d'oranges destiné pour la conservation et la commercialisation. La procédure de séchage s'est déroulée dans des séchoirs à convection naturelle. Ce type de séchoir est peut coûteux, simple à réaliser, et adapté au séchage des produits agro-alimentaires.

Le mémoire décrivant ce travail est entamé par cette introduction générale qui pose la problématique et donne une idée sur l'importance du thème abordé tout en exposant clairement l'objectif visé et se décompose en trois chapitres.

Le premier chapitre a tout d'abord pour but de présenter d'une étude bibliographique sur le séchage solaire et les écorces d'oranges.

Le deuxième chapitre est dédié entièrement à la description des protocoles expérimentaux utilisés dans le séchage solaire. Les différentes techniques de caractérisations physicochimiques et biologiques sont également décrites.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus au cours de ce travail avec une discussion sur la qualité et les valeurs nutritionnelles des écorces d'oranges après séchage.

Enfin, nous concluons par une conclusion générale qui récapitule l'essentiel des résultats obtenus au cours de cette étude.

---

# **Chapitre I. Étude bibliographique**

---

## **Partie A : Les séchoirs solaires**

### **I.1 Définition de séchage**

C'est l'opération unitaire ayant pour but d'éliminer par évaporation un liquide imprégnant un solide ou un liquide. Le terme déshydratation a un sens plus restrictif : il ne concerne que l'élimination de l'eau dans un solide ou dans un liquide.

Le séchage est une opération consistant à abaisser l'activité du liquide d'un produit, jusqu'au seuil en deçà duquel les réactions enzymatiques et d'oxydation sont inhibées, de même que le développement des microorganismes (*Amrouche, 2014*).

### **I.2 Séchage solaire**

Dans les pays en développements, le séchage au soleil est une méthode populaire efficace et économique utilisée pour le séchage et la conservation les produits agricoles, alimentaire et de nombreux autres produits.

Le séchage des produits alimentaires agricoles par l'énergie solaire est une application rentable. Par contre le séchage industriel consomme des grandes quantités combustibles traditionnelle pour fournir l'aire chaud. Le séchage se fait de plusieurs manière la machine à sécher existe différente formes en fonction des modes de transfert des chaleurs, le prix, la frome des énergie consommé et le mode coarticulation du fluide (*Midilli et Kucuk, 2003*).

### **I.3 Classifications des séchoirs industriels**

Les séchoirs industriels sont classés selon :

#### **I.3.1 Propriété physique de la matière**

Les propriétés physiques de la matière à sécher sont le facteur le plus important pour le choix du séchoir.

#### **I.3.2 Méthode d'approvisionnement en énergie**

Lorsque l'énergie est fournie au produit (transfert de chaleur par convection) par l'air chauffé, le séchoir est classé de type convectif.

Si la chaleur est transférée au produit avec un contact direct, le séchoir est classé de type conductif.

### **I.3.3 La gamme de température**

Les systèmes de séchage peuvent être classifiés selon la gamme de température de fonctionnement, soit à hautes températures ou à basses températures.

- Les types de séchoir à hautes températures, sont employés lorsque le produit nécessite un gaz très chaud, et reste en continuité jusqu'à ce que le produit soit séché.
- Pour les types de séchoir à basses températures, ces dernières soient inférieures à 100°C.

### **I.3.4 Mode de répartition des nourritures**

**a) Séchage en couche mince :** Les fruits et légumes sont posés sur des claies, et séchés en couche mince lorsque l'air chaud traverse les produits de bas vers le haut.

**b) Séchage en couche épaisse :** Ce mode de séchage est généralement utilisé pour les fourrages, les céréales, le café etc. l'air chaud est soufflé dans un amas des produits, reposant sur une grille perforée ( *Benammar et Gouri,2018*).

## **I.4 Le séchoir solaire**

Le soleil est toujours considéré comme la source d'énergie renouvelable la plus importante. L'utilisation de rayonnement solaire pour le séchage est l'une des applications les plus anciennes de l'énergie solaire.

Il s'agit simplement de chauffer le produit par le rayonnement solaire direct (séchage direct) ou par l'intermédiaire d'un capteur solaire qui sert à capter et/ou concentrer le rayonnement solaire afin d'augmenter la température de l'air (séchage indirect). Ce mode de séchage est plus utilisé dans le domaine agro-alimentaire. (*Percebois, 1975*)

### **I.4.1 Principe du séchoir solaire**

Un séchoir solaire sert à conserver des aliments par déshydratation lors de l'exposition au soleil, tout en assurant de bonnes conditions hygiéniques, notamment



en évitant le contact avec la poussière ou les insectes. Les aliments peuvent ainsi être séchés en un temps réduit, allant de quelques heures à quelques jours selon leur composition et le niveau d'exposition au soleil.

#### **I.4.2 Description d'un séchoir solaire**

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur. Elle est souvent construite en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur de séchoir. Le séchoir solaire est potentiellement important dans le secteur agricole, où il est utilisé pour le séchage de légumes, des fruits, et des plantes médicinales. Ainsi minimisé. La dépendance sur le séchage au soleil et le séchage industriel, d'où économiser d'énormes quantités de fossile (*Reddam, 2018*).

#### **I.4.3 Classification séchoir solaire**

Les séchoirs solaires peuvent être classés sur la base de la conception des composants du système et le mode d'utilisation de l'énergie solaire. On distingue quatre classes des séchoirs solaires pour produits agricoles :

- Séchoir solaire direct.
- Séchoir solaire indirect.
- Séchoir solaire hybride.
- Séchoir solaire mixte.

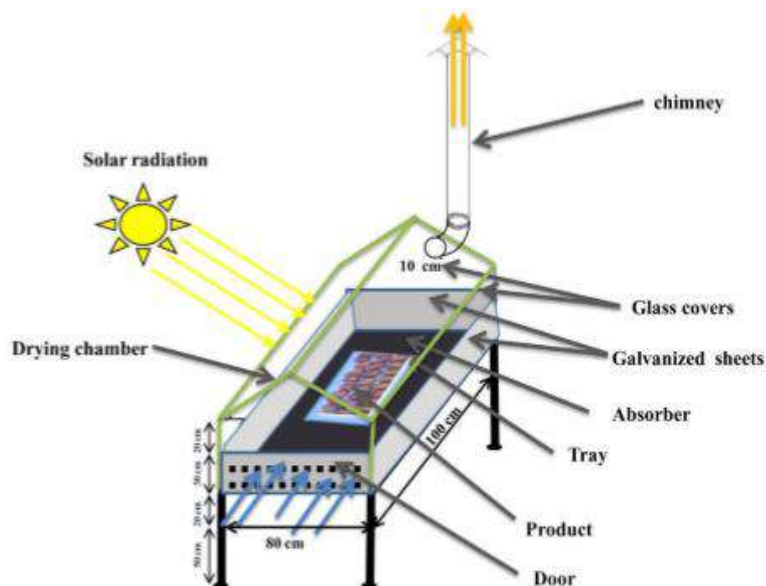
#### **I.5 Les séchoirs solaires directs**

Dans ce type des séchoirs, le rayonnement solaire traverse un couvercle transparent, généralement en verre, pour être incident sur le produit séché. Le couvercle en verre réduit les pertes de convection directe à l'environnement et augmente la température à l'intérieur du séchoir (*Aware et al., 2012*).

##### **I.5.1 Principe de fonctionnement**

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles) (*Sharma et al., 2009*).



**Figure I.1:** Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire direct (*Mennouche, 2016*).

Les avantages d'un séchoir solaire direct :

- Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- Pas besoin de main-d'œuvre qualifié.
- Grandes possibilités de conception.
- Coût faible à moyen.

Les inconvénients d'un séchoir solaire direct :

- Dégradation de la qualité par exposition directe au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration (*Madhlopa et al., 2002*).
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments.
- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure (*Lahsasni et al., 2004*).

## **I.5.2 Type de séchoirs directs**

### **a) La boîte de séchage ou séchoir coffre**

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, légumes, poissons et de la viande.

Dans le séchoir coffre, l'air pénètre par les orifices percés par le fond du caisson, et s'échappe par des trous situés dans la partie haute de chaque côté. Le fond de la boîte ainsi que les parois sont peints en noir pour mieux capter le rayonnement solaire. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit, une porte dans le panneau arrière permet de régler la température (*Pangavhane et al., 2002*).

### **b) Le séchoir intégral à convection naturelle**

Le séchoir intégral est un séchoir direct dont le produit est placé dans une chambre de séchage avec des parois transparentes, le rayonnement solaire empiète directement sur le produit. L'exposition directe au rayonnement solaire augmente la maturation appropriée de couleur des fruits verdâtres, et permettant la décomposition de la chlorophylle dans le tissu.

Pour certaines variétés de raisins et de dattes, l'exposition au rayonnement est considérée essentielle pour le développement de couleur requise dans le produit sec.

Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grande (*Ekechukwu et al., 1999*).

### **c) Le séchoir solaire "coquillage"**

Le séchoir coquillage est un séchoir solaire direct à convection naturelle, destinée à l'auto consommation et à la vente locale. Il est essentiellement utilisé par les familles, les coopérations et les groupes de femmes.

Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air. L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques (*Dudez et al., 1996*).

### **d) Le séchoir cabane**

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7m<sup>2</sup>. Les produits sont placés dans le séchoir sur des claies surélevées du sol.

La toile de plastique permet de capter l'énergie solaire, une porte permet d'entrer dans la tente et de garnir les claies, une sortie d'air est aménagée dans la partie supérieure. Ce type de séchoir est caractérisé par une meilleure protection contre les insectes, équipement démontable à la saison des pluies et une simple construction et fonctionnement, parmi les inconvénients de ce séchoir : le coût est assez important, la nécessité d'une grande surface de polyéthylène et la prise au vent qui rend ces modèles fragiles si l'emplacement est mal choisi (*Dudez et al., 1996*).

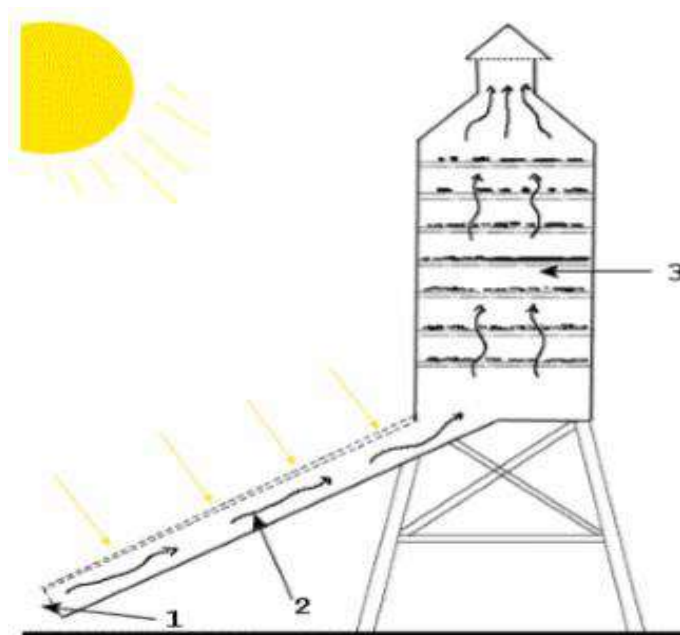
## **I.6 Les séchoirs solaires indirects**

Ces systèmes sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires.

Le produit n'est pas exposé directement au soleil, elle est même à l'abri de la lumière qui se autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment (*Eltawil et al., 2009*).

### **I.6.1 Principe de fonctionnement**

Le séchoir solaire indirect se compose de parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et une cheminée. L'air pénètre dans le collecteur ; il est chauffé, sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques (*Dudez et al., 1996*).



**Figure I.2:** Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire indirect (*Mennouche, 2016*).

1. Entrée d'air
2. Partie exposée aux rayons du soleil, sous une vitre.
3. claie.
4. Cheminée

Les avantages d'un séchoir solaire indirect :

- Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).
- Possibilité de construire ce type de séchoirs localement, avec un coût réduit.
- Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles (*Bala et al., 2003*).

Les inconvénients d'un séchoir solaire indirect :

- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la Conception du séchoir.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement (*Simate, 2003*).

### I.6.2 Type du séchoir indirect

a) **Le séchoir armoire** : Le collecteur capte l'énergie solaire. L'air chaud s'élève jusqu'à la chambre de séchage où les produits sont disposés sur des claies superposées. Le séchoir armoire est composé d'un collecteur solaire dont l'intérieur a été noirci et d'une chambre de séchage contenant des claies superposées. La chambre de séchage protège les produits du soleil préservant aussi leur qualité (*Dudez et al., 1996*).

b) **Le séchoir tunnel** : Ce sont des séchoirs industriels destinés au séchage des grandes récoltes et dans processus de conservation de certain aliment, ils se composent d'un champ de capteur solaires et d'un circuit aéraulique le tout constituant le générateur d'air chaud.

Le produit à sécher est disposé dans des choriaux monté sur des rails, qui traverse un tunnel de quelque metre de façon continué (*Madhlopa et al., 2002*).

c) **Les séchoirs solaires destinés au plant aromatique et médicinal** : Est une étape essentielle dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique, car tout en facilitants les prochaines étapes de transformation, elle permet aux plantes de grader tout leur qualité et permet de les conserve plus longtemps (*Boulemtafes et Benaouda, 2006*).

## Partie B : Généralité sur les agrumes et les oranges

### I.7 Origine et historique des agrumes

Les agrumes sont originaires des pays du sud-est asiatique et plus particulièrement de la partie basse de la chaîne de l'Himalaya où leur culture se confond avec l'histoire des civilisations chinoises. Les portugais introduisent l'oranger en méditerranée aux environs de l'an 1400 bien après le voyage de Marco Polo en Chine 1287 et c'est à partir du bassin méditerranéen et grâce aux grandes découvertes que les agrumes furent diffusés dans le monde.

Le bassin méditerranéen constitue toutefois une importante zone de diversification pour trois espèces majeures au plan économique : les orangers, les mandariniers et les citronniers. Le pomelo, hybride naturel du pamplemousse, est un des rares agrumes commercialisés et est originaire des Caraïbes.

En Algérie, l'introduction des orangers est ancienne avant l'arrivée des Français sans qu'il soit possible de la dater avec précision et 1850 marque une première étape importante dans l'histoire de nos agrumes. Le mandarinier fut introduit en faveur des colons (**Benaouda, 2006**).

### I.8 Généralité sur les agrumes

Le mot Agrume provient du latin *acrumen* qui désignait dans l'antiquité des arbres à fruits acides, appartenant à la famille des Rutacées et au genre botanique *Citrus*, d'origine de la Chine, Inde et Indonésie (**ArabaOum Hani, 2016**).

