

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE 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

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

**Présenté par**

Bouziane Aicha

Fadji Nacira

**Thème**

**Étude sur la qualité de fenouil poudre obtenu par  
Séchage solaire**

Soutenu publiquement le : 28 /06 /2021

**Devant le jury**

Hammoudi Roukia	Président	MCA	UKM Ouargla
Henni Abdellah	Encadreur	MCA	UKM Ouargla
Youcef Rahmani	Co-encadreur	Ing. Doctorant	CRAPC Ouargla
Bensalem Soufiane	Examineur	MAA	UKM Ouargla

**Année universitaire : 2020/2021**

## **Remerciements**

---

*Avant toute chose Nous remercions notre créateur Allah, le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*On commence par exprimer notre profonde reconnaissance et nos remerciements à notre encadreur **Mr HENNI ABDELLAH** qui nous a honorés en acceptant de diriger ce travail, pour tous les efforts qu'il a consenti tout au long de l'élaboration de ce travail. Ses encouragements, et ses précieux conseils.*

*Nous remercions **M<sup>elle</sup> Hammoudi Roukia** ; une conférence à université d'Ouargla, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury de soutenance.*

*Nous remercions **Mr Bensalem Soufiane**; Maitre de conférences A université d'Ouargla, pour nous avoir honorés et acceptés d'examiner notre travail.*

*Nous remercions très sincèrement notre Co-Encadreur **Mr Rahmani Youcef** pour sa confiance, son soutien, son attention, ses bons conseils, ses qualités humaines vraiment merci.*

*Merci de nous avoir guidées avec patience et d'avoir consacré autant d'heures pour les corrections de ce mémoire, on exprime notre respect et notre gratitude. Nous nous trouvons incapable de formuler nos remerciements à lui.*

*Enfin, Merci à tous ceux et celles qui nous ont soutenu d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin*

## Dédicace

---

*Je remercie tout d'abord **ALLAH** tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail ;*

*Je dédie les prémices de mon travail à la mémoire de mes grand – parents*

*-A mon très cher père (**MADANI**), l'homme le plus parfait dans le monde, mon grand exemple et le secret de ma réussite*

*-A ma mère(**DJEMAA**), source de compassion et de tendresse, l'exemple de patience et sacrifice, la raison de mon existence et le support de ma vie ;*

*-A tous mes sœurs : **RAZIKA, ZEHRA, DJAMILA, BAKHTA, IMANA, CHERIFA, AMRA.***

*-A tous mes frères : **SASI, ALHACHMIE, HAMEZA..***

*Aux femmes de mes frères: **SOHILA, HASNA, ASMA-***

*-A mes chers oncles et mes cousins.*

*-A toutes les familles : **MADAN** et Surtout la famille **BOUZIANE***

*A ma très chère sœur et binôme et mon amie **FADJI NACIRA** que je remercie pour son aide pour faire et continuer ce travail*

*-A Tous mes de collègues de travail du centre transfusion du sang Ouargla*

*- A mes amies Très Chère:*

***Khadra, Halima; Rekaia, Khansa, Imane, Chifa***

*-A mes amis avec qui j'ai passé les meilleurs moments durant toutes années universitaires surtout : **Rime , Zinebe, Serine, Nada, Hiba, Yasmine***

*-A tous ceux qui ont une place dans mon cœur*

*-A tous la promotion contrôle de qualité: 2021/2022*

## Dédicace

---

***A mon père, Toufik***

***Mon plus haut exemple mon soutien moral et mon modèle de persévérance pour aller toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras. Pour son enseignement continu à m'inculquer les vraies valeurs de la vie et pour ses précieux conseils.***

***A ma mère, Halima***

***A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;***

***A mes frères Abd elhamid et Nacer***

***Eddine***

***A mes sœurs Hadjer, Sara, Radja***

***A mon binôme Aicha, qui a le grand mérite de m'avoir aidé A tous ma famille***

***A tous mes amis***

***A tous mes amis au travail, le centre de don du sang Ouargla  
A tous mes collègues de travail, en particulier le directeur Soudani.Y et mon ami Moulay.M, qui m'ont beaucoup aidé à terminer cette mémoire  
A tous ceux qui m'ont encouragé à aller jusqu'au bout de ce travail***