L'agrumiculture des pays du bassin Méditerranéen est diversifiée, tant au niveau des variétés cultivées (Oranges, mandarines, Thomson, 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, du fait de l'extension de cette culture (**Virbel-Alonso, 2011**).

D'après **Benediste et Baches (2002)**, les espèces des agrumes sont de trois genres principaux du groupe *Poncirus*, *Fortunella* et *citrus* (la majorité des agrumes).

Le genre *citrus* ; avec ses 145 espèces dénombrées, le genre le plus important. C'est au sein de ce genre que se rencontrent les principales espèces cultivées qui sont : les orangers (*Citrus sinensis*), les mandariniers (*C. reticulata*), les clémentiniers (*C. climontia*), les citronniers

(*C.limon*), les pomelos (*C .paradisi*), les cédratiers (*C. medica*), les bigaradiers (*C. aurantium*) (*Araba Oum Hani ,2016*) .

Les agrumes sont de petits arbres, ou des arbustes, atteignant de 5 à 15 m de hauteur. La période de floraison est entre Mars et Juillet. Pour ce qui est de la couleur des fleurs est blanche, l'exposition est vers le soleil.

Les agrumes assez souvent épineux, et à feuillage dense, persistant à l'exception de quelques variétés hybrides dont les feuilles sont caduques ou semi-persistantes. D'un vert généralement très foncé, les jeunes plants et les jeunes pousses étant d'un vert nettement plus *clair* (*Araba Oum Hani ,2016*) .

Le fruit est formé de segments contenant les graines. Les segments sont entourés d'un endocarpe blanc à l'extérieur du quel, est une écorce à très nombreuses glandes à essence, devenant jaune ou orange à maturité (*El Othmani ,2005*).

## I.9 Production des agrumes

### I.9.1 Dans le monde

La culture des agrumes a pris naissance il y a probablement 4000 ans dans les régions subtropicales du continent asiatique et de l'archipel Malais. Le commerce international des agrumes frais a débuté il y a deux siècles environ. Aujourd'hui cultivés sur plus de 3 millions d'hectares et dans plus de 100 pays aux climats tropicaux, subtropicaux et méditerranéens, les agrumes constituent la principale culture fruitière dans le monde. En général, la production mondiale des agrumes se décline en quatre catégories ainsi réparties (*Statistics, 2016*) . :

**Tableau I.1:** Les Variétés d'agrumes dans le monde.

Variétés d'agrumes	Part dans la production mondiale
Oranges	54 %
Tangerines, Mandarines	31 %
Citrons	8 %
Pamplemousses	7 %

La Chine est le premier producteur d'agrumes dans le monde avec une part de 34% et un volume de 29,5 millions de tonnes, elle est suivie par le Brésil avec une part de 2%. L'UE arrive au 3ème rang suivi par le Mexique (6,7 millions de tonnes) et les États unis (4,6



millions de tonnes). Le Maroc occupe le septième rang, suivi par la Turquie avec une part de 1,6%. (Statistics 2016) Quant à l'Algérie, elle occupe la 18ème place dans le rang mondiale, avec une production de 1.2 millions de tonnes par ans (Statistics, 2010).

**Tableau I.2:** Les principaux producteurs d'agrumes dans le monde.

Pays	Production en tonnes	Part
Chine	29500000	34%
Brésil	19217000	22%
Union européen	10766101	13%
Mexique	6775000	7,9%
USA	4601311	5,4%
Égypte	3000000	3,5%
Maroc	2315040	2,7%
Turquie	1399000	1,6%

### I.9.2 Dans l'Algérie

Cette culture revêt une importance stratégique pour l'Algérie comme source d'approvisionnement en fruits et des débouchés sur le marché international des produits agrumicoles. Sur le plan social, la culture des agrumes emploi en moyenne 140 jours/ha/an, sans compter ceux générés par l'environnement de ce secteur (transformation, commercialisation) (Belguendouz-Benkhefja et al., 2013).

La culture des agrumes représente pour notre pays un segment stratégique. Selon les dernières statistiques 2017/2018, La production nationale agrumicole avait dépassé les 14 millions de quintaux (BERRAH décembre 2019 ). Sur un total de 32 wilayas productives d'agrumes, les principales zones agrumicoles sont localisées comme suit :

- La wilaya de Blida vient en tête avec 4,1 millions de quintaux,
- Mostaganem avec 1,2 millions de quintaux,
- Tipasa avec 1,1 million de quintaux,
- La wilaya de Chlef étant considérée parmi les cinq wilayas pionnières dans ce domaine, dont que le reste de la production agrumicole était réparti sur les 28 autres wilayas.

La culture des Citrus est localisée essentiellement dans les zones irrigables de la partie Nord du pays, où elle trouve la température clémente qui assure sa réussite (**EDDINE and YAMINA 2017/2018** ).

### I.9.3 Importance économique

Les agrumes représentent la première catégorie fruitière en terme de valeur en commerce international ; cette importance est justifiée par leur :

- Consommation comme des produit frais ou après leur transformation (jus ; sirop,...etc)
- Grande qualité nutritive riche, en vitamine C, B6, et constituent une source de fibres d'acide ascorbique et folique, du potassium et du calcium
  - Effet bénéfique sur la santé en contribuant dans la diminution des risques de maladies cardio-vasculaires et d'autres maladies (**Bounab et Chahbi, 2018** ).

### I.10 Généralité sur l'orange

L'orange c'est un agrume de couleur orange appartient à la famille des rutacées (**Blondy, 2003**)de forme ronde, avec une peau finement texturée, juteuse, sucrée ou légèrement acide, renommée pour sa forte concentration en vitamine C. La peau de ce fruit peut varier en épaisseur (de très fine à très épaisse). C'est l'une des fruits les plus populaires du monde très riche en bienfaits santé, capable d'aider à perdre du poids, c'est un fruit idéal à consommer en collation(**Tauscher, 1995**). Les orangers sont cultivés dans les régions temporaires et chaudes, comme les pays méditerranéens (Milind and Dev 2012). la position systématique des agrumes est connue comme suit (**Kimball ,1999; Buker et al., 2006; Nicolosi ,2007**):

Règne : *Végétal*,

Ordre : *Géraniales*,

Sous-ordre : *Géraniiineae*,

Classe : *Dicotyledoneae*,

Sous-classe : *Archichalmydeae*,

Division : *Embryophyta*,

Sous-division : *Angiospermes*,

Famille : *Rutaceae*,

Sous famille : *Aurantiodeae*,

Tribu : *Citreae*,

Sous tribu : *Citrinae*,

Genre : *Citrus*,

Espèce : *Citrus sinensis*

### I.10.1 Les composants d'orange

La structure d'une orange est caractérisée par les composants suivants (*Ramful et al., 2010*):

a) **L'écorce** : se décline en deux parties :

- **L'épicarpe** : c'est la couche extérieure colorée (zeste), appelée « flavedo » qui doit sa couleur jaune orangé aux flavanones. Elle contient des glandes à huiles essentielles qui donnent l'odeur particulière à l'orange. Elle représente 8 à 10% du fruit.
- **Le mésocarpe** : c'est la couche intérieure blanche, appelée « albédo » à consistance spongieuse plus ou moins épaisse par rapport à la taille du fruit, elle ne contient aucun flavanone soluble, Elle représente 12 à 30% du fruit.

b) **La pulpe** (ou endocarpe) : c'est la partie comestible divisée en quartiers juteux dont le nombre varie de 9 à 11 ; Elle est constituée par un ensemble de poils charnus ou vésicules renfermant le jus. Elle est souvent plus ou moins acide et sucrée ou amère et elle représente 50 à 80% du fruit.

c) **Les pépins** ; se trouvent près du centre de l'orange, ils ont une teneur élevée en huile ; ils représentent 0 à 4% du fruit.

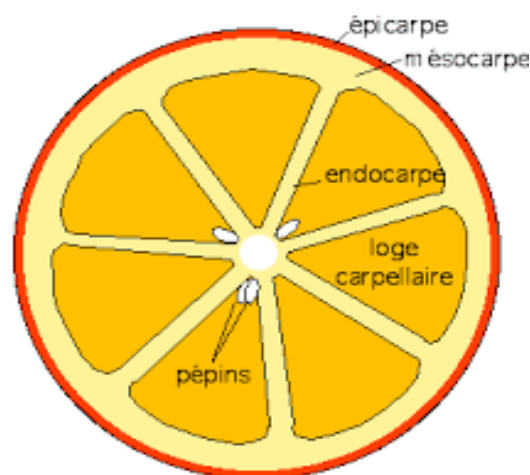


Figure I.3: Les composants d'une orange (*M'Hiri, 2015*).

**Tableau I.3:** Composition chimique d'orange (*Brat et al., 2000, Farnworth et al., 2001*).

Constituants	Composition pour 100 g de jus
Énergie (kcal)	39
Eau (g)	87-92
Glucides (g)	10-12
Protéines (g)	0,58 -1,29
Lipides (g)	0,0 - 0,56
Flavonoïdes (mg)	0,0 - 0,56
Vitamine C (mg)	50
B-carotène (mg)	0,04 - 0,37
Niacine (vitamine B3) (mg)	0,13 - 0,46

**Tableau I.4:** Composition minérale d'orange (*Robards et Antolovich ,1995*).

Éléments	Quantité en mg par 100 ml de jus
Potassium	152,0 - 266,0
Phosphore	12,4 - 24,0
Magnésium	9,5- 14,0
Calcium	40
Sodium	0,30 - 0,90
Magnésium	0,02 - 0,03
Zinc	0,02 - 0,05
Cuivre	0,02 - 0,05
Fer	0,06 - 0,56

### I.11 Valorisation des sous-produits d'orange

L'écorce et les graines entraînent une quantité considérable de sous-produits (*Omoba et al., 2015*). L'écorce d'orange est plus riche en polyphénols que la partie comestible du fruit (*Teh, Bekhit et al. 2014*), ce qui lui confèrent une activité antioxydante et des effets thérapeutiques importants par rapport à d'autres parties du fruit (*Rafiq et al., 2018*). Mais plus souvent, elle est éliminée comme déchets contenant une grande variété de composants secondaires et d'huile essentielles.

Les sous-produits d'agrumes pourraient être utilisés, en industries alimentaire, comme ingrédients bioactifs dans la production d'aliments fonctionnels, car ils sont de bonnes sources de fibres alimentaires et de composés bioactifs. L'écorce d'orange est une bonne source de composés phénoliques susceptibles d'être utilisés dans des formulations alimentaires ou lorsqu'ils sont extraits, peuvent être utilisés comme antioxydants naturels pour empêcher l'oxydation d'aliments sélectionnés (*Omoba et al., 2015*).

### I.12 Composition chimique des écorces d'orange

Les écorces d'orange constituent un gisement riche en ingrédients nutritionnels (eau, protéines, sucres et minéraux) et en ingrédients fonctionnels (huiles essentielles, fibres, caroténoïdes, vitamine C, composés phénoliques)

La composition chimique globale des écorces d'oranges varie selon :

- La variété d'orange.
- La période de cueillette d'orange.
- Les facteurs climatiques et environnementaux .

**Tableau I.5:** Les Constituants des écorces d'orange (*Goulas et al., 2012; Barros et al., 2012*).

Constituants	Unité par (g/100g bs)
Eau	3,14
Lipides	1,66
Protéines	1,79
Glucides	15,01
Fibres	41,64
Caroténoïdes totaux	0.04
Phénols totaux	19,62
Huiles essentielles	0,6-1
Vitamine c	0,145 - 1,15

**Tableau I.6:** Composition minérale des écorces d'orange (*Bejar et al., 2011*).

Minéraux	Teneur en (mg/100g bs)
Potassium	220,40
Sodium	312,89
Calcium	1201,21
Magnésium	156,77
Zinc	1,86
Cuivre	1,13
Fer	1,58

### I.12.1 Huiles essentielles

Les écorces d'oranges sont riches en huiles essentielles qui sont localisées dans des glandes situées dans le flavédo. Ces huiles essentielles sont extraites à partir des écorces par une simple pression à froid ou bien simultanément avec l'extraction du jus.

En effet, les huiles essentielles d'oranges peuvent être extraites à froid. Ces huiles sont ensuite entraînées par un courant d'eau froide. Une émulsion constituée d'eau et d'huile se forme (*Dugo et al., 1997; Sahraoui et al., 2011*). Les huiles essentielles des écorces d'oranges peuvent aussi être extraites par la distillation à la vapeur ou l'hydro-distillation et par des solvants organiques (*De Castro et Gamiz-Gracia, 2000*).

### I.12.2 Fibres

Les écorces d'oranges sont riches en fibres et surtout en fibres hydrosolubles (pectines). Les teneurs en pectine pour les oranges 0.22- 23.02%.

Les écorces contiennent aussi des fibres insolubles (l'hémicellulose, la cellulose et la lignine). Les teneurs en lignine sont de l'ordre de 7,52% pour les oranges, alors que pour la cellulose, c'est l'orange qui a la teneur la plus élevée par rapport aux autres agrumes (*Marinet al., 2007; Wang et al. 2008*).

### I.12.3 Pigments

La couleur verte des oranges immatures est due aux chlorophylles. Au cours de la maturité, la couleur de l'épicarpe ou flavédo vire du vert au jaune orangé. Ce virage résulte de

la dégradation des chlorophylles et l'augmentation de la synthèse des caroténoïdes associée à la disparition des chloroplastes et la formation des chromoplastes. (Meléndez-Martínez, Vicario et al. 2007). Ainsi, la couleur des écorces et de la pulpe de la plupart des oranges matures est due aux pigments caroténoïdes.

Une alimentation riche en caroténoïdes peut diminuer le risque du cancer, la dégénérescence musculaire, les dommages de la peau induits par les brûlures du soleil et les maladies cardiovasculaires (Aust et al., 2001; Wang et al., 2008).

#### **I.12.4 Composés phénoliques**

Les polyphénols ou composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétal. Cette appellation générique désigne un vaste ensemble de substances aux structures variées qu'il est difficile de définir simplement (Bruneton, 1993).

Les composés phénoliques sont un moyen de défense contre le rayonnement UV, les agressions par les pathogènes et ils contribuent à la pigmentation des plantes. (Manach et al., 2004; Igna et al., 2011). Selon leurs caractéristiques structurales, ils se répartissent en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles. On retrouve principalement deux classes de composés phénoliques dans les écorces d'agrumes : les flavonoïdes et les acides phénoliques (Hennebelle et al., 2004).

#### **I.12.5 Vitamine C**

La vitamine C ou acide L-ascorbique de formule brute  $C_6H_8O_6$  est l'un des principaux antioxydants hydrosolubles présent dans les fluides intra- et extracellulaires (compartiments hydrophiles) (Vertuan et al., 2004).