## Liste des abréviations

**C** : Concentration

**FAMT**: La flore aérobie mésophile totale

**g**: gramme

**Ha**: Humidité absolue de l'air

**Hr**: Humidité relative de l'air

**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

**Pv**: pression partielle de la vapeur

**Ps**: pression de saturation

**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

	Liste des figures	Pages
<b>Figure I.1</b>	Cinétique de séchage	09
<b>Figure I.2</b>	Classification des séchoirs solaires	11
<b>Figure I.3</b>	Le principe d'un séchoir solaire direct	12
<b>Figure I.4</b>	Le principe d'un séchoir solaire indirect	13
<b>Figure I.5</b>	Le principe d'un séchoir solaire mixte	13
<b>Figure I.6</b>	Schéma explicite du séchoir solaire hybride	14
<b>Figure I.7</b>	Représentation photographique de différentes parties de plante de fenouil (a) plante entière, (b) fleurs, (c) bulbe, (d) graines	15
<b>Figure II.1</b>	Deux types de séchoirs solaires	22
<b>Figure II.2</b>	a) La chambre de séchage et b) le capteur solaire.	23
<b>Figure II.4</b>	Disposition du produit	24
<b>Figure II.5</b>	Produit séché.	25
<b>Figure III.1</b>	Variation de la masse de l'échantillon en fonction de temps.	36
<b>Figure III.2</b>	Teneur en humidité et matière sèche de fenouil	37
<b>Figure III.3</b>	Effet du séchage sur le changement de couleur totale de Fenouil.	37
<b>Figure III.4</b>	Teneur en lipide totaux dans le fenouil	38
<b>Figure III.5</b>	Teneur en protéines de fenouil	39
<b>Figure III.6</b>	La teneur en fibres brutes	40
<b>Figure III.7</b>	La teneur en Acidités titrable	41
<b>Figure III.8</b>	La teneur en sucre totaux	42

## Liste des Tableaux

	Liste des Tableaux	Pages
<b>Tableau I.2</b>	Principales caractéristiques des différentes parties du <i>Foeniculum vulgare</i> . Comestible	16
<b>Tableau I.2</b>	Classification du fenouil.	17
<b>Tableau I.3</b>	Composition du fenouil en g/100 g de matière.	18
<b>Tableau I.4</b>	Composition du fenouil en vitamines (mg /100g de matière comestible)	18
<b>Tableau I.5</b>	Composition du fenouil en minéraux (mg /100g de matière comestible)	19
<b>Tableau II.1</b>	Différentes flores recherchées dans les fenouils.	34
<b>Tableau III.1</b>	Températures des deux séchoirs solaires.	35
<b>Tableau III.2</b>	Résultats microbiologiques des analyses des fenouillets	42

## TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Étude bibliographique</b>	
<b>Généralités sur le séchage .....</b>	<b>3</b>
Historique .....	3
Définition du séchage .....	3
Objectif du séchage.....	4
<b>Différentes méthodes du séchage .....</b>	<b>4</b>
Séchage Thermique .....	4
Non thermiques.....	6
<b>Caractéristiques de l'air de séchage .....</b>	<b>6</b>
Humidité .....	6
Humidité absolue .....	7
Humidité relative .....	7
Température sèche .....	7
Vitesse de séchage .....	7
<b>Cinétique du séchage.....</b>	<b>8</b>
Les paramètres influents sur la cinétique de séchage .....	9
<b>Types de modifications de la qualité du produit a séché .....</b>	<b>9</b>
Modifications biochimiques dues à la température .....	9
Pertes d'aromes.....	10
Modifications physiques et mécaniques .....	10
<b>Classification des systèmes de séchage solaire .....</b>	<b>10</b>
Séchoir solaire direct .....	11
Les séchoirs solaires indirects .....	12
Séchoir solaire mixte .....	13
Les séchoirs hybrides.....	14
<b>Le fenouil (<i>Foeniculum vulgare</i>) .....</b>	<b>14</b>
Historique sur le fenouil .....	14
Description de la plante .....	14
Description morphologique .....	15
Origine, distribution géographique et classification botanique .....	16
Composition et valeur nutritive du fenouil .....	17
Utilisation du Fenouil ( <i>Foeniculum vulgare</i> ) .....	19
Usage traditionnel.....	20