Elle est sensible à la chaleur, aux ultraviolets et à l'oxygène, elle n'est pas synthétisée par l'homme ; c'est pour ça elle doit être apportée par l'alimentation (Fain, 2004). Il a un rôle antioxydant multiple : il inhibe le brunissement enzymatique, protège contre l'oxydation, comme il est connu pour ses effets anti radicalaires et réducteurs des métaux de transition (Hama et al., 2017).

L'acide ascorbique joue plusieurs rôles dans l'organisme, notamment grâce à ses propriétés antioxydantes et hydroxylantes. Il est impliqué dans la synthèse du collagène et des globules

rouges et joue un rôle de promoteur de l'absorption du fer. Elle intervient dans la conversion du cholestérol et des acides biliaries. Il participe également au métabolisme du fer et a un rôle dans l'élimination des carcinogènes et des nitrosamines cancérigènes (*Mirvish ,1986*).



---

## **Chapitre II. Matériels et Méthodes**

---

## II.1 Cadre de l'étude

Le présent travail consiste à l'étude comparative de deux techniques de séchage solaire, afin de déterminer la qualité nutritionnelle de l'écorce d'orange. Ce travail a été réalisé au niveau laboratoire Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico Chimiques, Université de Ouargla.

## II.2 Matériel végétal

Nos travaux ont porté sur l'étude des propriétés physico chimiques de l'écorce d'une variété de l'orange (**la Thomson navel**), cultivée à Chlef, 4 kg a été acheté chez un marchand dans la Wilaya de Ouargla le 16/03/2021.

Les oranges ont été lavés une première fois avec l'eau de robinet, puis une deuxième fois avec de l'eau distillée pour éliminer les impuretés, la boue, les résidus d'insecticides et autres contaminants, Les oranges ont été soigneusement épluchés à l'aide d'un économe (en évitant d'inclure l'albédo). Les écorces sont coupées en morceaux d'environ 3 cm maximum. Ces morceaux ont subi deux types de séchage l'un au séchoir direct et l'autre séchoir indirecte.

**N.B :**

De 4kg d'oranges on a obtenue environ 852g d'écorces, et pour estimer cette quantité par rapport à la production nationale d'agrumes dans l'Algérie on peut appliquer la triple relation comme ce suit :

$$0.04q \rightarrow 0.852k$$

$$11 \text{ million } q \rightarrow X$$

$$X = 2.343.000q \text{ donc de } 11 \text{ million d'orange on obtient } 2.343.000 q$$

Donc on peut dire que le potentiel de production des écorces égale à 213kg/q d'orange



Séchoir solaire indirect

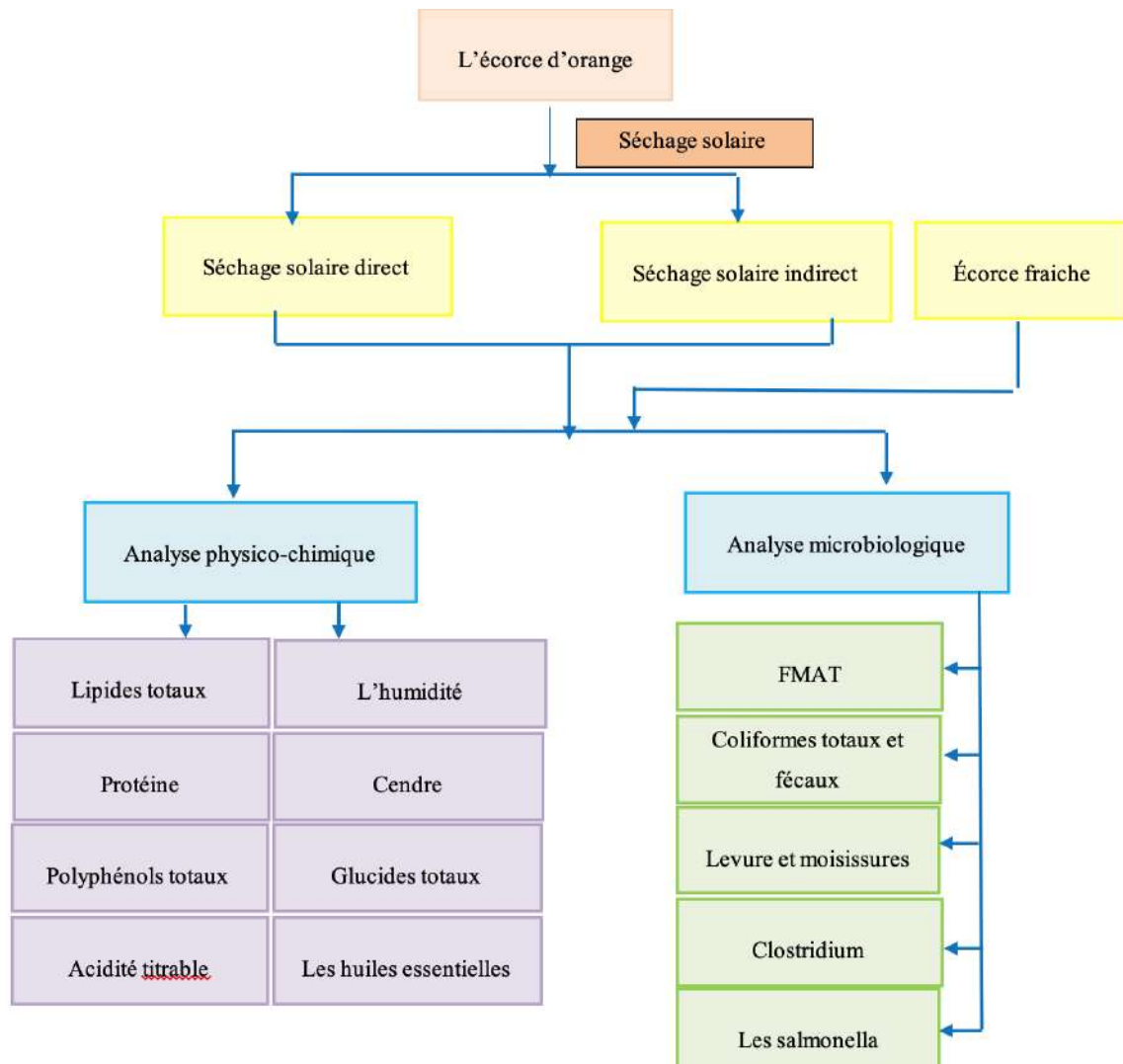


Séchoir solaire direct

**Figure II.1:** *Photos des séchoirs utilisés.*

### II.3 Cinétique de séchage

Les écorces d'orange sont étalées sur les claies de la chambre de séchage de séchoir solaire indirect et direct. La masse du produit à sécher été de 215 g pour chaque séchoir. Le protocole expérimental consiste à réaliser quotidiennement le séchage de produit de 8h à 17h. A la fin de chaque journée le produit est stocké dans un endroit sec pour prévenir toute réhydratation. La manipulation est arrêtée lorsque la teneur en eau souhaitée est atteinte. Pour suivre la perte de masse des écorces d'orange au cours du séchage, nous avons effectués les mesures du poids chaque une heure à l'aide d'une balance de précision. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale souhaitée à une température de séchage convenable. Les mesure, du rayonnement, et de la vitesse de l'air sont effectuées chaque une heure.



**Figure II.2:** Méthodes d'analyses physico-chimique et microbiologique utilisées

## II.4 Analyse physico-chimique

### II.4.1 Détermination de la teneur en eau

#### Principe

Cette méthode analytique est basée sur le séchage complet du matériel végétal frais à une température de 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids stable. L'humidité est le pourcentage en eau perdu durant le séchage par rapport à la matière fraîche (Afnor, 1982).

#### Mode opératoire

La détermination de la teneur en eau, pour 100 g d'échantillon, est réalisée dans une étuve durant 24 h à 85°C.



Figure II.3: Écorces d'orange séchées.

#### Expression des résultats

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

H% : humidité ;

M1 : masse du verre à montre + la matière fraîche avant séchage en (g) ;

M2 : masse du verre à montre + la matière après séchage (g) ;

P : masse de la prise d'essai en (g).

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H\%$$

## II.4.2 Détermination de la teneur en lipides totaux

### Principe

L'échantillon est pesé et placé dans une capsule en cellulose. On effectue une extraction en continu par l'Hexane à ébullition qui dissout graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'Hexane est évaporé et la matière grasse est pesée. (Cisse *et al.*, 2010)

### Mode opératoire

Pour la détermination de la teneur en lipides totaux dans nos échantillons frais et séchés on a suivi les étapes suivantes :

- Faire une prise d'essai de 5g d'échantillon, et la mettre dans la cartouche.
- Placer la cartouche dans le Soxhlet en le recouvert avec du coton propre et sec.
- Réaliser le montage de l'appareil (chauffe ballon, ballon, Soxhlet et réfrigérant)
- Fixer la température à 70°C (point d'ébullition d'Hexane).
- Effectuer 12 siphonages, débrancher la chauffe ballon.
- Éliminer par distillation l'Hexane contenu dans le ballon à l'aide de l'évaporateur rotatif.
- Refroidir ce ballon pendant 30 minutes dans le dessiccateur.
- Peser la masse finale du ballon contenant les lipides extraits.

### Expression résultat

Le calcul de taux de lipide selon cette relation :

$$MG\% = \frac{P1 - P2}{M0} \times 100$$

P1 : poids du ballon après évaporation ;

P2 : poids du ballon vide ;

M0 : masse de la prise d'essai ;

MG : taux de la matière grasse

### II.4.3 Détermination de la teneur en azote

#### Principe

Minéralisation d'une prise d'essai par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation de l'ammoniac libéré qui, recueilli dans une solution d'acide borique, est titré par une solution d'acide sulfurique. Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes. ( *Cisse et al.,2010* ).

#### Mode opératoire

La 1<sup>ère</sup> étape est la digestion, pour cela il faut peser un mélange de CuSO<sub>4</sub> (0.5g) et K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10g) comme catalyseur. Par la suite, la minéralisation est conduite à ébullition douce en milieu acide sulfurique 98 % et en présence de catalyseurs. Pendant cette étape de digestion, l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique concentré à haute température (350°C, 2 heures environ). L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac (NH<sub>3</sub>). La masse de l'échantillon est de 3g.

La 2<sup>ème</sup> étape est la distillation de l'ammoniac qui consiste, en un premier temps, à libérer l'ammoniac sous la forme du sel (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès et ensuite, à distiller l'ammoniaque à la vapeur d'eau. L'ammoniaque distillée par la vapeur d'eau est piégée dans une solution d'acide borique avec quelque goutte d'indicateur coloré (phénolphtaléine). Elle réagit ensuite avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium

La 3<sup>ème</sup> étape à sa voir le titrage consiste à titrer directement l'ammoniaque sous la forme de borates d'ammonium à l'aide d'une solution standardisée 0.1 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### Expression des résultats

La teneur en protéines est exprimée en g pour 100 g de matière sèche.

$$N\% = \frac{(v1 - v2) \times T \times 0.014 \times 100}{m} \times \frac{100}{100 - H}$$

Le pourcentage de protéines est calculé en utilisant un facteur F de conversion de 6,25.

$$P\% = \%N \times 6.25$$

V1 : est le volume, en ml de l'acide sulfurique utilisé dans l'étape de titrage

V2 : est le volume en ml de l'acide sulfurique utilisé dans l'essai à blanc ;

T : est la molarité de l'acide sulfurique ;

m : est en g la masse de la prise d'essai ;

H : taux d'humidités.

#### II.4.4 Détermination de l'acidité titrable

##### Principe

Titration colorimétrique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium. ( *Cisse et al.,2010* ).

##### Mode opératoire

D'abord, il faut chauffer une quantité importante de l'eau distillée à 250°C pour dégager les gaz et l'azote. Après, On met 3 g de notre échantillon dans 50 ml de l'eau distillée, puis dans un bain Marie pendant 30 mn. On verse dans une fiole le mélange et on complète avec l'eau distillée jusqu'à 250 ml. Après 1h, un titrage est effectué avec 0.05 N de NaOH en ajoutant quelques gouttes de phénol phtaléine jusqu'à l'arrivé au point d'équivalence (virage de couleur). Trois essais ont été effectués pour chaque échantillon.

#### II.4.5 Expression des résultats

$$\text{Acidité \%} = \frac{N \times V1 \times V2}{V0} \times \frac{100}{m}$$

N : Normalité de la soude utilisée ;

V1 : Volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium ;

m : Masse, en grammes, de produit prélevé ;

V2 : Volume final de la solution dans la fiole jaugée (250 ml) ;

Vo : Volume, en millilitres, de la prise d'essai aliquote de la solution.

#### II.4.6 Détermination de la teneur des cendres

##### Principe

Chaque échantillon est calciné à 550°C dans un four à moufle jusqu'à obtention des cendres blanchâtres de poids constant.(*Cisse et al.,2010*).



### Mode opératoire

Dans des creusets en porcelaine, on met 2g de l'échantillon. Les creusets sont placés dans un four à moufle fermé. La température est augmentée progressivement ( $550^{\circ}\pm 15^{\circ}\text{C}$ ) de manière à éviter une calcination violente de produit jusqu'à obtention d'une couleur blanchâtre. A la fin, on met les échantillons dans le dessiccateur avant de les peser.

### Expression des résultats

La teneur en cendres est calculée par la formule suivante :

$$\text{Cendre \%} = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

M1 : masse de creuset + la prise d'essai (g) ;

M2 : masse de creuset après incinération (g) ;

P : masse de la prise d'essai (g).

### II.4.7 Détermination de la teneur en polyphénol totaux

#### Principe

D'abords, On a réalisé deux fois une macération de 2 g dans 50 ml d'acétone (80%) pour l'extraction des polyphénols à  $4^{\circ}\text{C}$  pendant 24h. L'acétone est éliminée par distillation à l'aide de l'évaporateur rotatif.

Le dosage des polyphénols est élaboré en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayon, 1968). La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux. (*Boizot et Charpentier, 2006*).

#### Mode opératoire

D'abords, on a réalisé une gamme d'étalonnage en milieu aqueux (0 à  $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) avec un polyphénol témoin, de l'acide gallique. Pour réaliser le dosage, 1 ml de Folin-Ciocalteu 1% est ajouté à 200  $\mu\text{L}$  d'extrait d'écorce d'orange. On ajoute ensuite 4 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7.5% et 10 ml d'eau distillé. Après 30 mn d'incubation à

température ambiante, la lecture de l'absorbance à 765 nm se fait grâce à un spectrophotomètre ultra visible. La concentration en composés phénolique extraits, exprimée en µg équivalent acide gallique par 100 g de matière sèche, est déterminée en se référant la droite d'étalonnage (**Annexe3**).

#### II.4.8 Détermination des huiles essentielles

##### Principe

L'Huile essentielle a été extrait à l'aide d'un hydrodistillateur de type Clevenger. (**Nawel 2015**).

##### Mode opératoire

On mélange 9 g de l'échantillon avec 500 ml d'eau distillé dans un ballon d'un litre de volume. L'ensemble est porté à ébullition pendant 3h. Les vapeurs chargées d'huile essentielle traversant un réfrigérant se condensent et chutent dans une ampoule à décantier. Deux phases non miscibles apparaissent : une phase huileuse surnageant et une phase aqueuse (**Hydra et Guettaf, 2016**). Par la suite une extraction liquide-liquide est nécessaire pour séparer entre l'huile essentielle et l'eau distillée.

#### II.4.9 Détermination de la couleur

##### Principe :

La quantification des changements de couleur des échantillons traités a été déterminée en utilisant un colorimètre permettant l'acquisition automatisée des paramètres L, a, b, dans le système Hunter-L a b où L représente le paramètre d'échelle Noir/blanc, a le paramètre d'échelle rouge/vert et b le paramètre d'échelle jaune/bleu. Le changement de couleur global est alors exprimé par la quantité  $\Delta EE$  dite distance de couleur.  $\Delta E$  est calculée en utilisant l'équation, où  $L_0$ ,  $a_0$  et  $b_0$  se rapportent aux valeurs de couleur mesurées pour un échantillon initial (avant séchage) (**Mennouche, 2016**).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$$

#### II.4.10 Détermination de la teneur en glucides totaux

##### Principe

L'acide sulfurique concentré provoque à chaud le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation de l'hydroxyméthyl furfural dans le cas d'un hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune orange). L'intensité de couleur varie selon la quantité des sucres présentés dans le milieu réactionnel. L'absorbance est mesurée à la longueur d'onde 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. (*Dubois et al., 1956*).

##### Mode opératoire

On introduit 2:20g m/m échantillon/eau-distillé dans un incubateur avec agitation à 60°C pendant 4 h. Après une filtration du contenu des débris d'écorce d'orange est effectué. On Ajoute 200 µL de phénol 5% au 200 µL d'extraits à l'abri de la lumière suivi d'une agitation par VORTEX. Par la suite, 1 ml d'acide sulfurique 96% est ajouté. Lecture par le spectrophotomètre à densité optique à 490 nm. La concentration en sucre totaux extraits, exprimée en mg équivalent glucose par 100 g de matière sèche, est déterminée en se référant la droite d'étalonnage (**Annexe3**).

#### II.5 Analyse microbiologique

Le contrôle microbiologique permet d'éviter la présence de microorganismes pathogènes afin de ne pas risquer une altération de la qualité hygiénique des produits finis ou au moins de détecter des microorganismes s'ils sont présents dans les produits finis avant leur consommation. Les analyses microbiologiques réalisées sur notre échantillon correspondent à la recherche et au dénombrement des germes représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.1:** Représentation simplifiée des germes recherchés.

Germes recherchés	Milieux utilisés	Type d'ensemencement	T d'incubation	Durée d'incubation
FMAT	PCA	En surface	30 °C	72 h
Coliformes Totaux	BCPL	En surface	37 °C	48 h
Coliformes Fécaux	BCPL	En surface	44 °C	48 h
Levures et moisissures	SABOUR AUD	En surface	25 °C	3 jours
Clostridium Sulfitoréducteurs	VF	En masse	37 °C	48 h
Salmonella	Milieu S-S	En surface	37 °C	48 h

### Préparation de solution mère et des dilutions décimales

Mettre 5 g de l'échantillon dans 45 ml de l'eau peptone dans des conditions aseptique A partir de la solution mère (SM), on prépare une série de dilution allant de ( $10^{-1}$ ,  $10^{-5}$ ), puis on répartit de manière aseptique les dilutions décimales à l'aide d'une micropipette. On introduit 1 ml de la solution mère dans 9 ml de l'eau peptone, (dilution à 1/10 ou  $10^{-1}$ ). On prélève 1 ml de la dilution  $10^{-1}$ , et on l'ajoute à la dilution  $10^{-2}$ , et on continue jusqu'à l'arriver à la dilution  $10^{-5}$ .

#### II.5.1 Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles total (FMAT)

Les microorganismes aérobies et aérobies anaérobies facultatifs se développent dans un milieu nutritif gélosé défini non sélectif incubé à 37°C pendant 48 heures. Ils apparaissent sous forme de colonies de tailles et de formes différentes. Des levures et des moisissures peuvent également se développer, ces dernières peuvent être différenciées.

#### Principe

Il s'agit d'une culture en profondeur ou en surface d'un milieu gélose PCA. La gélose est un milieu riche permettant le développement de la plupart des microorganismes susceptibles d'être rencontrés dans un aliment (*Bonnefoy et al., 2002*).

### Mode opératoire

1ml de la suspension mère et de ses dilutions est ensemencé en surface dans un milieu gélosé avec numération. Les boîtes seront incubées couvercle en bas à 30 °C pendant 72 heures. Les colonies des F MAT se présentent sous forme lenticulaire en surface. A la fin un dénombrement est effectué afin de compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes. Les résultats obtenus sont exprimés en UFC / ml du produit analysé.

### II.5.2 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux

Les coliformes étant des bactéries vivant dans les intestins d'animaux ou humains, leur présence dans l'aliment indique une pollution fécale. Ce sont donc des organismes indicateurs de la qualité de l'aliment. Ils ne provoquent pas d'intoxication sauf *Escherichia coli* (*NA 2691 1992 E*).

### Mode opératoire

Le test est effectué en utilisant le bouillon (BCPL). Tous les tubes sont munis de cloches de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu. A partir d'une solution mère ainsi que de ses dilutions décimales (de  $10^{-1}$  jusqu'à  $10^{-5}$ ), on procède à un ensemencement en surface. Incuber les Coliformes totaux à 37°C et Coliformes fécaux à 44°C. Tous les tubes présentant un dégagement de gaz, changement de couleur et présentant un trouble sont considérés comme positifs (+).

### II.5.3 Recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

#### Principe

Le dénombrement est réalisé en anaérobiose (en tube ou dans une jarre) et repose sur l'appréciation de la réduction du sulfite en  $H_2S$  dont la mise en évidence est obtenue par addition au milieu de sels de fer (*ISO15213*).

### Mode opératoire

D'abords, il faut Introduire dans un tube stérile 1 ml de la dilution mère  $10^{-2}$  et le mettre dans bain marie à 90°C pendant 10 mn environ, puis refroidir rapidement sous courant d'eau froide. Ensuite, introduire la gélose viande foie (VF) en présence d'un additif (alun de fer). Laisser se solidifier pendant 30 mn, puis incubé à 37°C

pendant 48h. Les Clostridium sulfito-réducteurs apparaissent sous forme des colonies, entourés d'un halo noir.

#### **II.5.4 Recherche des salmonella**

##### **Principe**

La mise en évidence des Salmonella par la méthode "traditionnelle" nécessite plusieurs phases : un pré-enrichissement (revivification) qui est facultatif pour les produits non soumis à certains types de traitements technologiques susceptibles de "stresser" les bactéries, un enrichissement sélectif (obligatoire)

##### **Mode opératoire**

Mettre 25 g d'échantillon dans 250 ml de l'eau peptone et l'incuber à 37°C pendant 48h. Les tubes présentant un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu un jaunissement sont considérés comme positifs.

A partir d'une goutte d'un des milieux d'enrichissement on réalise un isolement sur milieu SS, incuber pendant 24h à 37°C. Les Salmonella apparaissent sous forme des colonies à centre noir.

#### **II.5.5 Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures à 25°C**

##### **Principe**

La recherche des levures et moisissures se fait sur gélose OGA ou SABORAUD. Ces deux milieux favorisent la croissance des levures et moisissures en inhibant le développement des bactéries.

##### **Mode opératoire**

A partir des dilutions décimales,  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$ , porter aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétri contenant de la gélose SABOURAUD. Étaler les gouttes à l'aide d'un râteau stérile, puis incuber à 25°C pendant 3 jours. Les moisissures se présentent en colonies ayant un aspect velouté, les levures se présentent en colonies semblables à celles des bactéries mais plus brillante et ronde.

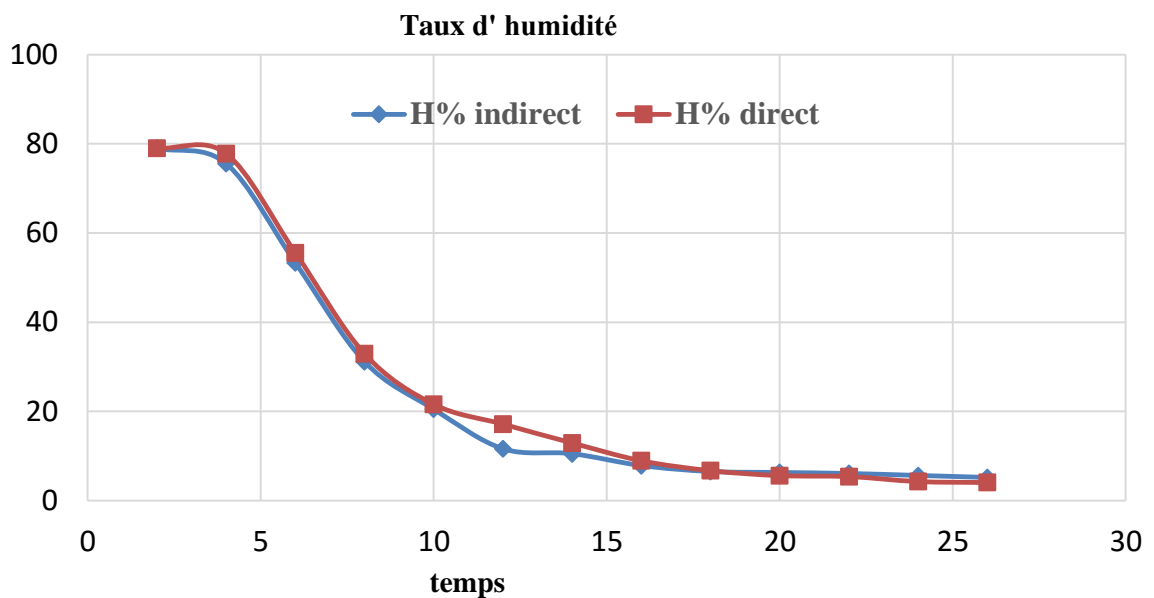
---

## **Chapitre III. Résultats et Discussions**

---

### III.1 La teneur en eau et la matière sèche

La teneur en eau d'un échantillon d'aliment est définie comme pourcentage de la masse d'eau rapportée soit à la masse de matière sèche contenue dans l'échantillon, soit à la masse totale de la matière humide de l'échantillon.



**Figure III.1:** Courbe représentant la teneur en eau des écorces d'orange.

D'après les résultats obtenus, la teneur en eau initiale de l'écorce d'orange fraîche est de 79 % , et les résultats convergent avec la variété étudiée par (*Taouch, 2017*).

La durée de séchage est estimée à 26 heures qui donne une teneur finale en eau de 4,06 % pour le séchoir solaire direct (SD) et 5,17% pour le séchoir solaire indirect (SI).

Durant la première journée de séchage une diminution remarquables en teneur en eau est observée pour les deux types de séchoirs. Une diminution de 57.4% de l'écorce d'orange pour le séchoir solaire direct et 58,51% de pour le séchoir solaire indirect. Ce qui explique l'évaporation d'une quantité d'eau importante représentant une masse de 35,3 g pour le séchoir solaire direct et 35,5 g pour le séchoir solaire indirect. Pour le deuxième jour la diminution d'humidité est moins importante, elle été d'environ 15,18% pour l'écorce d'orange en arrivant au poids de 15.5 g pour le séchoir solaire direct, et l'écorce d'orange pour le séchoir solaire indirect est de 13,99 % en arrivant au poids de 14,7 g.

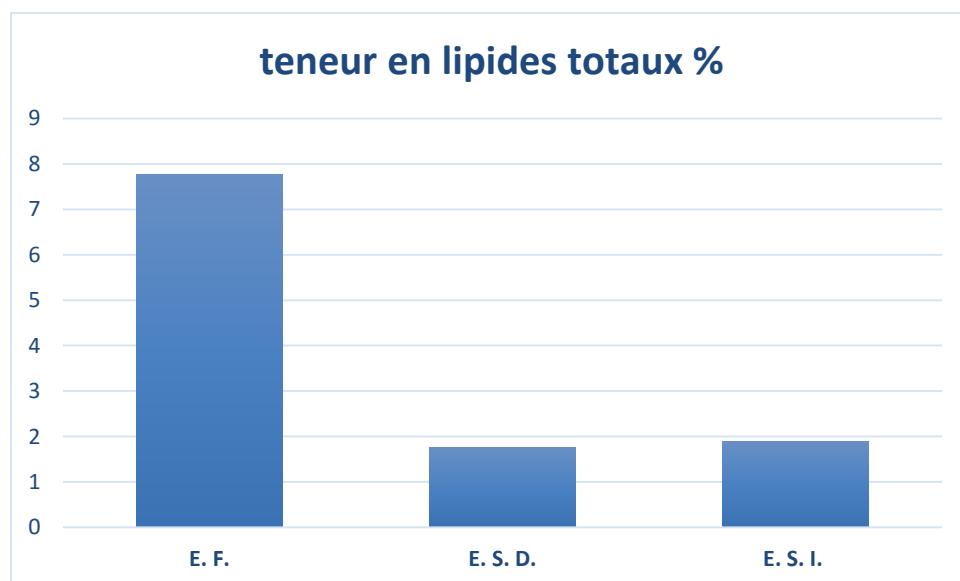


Et en fin pour la 3<sup>ème</sup> journée, la courbe d'humidité se stabilise et tend vers la fin de l'opération de séchage. L'humidité évaporée pendant cette période est très faible (2,66% pour l'écorce d'orange de séchoir solaire direct et 1,33% pour l'écorce d'orange de séchoir solaire indirect) .

D'après les résultats obtenus, nous expliquons la différence de l'humidité des écorces d'orange entre les deux séchoirs solaires (direct et indirect) par les paramètres suivants : la température, l'écoulement d'aire et la construction physique de séchoir solaire.