Toxicité.....	20
---------------	----

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

<b>Description du séchoir solaire .....</b>	<b>22</b>
Séchage par le procédé de séchage solaire direct .....	22
Séchage par le procédé de séchage solaire indirect .....	22
<b>Séchage .....</b>	<b>23</b>
Protocole expérimentale .....	23
Préparation du produit .....	24
Disposition du produit .....	24
<b>Analyse physico-chimique.....</b>	<b>25</b>
Mesure des températures .....	25
Mesure de l'humidité et de la vitesse de l'air .....	25
Détermination de la masse sèche du produit .....	26
Détermination de la teneur en eau et la matière sèche.....	26
Changement de couleur .....	26
Détermination de la Teneur en Lipide Totaux.....	27
Détermination de la Teneur en protéines.....	28
Détermination de l'acidité titrable .....	29
Détermination des fibres brutes .....	30
Détermination des sucres totaux.....	30
<b>Analyses microbiologiques.....</b>	<b>31</b>
Préparation de l'échantillon.....	31
Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT).....	32
Dénombrement en milieu liquide des coliformes totaux et des coliformes fécaux ....	32
Dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.....	32
Dénombrement des streptocoques fécaux (entérocoques).....	33
Levures et moisissures.....	33
Recherche des salmonelles .....	33
Recherche et numération de staphylocoques .....	34

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

<b>Propriétés physico-chimique .....</b>	<b>35</b>
Teneur en eau (humidité).....	35
Effet du séchage sur le changement de couleur des fenouillets.....	37
La teneur en lipides totaux.....	38
La teneur en protéines .....	39
La teneur en fibres brutes .....	40

La teneur en Acidités titrable .....	40
La teneur en sucre totaux.....	41
<b>Analyses microbiologiques .....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>44</b>
<b>Références.....</b>	<b>45</b>
<b>Annexes</b>	

---

# **Introduction générale**

---

### Introduction générale

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples montre que ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine, dans la composition des parfums et dans les préparations culinaires.

Le fenouil est originaire de la région méditerranéenne (**Zoubiri et al, 2014**). Il est généralement considéré comme indigène sur les rives de la mer méditerranée mais est devenu largement naturalisée dans de nombreuses parties du monde, en particulier sur les sols secs, près de la côte de la mer et sur les berges de la rivière (**Manzoor et al, 2012**). Il a été cultivé dans la Russie, l'Inde, la Chine et le Japon (**Zoubiri et al., 2014**).

Il est également reconnu comme étant une plante spontanée, abondante dans l'ouest Algérien et s'adaptant bien aux sols argileux (**Lazouni et al.,2007**).

Dans le monde il existe plusieurs méthodes et différents traitements pour la conservation des produits, l'un des plus importants est le séchage.

Le séchage des fruits et légumes est l'un des processus des grandes consommations d'énergie dans l'industrie de transformation alimentaire et constitue une meilleure méthode de réduction des dépenses et pertes après les récoltes. Le séchage solaire a été pratiqué partout dans le monde pendant des siècles en plein air. Il a été employé pour sécher des grains, fruits et d'autres produits alimentaires destinés à la consommation (**Bonazzi, Dumoulin et al., 2008**).

Le séchage est l'une des anciennes méthodes de stockage, qui confère une meilleure conservation pour une longue période à un aliment, tout en préservant sa qualité nutritionnelle. Le séchage est le processus d'élimination d'eau dans un produit jusqu'à une valeur constante par évaporation (**Li et al., 2011**).