### III.2 Détermination des lipides totaux

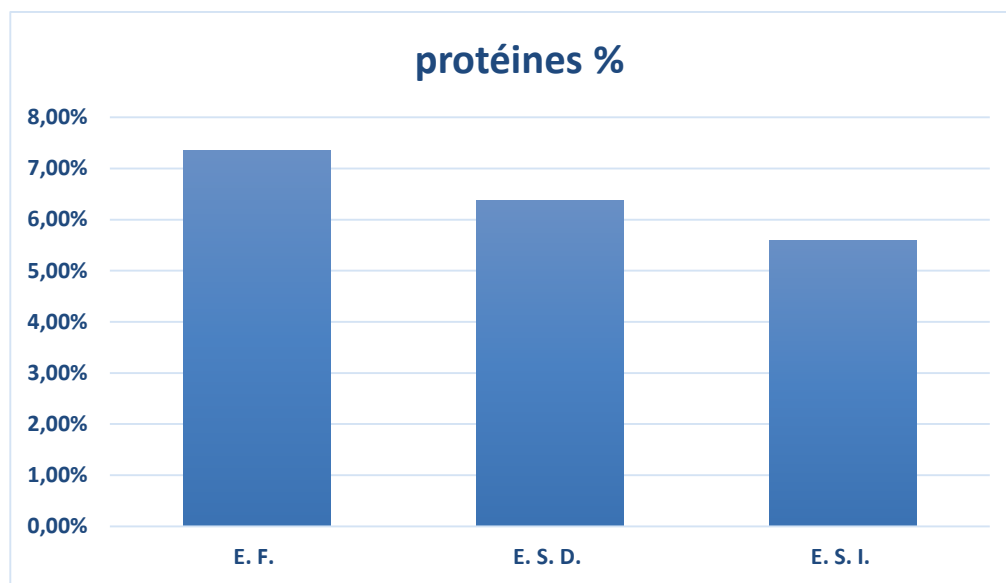
La teneur en lipides totaux de nos échantillons est présentée dans la figure III.2. D'après les résultats obtenus nous constatons une diminution importante de teneur de lipides totaux dans les écorces séché au séchoir solaire direct et indirect. Cette diminution montre la dégradation des composés apolaires tels que les huiles essentielles qui sont volatiles, ou des pigments dissous dans les globules lipidiques qui peut détruit par l'effet de chaleur et l'écoulement d'aire. On peut expliquer cette dégradation ainsi par : l'oxydation des lipides (les huiles fixes) qui correspond à l'effet de température élevée dans le séchage soit direct ou indirect, cette température peut oxyder les acides gras insaturée (AGI) par la voie d'auto oxydation. Ces AGIs peuvent aussi être oxydé par la voie photo-oxydation (effet de la lumière) spécialement dans le séchoir solaire direct.



**Figure III.2:** Teneur en lipides totaux.

### III.3 Détermination des protéines

La teneur en protéines des échantillons est présentée dans la figure III.3. Les résultats montrent que le taux des protéines dans l'écorce d'orange frais est légèrement plus important (7,35%) que les écorces sèches par deux modes séchage direct et indirect (6,38% et 5,60%) respectivement.

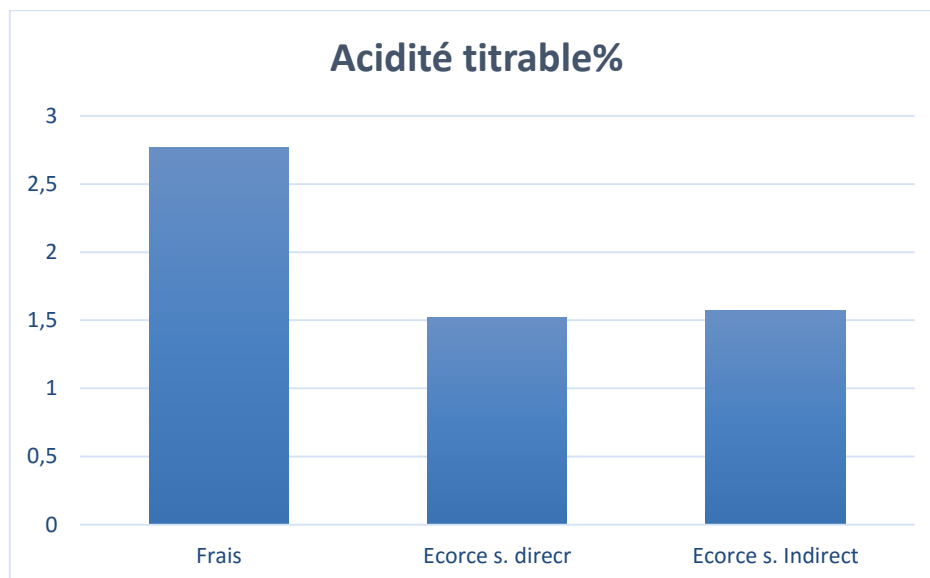


**Figure III.3:** Teneur en protéines des échantillons d'écorces d'orange.

On peut expliquer cette diminution de protéines par l'effet de la température de séchage et l'exposition des produits à l'aire libre qui peut provoquer une rupture des liaisons hydrogènes qui ne sont pas particulièrement solides. Leur fragilité rends les protéines vulnérables (*Berrada, 2009*). On remarque aussi, les protéines dans l'écorce d'orange séché par le séchoir solaire indirect est plus ou moins inférieure que l'écorce d'orange séché par le séchoir solaire direct, cela due à la température de séchoir solaire indirect qui est plus élevée que le séchoir solaire direct suite à la structure de chaque séchoir.

### III.4 Détermination de l'acidité titrable

L'acidité totale permet de préserver la qualité microbiologique du produit, elle entraîne aussi une stabilité organoleptique (*Azem et Chabane, 2016*). La teneur en acidité titrable des échantillons est présentée dans la figure III.4.

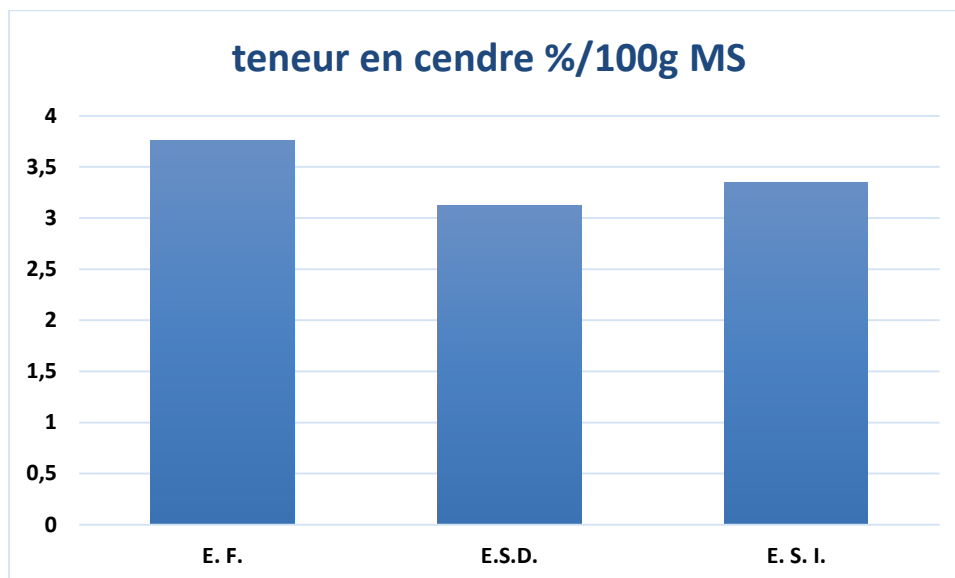


**Figure III.4:** Teneur en acidité titrable

Par rapport aux résultats obtenus, on remarque que l'acidité titrable dans l'écorces d'orange séché par les deux modes de séchage direct (1,57%) ou indirect (1,52%) est presque similaire et inférieure à celle de l'écorce frais (2,77 %). Cette différence peut s'expliquer par le degré d'élimination d'eau qui se traduit par une augmentation des matières sèches des produits une concentration remarquable d'éléments (*Daniel 2015*).

### III.5 Détermination de la Teneur en cendre

Les cendres sont des résidus inorganiques d'un produit après que la matière organique a été enlevée en la brûlant à des températures très élevées. Les cendres peuvent contenir une variété de composés inorganiques, y compris Sodium (Na), Potassium (K), calcium (Ca)...etc. La détermination du contenu en cendres peut être importante pour plusieurs raisons. Il fait partie de l'analyse proximale pour l'évaluation nutritionnelle. La teneur en cendre de nos échantillons est présentée dans la figure III.5.



**Figure III.5:** Teneur en cendre des écorces d'orange.

Au regard de l'histogramme des cendres sur la figure III.2, on constate que les teneurs en cendres des échantillons d'écorce d'orange séché par séchoir solaire direct (ESD), indirect (ESI) et frais (EF) ont des valeurs presque similaires : 3,12% ; 3,35% et 3,76% respectivement. Ces résultats sont très proches à ceux obtenus par (*Boudraa ,2017*), qui ont trouvé une teneur en cendre de 1,43%. On peut conclure que le mode de séchage n'influence pas sur la teneur en cendres.

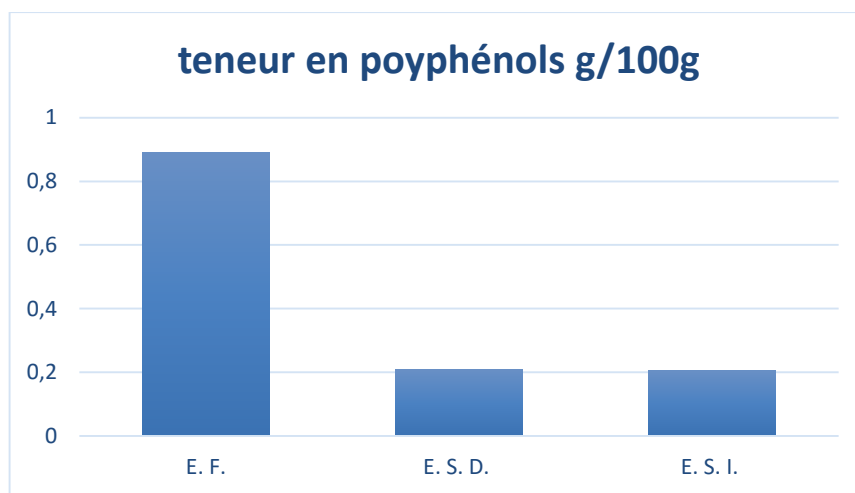
### III.6 Détermination de teneur en polyphénol totaux

Les citrus sont une source importante en composés bioactifs dont les composés phénoliques (acide phénolique, flavonoïdes...) qui peuvent être le majeur contributeur à l'activité antioxydante.

Les concentrations des polyphénols totaux sont calculées à partir de l'équation de régression de la gamme étalonnage établie avec l'acide gallique  $Y = 0,0079x + 0,030$ . La teneur en polyphénol des échantillons est présentée dans la figure III.6.

Les résultats montrent clairement que l'écorce frais est plus riche en polyphénols (0,89 g/100g) que dans l'écorce d'orange sèche (0,209 g/100g pour le SD et 0,206 g/100g pour le SI). Les résultats trouvés dans des travaux précédents sont réciproque ( *Manganaris et Goulas, 2012*). On peut expliquer la différence de la teneur en polyphénol dans les écorces d'oranges (fraîche et sèche) par la perte de certaine quantité de polyphénols sous l'effet de

procédé de séchage. Autres études ont montré que les teneurs en polyphénols totaux des extraits d'écorce d'orange sont réciproque avec nos résultats qui sont 160,3 mg/g (*Ghasemi et al., 2009*). Cependant, une valeur inférieure en polyphénols est obtenue par (*Fadila, 2018*) pour des extraits d'écorce d'orange (83 mg/g). Ceci peut être dû à la nature du solvant utilisé, la méthode d'extraction et la température d'extraction.



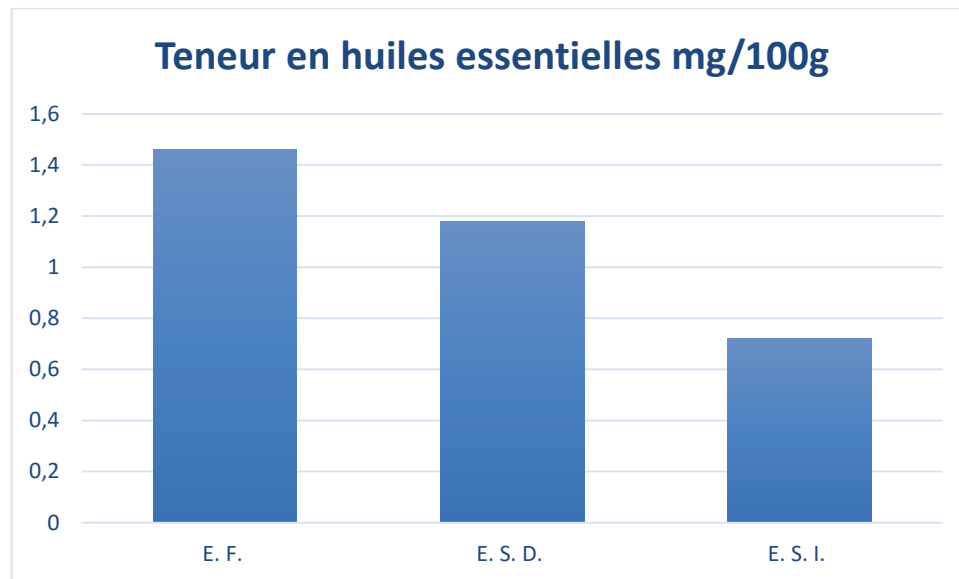
**Figure III.6:** Teneur en polyphénols.

Plusieurs facteurs peuvent influencer les taux des composés phénoliques tels que la présence de certains groupements chimiques (l'acide ascorbique, les acides organiques, les sucres, les amines aromatiques), l'augmentation de la matière sèche entraîne une augmentation de la concentration de ces groupements, qui peuvent réagir avec les polyphénols, ce qui conduit à sa diminution.

la période de la récolte et le type de l'espèce ainsi le mode de conservation des substrats d'extraction (*Ghafar et al., 2010*).

### III.7 Détermination des huiles essentielles

La figure III.7 illustre la teneur en huiles essentielles des échantillons frais et séchés. D'après les résultats obtenus on remarque que la teneur en huiles essentielles est très faible dans les écorces d'orange fraîche ainsi que dans les échantillons séchés par voie directe et indirecte. Leurs teneurs est de 1,46 mg/100g, 1,18 mg/100g et 0,72 mg/100g dans EF, ESD et ESI, respectivement.



**Figure III.7:** Teneur en huiles essentielle.

On peut expliquer cette faible teneur en huiles essentielle dans les écorces frais par l'extraction en retard après la récolte de fruit selon (*Goudjil et al., 2015*) qui montre que le meilleur temps d'extraction des huiles essentielles est environ de quatre à six jours après la récolte, puisque la teneur en huiles essentielles est à son maximum. Au-delà de cette période, elles perdent qualitativement et quantitativement leurs huiles essentielles.

On peut ainsi expliquer la diminution de leur teneur dans les écorces sèches par l'influence de chaleur de séchage et l'écoulement d'air sur les huiles essentielles volatils présents dans les écorces d'orange. Selon (*Goudjil et al., 2015*) on peut expliquer la déférence de teneur en huile essentielles dans les écorces fraiche et sèches par l'activité physiologiques (réaction enzymatique) est important dans la période après récolte (écorce fraiche). Tandis que la biosynthèse des huiles essentielles continue et s'accélère après la récolte du matériel végétal en réponse au stress hydrique et sa diminution après le séchage est dû à la réduction ou l'arrêt de l'activité enzymatique causant la mort des cellules suite à une forte déshydratation.

### III.8 Qualité de couleur

L'estimation des changements de couleur des échantillons séchés et fraiche a été déterminée en utilisant un colorimètre permettant l'acquisition automatisée des paramètres L, a et b. Les paramètres de couleur de la surface ont été mesurés (à raison de trois mesures par échantillons) puis ramenés à une moyenne. Le changement de couleur global est alors

exprimé par la quantité  $\Delta E$ , dite distance de couleur. Les valeurs de  $\Delta E$  calculées sont données par le tableau III.1 et III.2.

**Tableau III.1:** Variations de la distance de couleur de l'écorce d'orange pour le séchage solaire direct et indirect

Échantillon	Séchoir solaire direct			Séchoir solaire indirect			Fraiche		
	L	a	b	L	a	b	L	A	B
1	7,33	0,72	8,62	8,3	9,31	23,6	4,6	8,68	8,16
2	7,29	0,09	3,4	8,02	8,77	23,17	5,18	9,2	8,28
3	7,29	0,09	3,4	7,49	8,3	23,08	5,16	9,05	8,28
<b>Moyenne</b>	7,30	0,3	5,14	27,93	8,79	23,28	4,98	8,97	8,24

**Tableau III.2:** La variation de différence de couleur  $\Delta E$  de l'écorce d'orange.

Échantillon	Séchage solaire direct	Séchage solaire indirect
$\Delta E$	43,35	28,03

On remarque que la variation de différence de couleur  $\Delta E$  de l'échantillon séché par le procédé de séchage solaire direct ( $\Delta E = 43,35$ ) est plus petite que celle de l'échantillon séché en utilisant le séchoir solaire indirect ( $\Delta E = 28,03$ ).

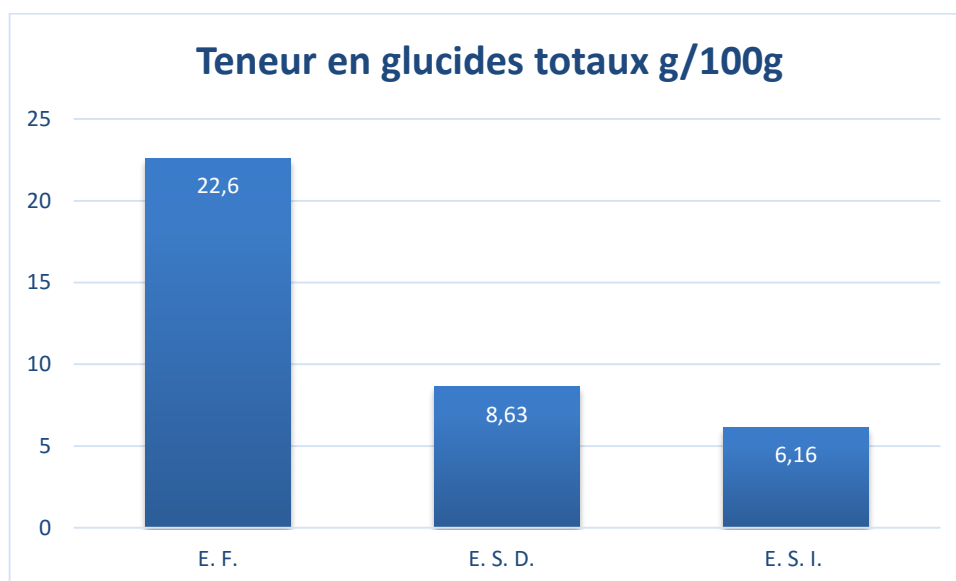
Ce résultat montre que le rayonnement solaire influe directement sur la l'aspect visuelle du produit et donc le séchage solaire indirect présente un procédé adéquat pour la valorisation de l'écorce d'orange et qui peut garantir une meilleure qualité organoleptique (l'apparence).

### III.9 Détermination de la teneur en glucide totaux

La teneur en glucides totaux des écorces d'orange séchée par deux modes de séchage (directe et indirecte) relève un taux inférieure à la teneur en glucide des échantillons frais représenté dans la figure III.8 , soit de 61.81% pour échantillons directe et 72.74% pour les échantillons séché par voie indirect par rapport au écorce d'orange fraiche .

La présence de certains groupements chimiques (acide ascorbique, acides organiques, polyphénols, amines aromatiques) peut affecter les taux de composés après séchage, ce qui

augmente la concentration en matière sèche de ces groupements, qui peuvent réagir avec les glucides entraînant une réduction de leur teneur globale dans les échantillons.



**Figure III.8:** Teneur en glucides totaux.

### III.10 Analyse microbiologique

Les résultats donnés par le tableau III.3 révèlent l'absence de toute activité microbiologique pouvant altérer les écorces séchées par séchoir solaire direct. Ceci est attribué en grande partie à l'efficacité du séchoir solaire appliqué aux écorces.

**Tableau III.3:** Résultats des analyses microbiologiques de l'écorce d'orange sèche par le séchoir solaire direct.

Échantillon	Écorce d'orange séchée par séchoir solaire direct				
	FMAT	Coliformes totaux et fécaux	<i>Clostridium</i>	<i>Salmonella</i>	Levures et moisissures
Présence ou absence	$0.3 \cdot 10^3$	Abs	Abs	Abs	$0.2 \cdot 10^2$
Les normes	$10^5$	$10^2$	$10^2$	0	$10^4$

La qualité microbiologique de l'écorce d'orange étudiés est interprétée conformément à l'arrête interministériel du 2 juillet 2017(Jora, 2017). Selon ces normes, la qualité de l'écorce d'orange est satisfaisante.



Les résultats obtenus pour la recherche de germe pathogène (*Salmonella*), et les germes (*Clostridium*, les *FMAT*, et les *Coliformes*) sont conformes avec la législation et les normes publiées dans le journal officiel de la république N°39, qui exige une absence totale des germes pathogène et une valeur limite de quelque germe non pathogènes, concernant les fruits et légumes séchés.

On note également une présence faible des levures et moisissures dans nos échantillons étudiées, ce qui montre la bonne maîtrise et la bonne pratique de manipulation et de préparation, et la bonne pratique d'hygiène.

Nous expliquons cette faible flore microbienne par la diminution de l'activité de l'eau dont elle considérée comme le principal milieu de croissance pour les microorganismes qui ont besoin d'eau pour leur activité métabolique tandis que seule une certaine proportion de l'eau totale présente dans l'aliment, appelée « eau libre », est utilisée à cette fin. La quantité d'eau libre, appelée « activité de l'eau », donc on peut considérer le séchage solaire une méthode convenable pour la stabilisé microbiologique.

Ces résultats montrent que les écorces séchées présentent une qualité hygiénique acceptable, ce qui confirme le respect des règles d'hygiène du personnel et du matériel durant le processus de préparation, de séchage et de stockage. On peut donc dire que le produit est d'une haute qualité hygiénique en vigueur de sa bonne qualité microbiologique.

---

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

Les écorces d'oranges sont une source importante de déférentes nutriments et antioxydants ce qui nous amène à le valoriser et maintenir sa qualité physico-chimique et microbiologique.

Les séchoirs solaires direct et indirect sont bien adaptés pour garder la qualité de ces écorces notamment dans les régions arides et semi-arides qui disposent d'un gisement solaire important.

Les résultats obtenus à travers les analyses physico-chimiques ont montrer que le taux d'humidité finale après le séchage est de 4.06 % pour le séchoir solaire direct et 5.17% pour le séchoir solaire indirect. Ainsi que, la teneur en cendre après le séchage direct et indirect est presque similaire (3.12% ; 3.35%) respectivement

La teneur en lipides totaux après le séchage direct et indirect est 1.76%, 1.89% respectivement. Par contre, la teneur en acidité titrable dans l'écorces d'orange séché par les deux modes de séchage direct ou indirect est presque similaire et inferieur à celle de l'écorce frais (2,77 %).

La variation de différence de couleur  $\Delta E$  de l'échantillon séché par le séchage solaire direct est plus petite que celle de l'échantillon séché par le séchoir solaire indirect. Ces résultats montrent que le séchoir solaire indirect garde mieux la qualité de ces paramètres. Tandis que, le taux des protéines dans l'écorce d'orange frais est légèrement plus important (7,35%) que les écorces sèches par deux modes séchage direct et indirect (6,38% et 5,60%) respectivement.

Ainsi, l'écorce frais est plus riche en polyphénols (0,89 g/100g) que dans l'écorce d'orange sèche (0,209 g/100g pour le SD et 0,206 g/100g pour le SI).

La teneur en huiles essentielles est très faible dans les écorces d'orange fraiche ainsi que dans les échantillons séchés par voie directe et indirecte. La teneur en glucides totaux des EF est de 22.6%, cette valeur est largement inférieure des écorces d'orange séchées par les deux modes.

Les résultats microbiologiques indiquent une bonne qualité hygiénique avec une absence totale des germes pathogènes dans les deux types de séchage.

En terme de perspective et dans le but de compléter ce travail dans l'avenir, est serait intéressant d'une part d'optimiser les teneurs de séchage afin d'améliorer le rendement des

## Conclusion générale

---

paramètres étudiés, d'une autre part d'utiliser des techniques d'analyses avancées (HPLC) pour mieux identifier les substances glucidiques, anti oxydantes, lipidiques... ..

De plus, est recommandé d'élargir l'étude sur d'autres paramètres (fibres, acides ascorbiques.....)

- Afnor, J. (1982).** "Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits." 325.
- Amrouche, F. (2014).** "Le séchage." Retrieved 6 mars 2021, from <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article149>
- Anonyme,(2003).**NF EN ISO 15213,AFNOR ,Paris
- Araba Oum Hani, B. (2016).** "Contribution à l'étude de la biodiversité entomologique dans un verger d'agrumes dans la région de Guelma."
- Aust, O., Sies,H., Stahl,W., Polidori,M .(2001).** "Analysis of lipophilic antioxidants in human serum and tissues: tocopherols and carotenoids." 936(1-2): 83-93.
- Aware, R., Thorat, BN (2012).** Séchage solaire de fruits et légumes. Séchage solaire : fondamentaux, applications et innovations , 51 .
- Bala, B., Mondol, M., Biswas, B., Chowdury ,B., Janjai ,S. (2003).** "Solar drying of pineapple using solar tunnel drier." 28(2): 183-190.
- Bejar, A., Ghanem, N.,Mihoubi, D.,KechaouN., Mihoubi,N. (2011).** "Effect of infrared drying on drying kinetics, color, total phenols and water and oil holding capacities of orange (Citrus sinensis) peel and leaves." 7(5).
- Belguendouz-Benkhefha, R., Biche, M., Adda, R., Allal- Benfekih,L. (2013).** "Bio-ecology of a citrus pest (Aonidiella aurantii Maskell)(Hemiptera, Diaspididae): spatiotemporalrelationship with its host plants Citruslimon and C. sinensis in Algiers region." 14-21.
- Benaouda, L. (2006).** Evaluation de l'état nutritionnel en éléments majeurs secondaires d'un verger agrumicole de la plaine de la Mitidja.
- Benammar, R., Gouri, K. (2018).** Séchage Solaire des Produits Agricoles. . Mémoire de master, KasdiMerbah-Ouargla.
- Berrada, S. (2009).** LES PROTEINES : STRUCTURE, PROPRIETES ET APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES.
- Berrah, M. (2019 ).** "LA PRODUCTION AGRICOLE Campagnes 2016/2017 et 2017/2018 " N°881 Retrieved 22/05/2021, from: <http://www.ons.dz>
- Blondy, A. (2003).** Bibliographie du monde méditerranéen: relations et échanges de la chute de Constantinople (1453) à la reconquête ottomane de Tripoli (1835), Presses Paris Sorbonne.
- Boizot, N., Charpentier, J. (2006).** "Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier." 79-82.
- Bonnefoy, E., Lapostolle, F., Leizorovicz, A., Steg,G., McFadden, E. P., Dubien, P. Y.,Cattan, S., Boullenger, E., Machecourt, J., Lacroute, J. (2002).** "Primary angioplasty versus prehospital fibrinolysis in acute myocardial infarction: a randomised study." 360(9336): 825-829.
- Boudraa, I. (2017).** Etude comparative entre deux méthodes d'extraction de la pectine de l'écorce de deux variétés d'orange (Thomson et Sanguine). Mémoire de master ,Université de Jijel.

- Boulemtafes, A., Benaouda, N. (2006).** Le Séchage Solaire des Plantes Médicinales et Aromatiques-Application au Séchage de la Menthe, 1er Séminaire Maghrébin sur les Sciences et Technologies de Séchage.
- Brat, P., Brillouet, J., Reynes, M., Cogat, P., and Ollé, D. (2000).** Free volatile components of passion fruit puree obtained by flash vacuum-expansion. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(12): 6210-6214.
- Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie: phytochimie plantes médicinales.
- Barros, H., Ferreira, T., Genovese, M. (2012).** Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*. 134, 1892-1898.
- Azem, S., Chabane, N. (2016).** Analyses physico-chimiques de trois marques du jus d'orange et dosage de l'aspartame et du benzoate de sodium. Thèse doctorat, Université Mouloud Mammeri.
- Cisse, M., Ayessou, K., Alé, N. A., Ndiaye, O. I., Cisse, K., Toure, C., Sakho, M. (2010).** "African Food Tradition rEvisited by Research FP7 n 245025."
- Daniel, D. R. (2015).** Caractérisation de la composition chimique et potentialités antioxydants de l'huile essentielle de curcuma longa (Zingiberaceae), université d'Antanarivo. Thèse doctorat, Université paris-Sud
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., Smith, F. (1956).** "Colorimetric method for determination of sugars and related substances." 28(3): 350- 356.
- Dudez, P., Thémelin, A., Reynes, M. (1996).** Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés, Édition du Gret.
- Dugo, P., Mondello, L., Lamonica, G., Dugo, G., Chemistry, F. (1997).** "Characterization of cold-pressed Key and Persian lime oils by gas chromatography, gas chromatography/mass spectroscopy, high-performance liquid chromatography, and physicochemical indices." 45(9): 3608-3616.
- Bounab, D., Chahbi, Y., (2018).** Etude de la variabilité morphologique au sein d'une collection d'agrumes cultivée à l'Est Algérien, W. Skikda. Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine.
- Ekechukwu, O. V., Norton, B. (1999).** "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology." 40(6): 615-655.
- El Othmani, M. (2005).** Les agrumes, le maraîchage et le froid hivernal. Transfert de technologie en agriculture, (127), 4.
- Eltawil, M.A., Zhengming, Z., & Yuan, L. (2009).** Un examen des technologies d'énergie renouvelable intégrées aux systèmes de dessalement. *Revue des énergies renouvelables et durables*, 13 (9), 2245-2262.
- Fadila, H. (2018).** ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET POUVOIR ANTIOXYDANT DE L'ECORCE D'ORANGE ET CITRON. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem
- Fain, O. (2004).** "Vitamin C deficiency." 25(12): 872-880.