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.

Ce mémoire présente les résultats d'une étude expérimentale du séchage solaire d'un produit agro-alimentaire (les fenouils) dont le but est l'étude comparative entre deux modes de séchage : séchage direct et indirect.

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 est une synthèse bibliographique sous forme de deux grandes parties : La première est consacrée aux principales notions sur le séchage et s'attache à rappeler les différentes techniques de séchage des produits agroalimentaires. La deuxième partie représente une description sur le produit à sécher (fenouil).

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du dispositif expérimental utilisé pour le séchage, les appareils de mesure et les méthodes d'analyses physico-chimiques et microbiologiques.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus au cours de ce travail avec une discussion en fonction de différents paramètres expérimentaux intervenants.

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

---

# **Chapitre I. Etude bibliographique**

---

## Généralités sur le séchage

### Historique

Le séchage est une technique très anciennement utilisée pour la conservation des produits agricoles et alimentaires (céréales, graines, fourrages, viandes et poissons séchés, jambons, figes, noix, tabac, etc.), ou pour l'élaboration des matériaux (briques de terre sèche, céramiques, poterie avant cuisson, bois,...), ou pour les textiles (lavage, teinture,...) et les peaux. Pour ces applications traditionnelles, on fait encore beaucoup appel au séchage par l'air ambiant dit « naturel », le séchage dit « artificiel » avec apport d'énergie, n'étant qu'une technique complémentaire apportant une plus grande régularité face aux aléas climatiques, ou bien apportant de nouveaux services (lait sec ou café dits « instantanés », pâtes alimentaires sèches à longue conservation, etc.) [Vasseur, 2008].

### Définition du séchage

Le séchage est une opération de transfert couplé de chaleur et de masse pour laquelle il est nécessaire de fournir de l'énergie. Plusieurs types de séchoirs et de méthodes de séchage, ont été adaptés à différentes situations.

D'utilisation facile et pratique, les paramètres opératoires des procédés classiques de séchage peuvent être aisément contrôlés. Ces procédés dits classiques sont le séchage au soleil, le séchage solaire et le séchage à l'air chaud. Ces les plus couramment utilisés pour les fruits et légumes (Mounir *et al.*, 2014).

Nous appelons séchage, l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau.

Le corps humide en jeu peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide, ce qui distingue le séchage de la concentration d'un liquide par évaporation, cas dans lequel le produit final est un liquide concentré.

Au cours du séchage, l'eau contenue dans le matériau disparaît peu à peu dans l'air ambiant sous l'action de deux phénomènes : l'évaporation de l'eau et sa diffusion à l'intérieur du matériau. Ces phénomènes sont sous la dépendance des caractéristiques du gaz (air ou vapeur surchauffée) environnant à savoir :

- Sa température.
- Son humidité relative.
- Sa vitesse.
- Sa pression.
- Débit.

L'évaporation de l'eau est un phénomène qui nécessite de la chaleur et qui est d'autant plus intense que la température du matériau est élevée. **(K.Sebbagh,I.Cherfaoui.2017)**

### **Objectif du séchage**

Les raisons de sécher sont presque aussi nombreuses que les produits à sécher et elles sont effectuées dans le sens de :

- Permettre ou faciliter la conservation des produits agricoles ou industriels.
- Diminuer la masse et le volume des aliments pour réduire leur encombrement et faciliter leur transport.
- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit **(C.Nouha,M.Gagui 2017)**

### **Différentes méthodes du séchage**

#### **Séchage Thermique**

**a) Au soleil :** Le séchage au soleil s'est largement développé dans les zones arides ou semi-arides qui présentent des conditions climatiques optimales : une saison sèche avec un fort ensoleillement, une faible pluviométrie, une hygrométrie peu élevée. Le séchage s'effectue sur le sol, sur des nattes, sur des rochers plats, ou bien sur les toits des maisons. Ce système présente deux principaux avantages pour les communautés : peu de travail et pas d'investissement, mais, très souvent, les résultats obtenus sont médiocre car les produits sont souillés de sable et de poussière, ils subissent les attaques des animaux, des insectes et des micro-organismes, les pertes sont ainsi importantes. De plus, les produits s'abîment, sèchent trop ou pas assez, ce qui dégrade fortement leur qualité **(Thu Ha Nguyen, 2016)**.