- Farnworth, E., Lagace, M., Couture, R., Yaylayan, V., Stewart, B. (2001).** "Thermal processing, storage conditions, and the composition and physical properties of orange juice." 34(1): 25-30.
- De Castro, M., Gamiz-Gracia, L. (2000).** "Continuous subcritical water extraction of medicinal plant essential oil: comparison with conventional techniques." 51(6): 1179-1185.
- Ghafar, M., Prasad, K., Weng, K., Ismail, A. (2010).** "Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species." 9(3).
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y., Ebrahimzadeh, M. (2009).** "Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues." 22(3): 277-281.
- Goudjil, M., Ladjel, S., Bencheikh, S., Zighmi, S. (2015).** "Influence du séchage sur le rendement de l'extraction des huiles essentielles de Mentha piperita."
- Goulas, V., Manganaris, G.A., (2012).** Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus. Food Chemistry. 131 : 39-47
- Hama, F., Asloune, H., Issaadi, O. (2017).** "Effet d'association d'extrait de pulpe d'orange et citron sur l'activité Antioxydante."
- Hennebelle, T., Sahpaz, S., Bailleul, F. (2004).** "Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif." 2(1): 3-6.
- Hydra, L., Guettaf, N. (2016).** Caractérisation de l'huile essentielle extraite de écorces d'oranges et sa mise en évidence dans l'activité antibactérienne. Mémoire de maste, Université Akli Mouhand Oulhadje-Bouira.
- Ignat, I., Volf, I., Popa, V. (2011).** "A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables." 126(4): 1821- 1835.
- Jora, (2017).** "Arête du 2/07/2017 de journal officiel de la république algérienne N°39. Relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires. L'industrie agroalimentaire Algérie, p26.
- Kimball, D. (1999).** Description of Citrus Fruit. Citrus Processing, Springer: 7-42.
- Kouhila, M., Belghit, A., Dagenet, M. (2001).** "Détermination expérimentale et théorique des courbes de sorption et de la cinétique de séchage de la menthe verte." 37(233): 20-31.
- Kouhila, M., Belghit, A., Kaoua, M., Dagenet, M. (1998).** "Etude expérimentale du séchage convectif de la menthe dans un séchoir modulaire polyvalent à chauffage partiellement solaire." 1(6).
- Lahsani, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A., Jamali, A. (2004).** "Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (Opuntia ficus indica)." 29(2): 211-224.
- M'Hiri, N. (2015).** Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange «Maltaise demi sanguine» et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone. thèse doctorat, Université de Lorraine .
- Madhlopa, A., Jones, SA et Saka, J. (2002).** Un réchauffeur d'air solaire avec des systèmes composites-absorbeurs pour la déshydratation des aliments. Énergies

- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C. Rémésy, C., Jiménez, L. (2004).** "Polyphenols: food sources and bioavailability." 79(5): 727-747.
- Manner, H., Buker, R., Smith, V., Ward, D., Elevitch, C. (2006).** "Citrus (citrus) and Fortunella (kumquat)." 2: 1-35.
- Marín, F., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J., Pérez- Alvarez, J. (2007).** "By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres." 100(2): 736-741.
- Mechlouch, R., Bagane, H. M. Slama, R., Brahim, A. B. (2010).** "ETUDE COMPARATIVE DE DEUX INSTALLATIONS DE SECHAGE SOLAIRE: SECHOIR DIRECT ET SECHOIR INDIRECT."
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., Heredia, F. (2007).** "Analysis of carotenoids in orange juice." 20(7): 638-649.
- Mennouche, D. (2016).** Etude et amélioration de l'efficacité énergétique des séchoirs solaires en application dans les zones amdes désertiques. Thèse de doctorat , Université de Béjaia-Abderrahmane Mira .
- Meziane, M. (2013).** Assainissement et régénération des plantes d'Agumes par l'Embryogenèse somatique à partir de la culture de stigmat et style. Thèse de doctorat , ENSA El-Harrach. ALGER.
- Midilli, A., Kucuk, H. (2003).** "Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio." 28(6): 539-556.
- Milind, P. C. (2012).** "Orange: range of benefits." 3(7): 59-63.
- Mirvish, S. (1986).** "Effects of vitamins C and E on N-nitroso compound formation, carcinogenesis, and cancer." 58(S8): 1842-1850.
- Nicolosi, E., breeding and biotechnology (2007). "Origin and taxonomy." 19- 43.
- Omoba, O. Obafaye, S. Salawu, A., Boligon, A., Athayde, M. (2015).** "HPLC-DAD phenolic characterization and antioxidant activities of ripe and unripe sweet orange peels." 4(3): 498-512.
- Ouis, N. (2015).** Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, des fenouils et de persil. Thèse de doctorat, Université Ahmed Ben Bella-Oran, Alger
- Pangavhane, D., Sawhney, R. (2002).** "Review of research and development work on solar dryers for grape drying." 43(1): 45-61.
- Percebois, J. (1975).** "L'énergie solaire: perspectives économiques."
- Ramful, D., Bahorunb, T., Bourdonc, E., Tarnusc, E., Aruoma, O., (2010).** Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits. Potential prophylactic ingredients for functional foods application. Toxicology, 278 (1): 75-87.
- Reddam, S., Saf, A. (2018).** "Technologies de séchage Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve". Mémoire de master, Université A. MIRA – Bejaia.renouvelables , 27 (1), 27-37.
- Robards, K., Antolovich, M. (1995).** "Methods for assessing the authenticity of orange juice. A review." 120(1): 1-28.



- Sahraoui, N., Vian, M., El Maataoui, M., Boutekedjiret, C., Chemat, F. (2011).** "Valorization of citrus by-products using Microwave Steam Distillation (MSD)." 12(2): 163-170.
- Sharma, A., Chen, C., Lan, N. (2009).** "Solar-energy drying systems: A review." 13(6-7): 1185-1210.
- Simate, I. (2003).** "Optimization of mixed-mode and indirect-mode natural convection solar dryers." 28(3): 435-453.
- Statistics, F. (2010).** "Food and Agriculture Organization of the United Nations." 3(13): 2012.
- Statistics, M. (2016).** USDA—National Agricultural Statistics Service and Montana Department of Agriculture.
- Taouch, Z. (2017).** Etude comparative entre deux méthodes d'extraction de la pectine à partir de l'écorce de deux variétés d'orange (Thomson, Sanguine). Mémoire de master, Université de Jijel Master.
- Tauscher, B. (1995).** Pasteurisation des aliments par haute pression hydrostatique : aspects chimiques. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung , 200 (1), 3-13.
- Teh, S., Bekhit, A., Birch, J. (2014).** "Antioxidative polyphenols from defatted oilseed cakes: effect of solvents." 3(1): 67-80.
- Vertuani, S., Angusti, A., Manfredini, S. (2004).** Le réseau des antioxydants et pro-antioxydants : un aperçu. Conception pharmaceutique actuelle , 10 (14), 1677-1694.
- Virbel-Alonso, C. (2011).** "Citron et autres agrumes."
- Wang, Y., Chuang, Y., Wen Hsu, H. (2008).** "The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan." 106(1): 277-284.

### Annexe 1 : Matériels et produits chimiques



Lavage d'oranges



Égouttage



Épluchage

Figure 1 : Les étapes de préparation écorce d'orange.

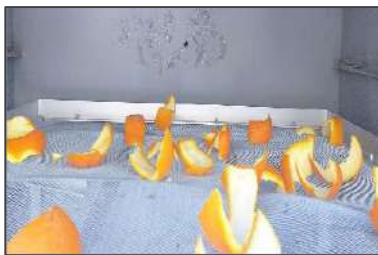


Figure 2 : les écorces d'oranges dans séchoir solaire indirect et direct

### Annexe 2 : Matériels et produits chimique

**Les verreries :** Tubes à essais, Bécher, Erlenmeyer, Flacons, Entonnoir, Fiole jaugée, Pipette graduée, Burette, Pipette pasteur, Vert de montre, Ballon, Eprouvette graduée

#### Les produits chimiques

Carbonate de sodium ( $\text{Na}^2\text{CO}^3$ )

Folin-ciocalteu

Acide gallique

Sulfate de cuivre  $\text{CuSO}_4$

Sulfate de potassium  $\text{K}_2\text{SO}_4$

Acide borique

Rouge de méthyle

L'eau distillée

Acide sulfurique concentré 98% et diluée  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Na OH

Hexane et Acétone



**Balance de précision**



**Ballon chauffante**



**Plaque chauffante**



**VORTEX**



**Agitateur et barreau magnétique**



**cleverger**



**ROTAVAPOR**



**four à moufle**



**Le spectrophotomètre**



**Étuve**



**SOXHLET**



**Appareil de Colorimètre**

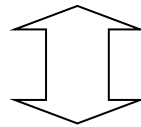
**Annexe 3 : Les méthodes physico-chimiques**



Masse de la capsule  
+ matière fraîche avant séchage



Séchée dans une étuve à 105°C



Masse de l'ensemble après séchage en g

**Figure 1** : les étapes détermination de la teneur en eau.



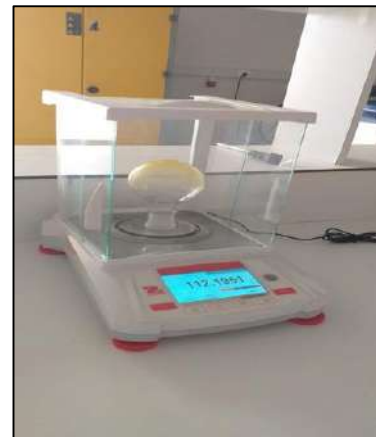
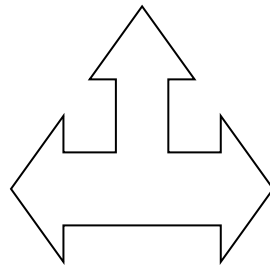
Extraction par soxhlet



Concentration des extraits



Hexane récupéré par rota vapeur



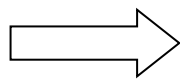
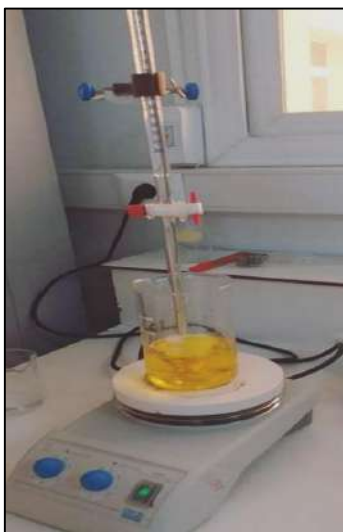
La masse finale du ballon

**Figure 2** : détermination de la teneur en lipides totaux.



Minéralisation

Montage de distillation

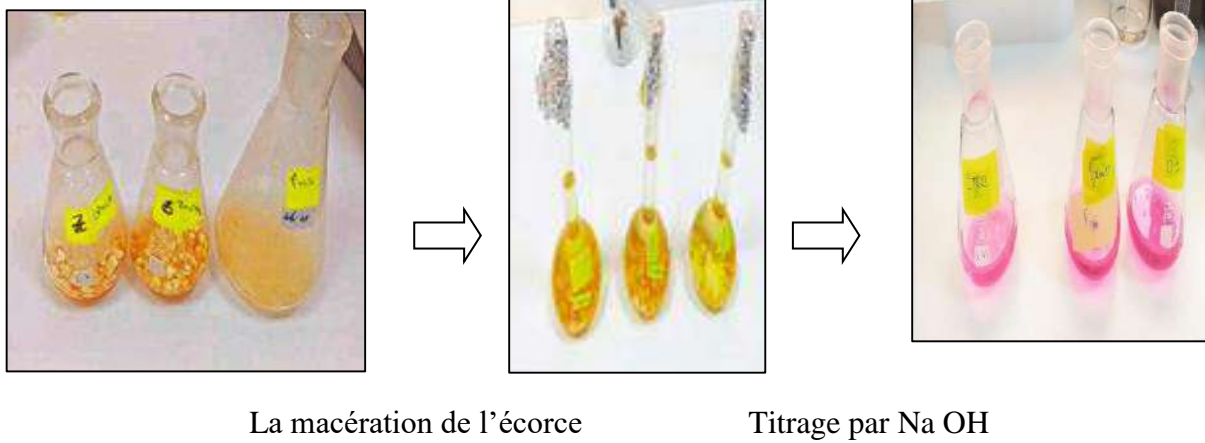


Titration par NaOH

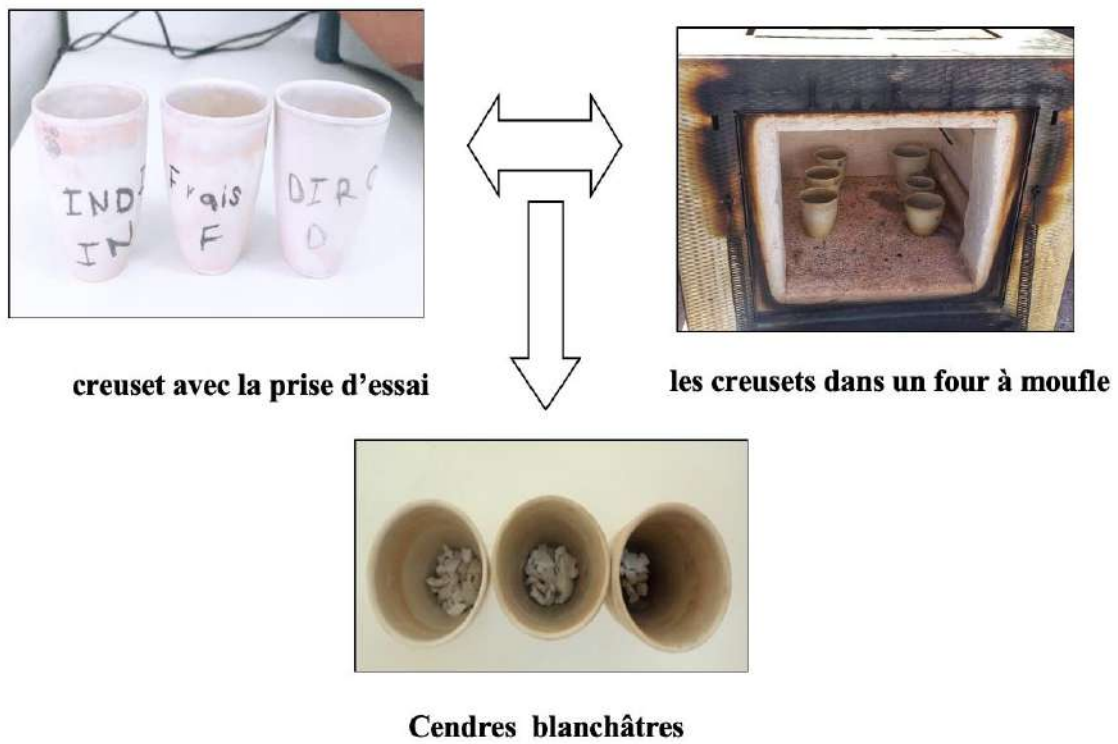


**Figure 3 :** Les étapes de la détermination protéine.

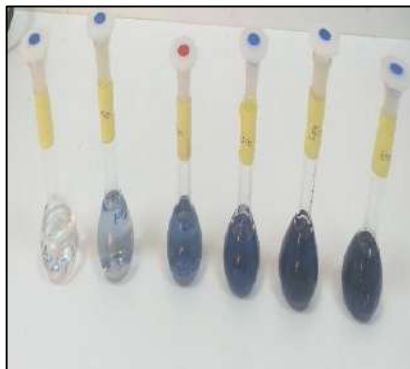




**Figure 4 :** les étapes détermination de l'acidité titrable



**Figure 5 :** Les différentes étapes de la détermination de la matière minérale.

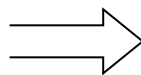


**Gamme d'étalonnage**



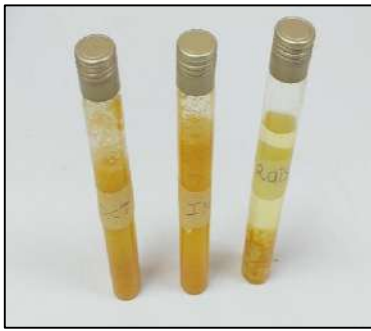
**Le mélange réactionnel**

**Figure 6 : Dosage polyphénol totaux**



**Figure 7: Montage de l'extraction par hydrodistillation type Clevenger.**

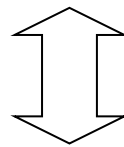




**Macération**



**Filtration des extraits**



**Les tubes à l'abri de la lumière**



**Agitation par VORTEX**



**Les tubes dans le bain marie**

**Figure 8** : Les étapes de dosage des sucres totaux.

## Annexe 3 : Courbe d'étalonnage

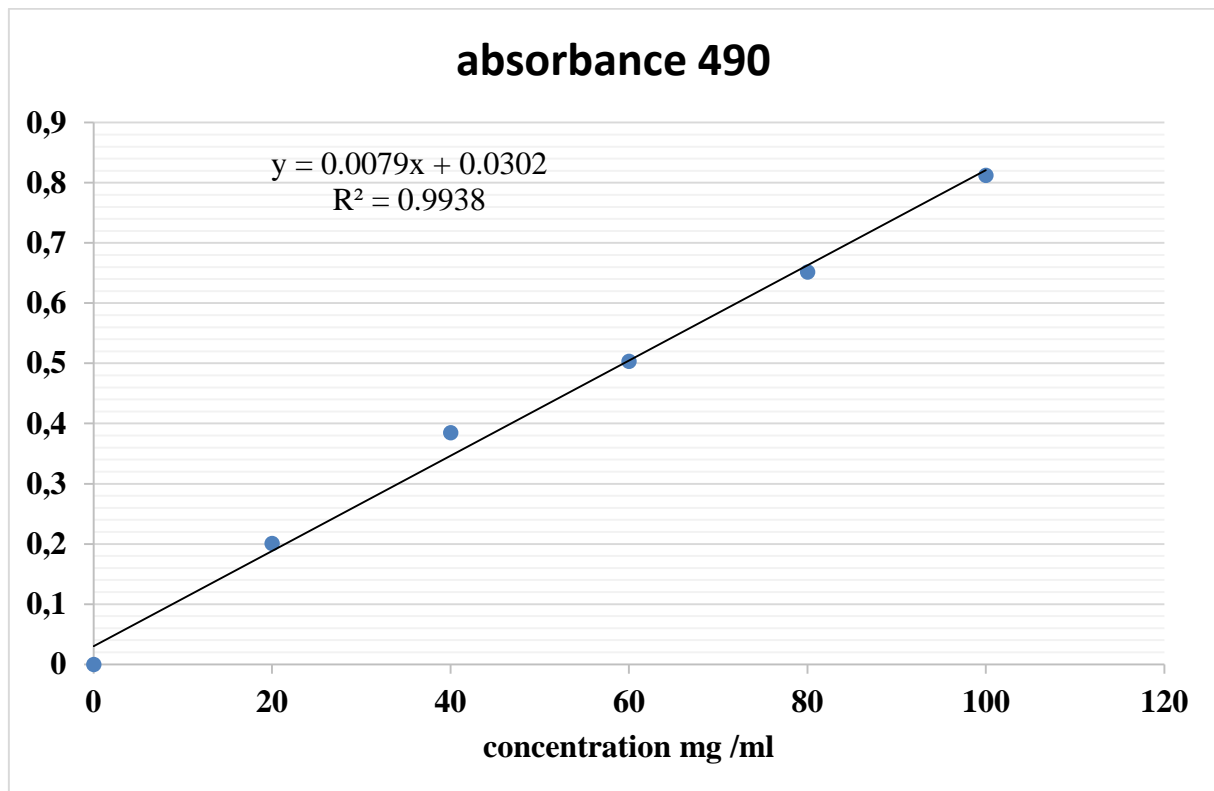


Figure 9 : courbe d'étalonnage d'acide gallique

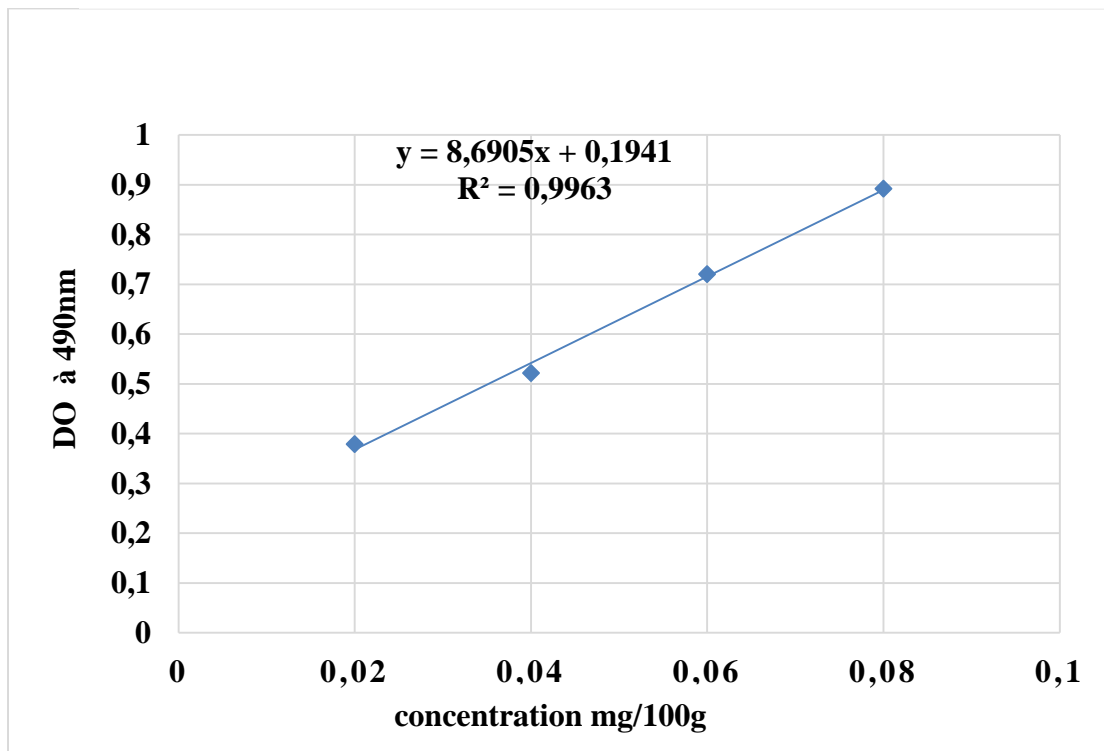


Figure 10: courbe d'étalonnage de glucose du dosage de glucides totaux.

**Annexe 4: norme journal officiel (2017)**

Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes / métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologique(ufc/g)	
		n	c	m	M
Herbes séchées (thés, camomilles.....)	Germes aérobies a 30°C	5	2	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
	Coliforme thermo tolérants	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	moisissures	5	2	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
	Anaérobies sulfite – réducteur	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	<i>salmonella</i>	5	0	Absence dans 25g	

**Annexe 5 : La composition des milieux de culture (Institut pasteur)****Gélose PCA (Plant Count Agar)**

Tryptone ..... 5g  
 Extrait autolytique de levure..... 2.5g  
 Glucose..... 1g  
 Agar bactériologique..... 12g

**Bouillon de BCPL (Bouillon Lactosé au pourpre de Bromocresol)**

Peptone ..... 5,0 g  
 Extrait de viande de bœuf ..... 3,0 g  
 Lactose ..... 10,0 g  
 Pourpre de bromocrésol :..... 25 mg

**Gélose de Sabouraud**

Glucose.....20g  
 Extrait de levure.....05g  
 Peptone .....10g  
 Eau distillée..... 1000ml

**Milieu SS**

Peptone.....5g  
 Extrait de viande.....5g  
 Sels biliaires.....8.5g  
 Vert brillant.....0.33mg  
 Lactose.....10g  
 Rouge neutre.....25mg  
 Thiosulfate de sodium.....8.5g  
 Citrate ferrique ammoniacal....1g

Agar.....15g  
Eau distillée.....1L

**Milieu Viande Foie**

Peptone viande-foie .....30,00g  
Sulfite de sodium .....2,50g  
Glucose.....2,00 g  
Citrate ferrique ammoniacal..0,50g  
Amidon soluble .....2,00g  
Agar.....11,00g  
Eau distillée.....1L

**Eau peptone**

peptone exempte d'indole..... 10,0 grammes  
chlorure de sodium .....5,0 grammes d  
pH = 7,2

## Résumé

L'objectif de ce travail est de valoriser des écorces d'oranges qui sont une source importante de différents antioxydants (composés phénolique, flavonoïdes, acide ascorbique...ect) par deux méthodes de séchage solaire : direct et indirect. Les paramètres physico-chimiques effectués sont : les protéines, lipides totaux, l'acidité titrable, les cendres, les sucres totaux, les huiles essentielles et la qualité de couleur. Le taux d'humidité finale après le séchage est de 4.06 % pour le séchoir solaire direct et 5.17% pour le séchoir solaire indirect. La teneur en cendre après le séchage direct et indirect est presque similaire (3.12% ; 3.35%) respectivement. La teneur en lipides, l'acidité titrable et la qualité de couleur est meilleur dans les écorces séchées avec un séchoir solaire indirect. Par contre la teneur en protéines, huiles essentielles, sucres totaux, et les polyphénols est élevé dans les écorces séchées au séchoir solaire direct. Les résultats microbiologiques indiquent une bonne qualité hygiénique avec une absence totale des germes soit pathogènes dans les deux types de séchage.

**Les mots clés :** le séchage solaire, séchoir solaire direct, séchoir solaire indirect, les écorces d'oranges.

## Abstract

The aim of this work is to vaporize orange peels which are an important source of various antioxidants (phenolic compounds, flavonoids, ascorbic acid, etc.) by two methods of solar drying: direct and indirect. The physical and chemical parameters implemented are : proteins, total lipids, titrated acidity, ash, total sugars, essential oils and color quality. The final moisture level after drying is 4.06% for the direct solar dryer and 5.17% for the indirect solar dryer. The ash content after direct and indirect drying is almost similar (3.12%; 3.35%), respectively. Fat content, titrated acidity, and color quality are best in indirect sun dried bark. On the other hand, the content of proteins, essential oils, total sugars and polyphenols is high in the bark dried in a direct sun dryer. Microbiological results indicate good hygienic quality with complete absence of germs or pathogens in both types of drying.

**Keywords:** solar drying, direct solar dryer, indirect solar dryer, orange peels, nutritional quality

## المخلص

الهدف من هذا العمل هو تثمين قشور البرتقال التي تعد مصدرًا مهمًا لمضادات الأكسدة المختلفة (المركبات الفينولية ، الفلافونويد ، حمض الأسكوربيك ، إلخ) باستخدام طريقتين مختلفتين للتجفيف الشمسي . المعايير الفيزيائية والكيميائية المدروسة هي: البروتينات، الدهون، الحموضة المعيارية، الرماد، السكريات، الزيوت الأساسية وجودة اللون. أظهرت التحليل ان نسبة الرطوبة النهائية بعد التجفيف هي 4.06% بالنسبة للمجفف الشمسي المباشر و 5.17% للمجفف الشمسي غير المباشر، تشير النتائج على ان نسبة الرماد بعد التجفيف المباشر وغير المباشر متقاربة (3.12%؛ 3.35%) على التوالي. أظهرت دراسة نسبة الدهون والحموضة المعيارية وجودة اللون باستخدام المجفف الشمسي غير المباشر نتائج جيدة مقارنة بالمجفف الشمسي المباشر. من ناحية أخرى، فإن نسبة البروتينات والزيوت الأساسية والسكريات والبوليفينول جيدة بالنسبة للمجفف الشمسي المباشر مقارنة بالمجفف الشمسي الغير المباشر. كما تشير النتائج الميكروبيولوجية إلى جودة جيدة مع الغياب التام للجراثيم الممرضة في كلا النوعين من التجفيف.

**الكلمات المفتاحية:** التجفيف الشمسي، المجفف الشمسي المباشر، المجفف الشمسي غير المباشر، قشور البرتقال، الجودة الغذائية