**b) Séchage a l'air libre :** Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de  $22 \pm 2$  °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (**Lahmari et al. 2012**).

**c) Séchage par entraînement :** Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que :

- Le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation.
- L'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau.
- La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et elle est ensuite entraînée par le gaz (**Bonazzi et al, 2008**).

**d) Séchage par ébullition :** Le séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude, séchoirs cylindres, etc), dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale ou dépasse la pression totale ambiante (**Bonazzi et al., 2008**).

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

**f) Le séchage par micro-onde :** Le chauffage par micro-ondes se rapporte à l'utilisation d'ondes électromagnétiques afin de produire de la chaleur dans le matériel à sécher. Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque

tournante, ce qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux ondes qui pénètrent l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (Mathavi, Sujatha et al., 2013).

### **Non thermiques**

**a) La lyophilisation :** C'est un procédé de conservation permettant de préserver des denrées alimentaires périssables et des substances biologiques et chimiques dites fragiles. La lyophilisation concerne un produit qui est préalablement congelé, de telle sorte que l'eau puisse passer directement de l'état solide (glace) vers la phase vapeur sans l'étape de fusion, ce changement d'état étant appelé « sublimation ». La période de sublimation est suivie d'une période de séchage par désorption d'une fraction d'eau liée, à une température de plus en plus élevée. En atmosphère de vapeur d'eau pure et sous vide, ce procédé obéit à des principes comparables à l'ébullition, mais ce séchage peut aussi se faire en présence d'un certain taux de gaz incondensables dans l'atmosphère autour du produit, tel que la pression de vapeur dans le gaz externe soit seulement une pression partielle ppa (Vasseur, 2009).

**b) Le séchage osmotique :** Ce qu'on appelle déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion de ces derniers, entiers ou en morceaux, dans une solution hypertonique de sucres et/ou saline. En principe, l'osmose décrit les mouvements de l'eau et des solutés qui se produisent quand deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable, en raison de la pression osmotique relative de chaque composant (Enrico Maltini, 2003)

**c) Séchage mécanique :** C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, Centrifugation, compression et filtration) (C.Nouha, M.Gagui 2017)

**d) Séchage chimique :** C'est un procédé basé sur l'utilisation de produits déshydratants (osmotique) (chlorure de calcium,...) pour extraire l'eau (C.Nouha, M.Gagui 2017)

### **Caractéristiques de l'air de séchage**

#### **Humidité**

Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide ou pâteux, et devant être éliminé au cours du séchage.

### **Humidité absolue**

On appelle humidité absolue ou teneur en humidité, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec, cette humidité que nous désignerons par  $H_a$  est donnée par la relation suivante :  $H_a = M_a / M_e$  [kgv.  $kgas^{-1}$ ]

$M_a$  : Masse de l'eau

$M_e$  : Masse de l'air sèche

### **Humidité relative**

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température

$$H_r = P_v / P_s$$

### **Température sèche**

On nomme température sèche d'un gaz la température indiquée par une sonde de température placée dans le courant gazeux. Il s'agit de la température d'un gaz au sens Courant. (S.Chouicha, 2010)

### **Vitesse de séchage**

La vitesse de séchage est définie comme le rapport entre la quantité d'eau évaporé de solide a séché par unité de temps et de masse de solide sec, ou toute simplement la limite du quotient de la différence de teneur " $\Delta m$ " par l'intervalle de temps " $\Delta t$ ", c'est la grandeur qui caractérise pratiquement l'allure du transfert

La vitesse de séchage est fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- La nature, la porosité, la forme et l'humidité du produit.
- La température, l'humidité et la vitesse du l'air (M.Berrebouh,2009)

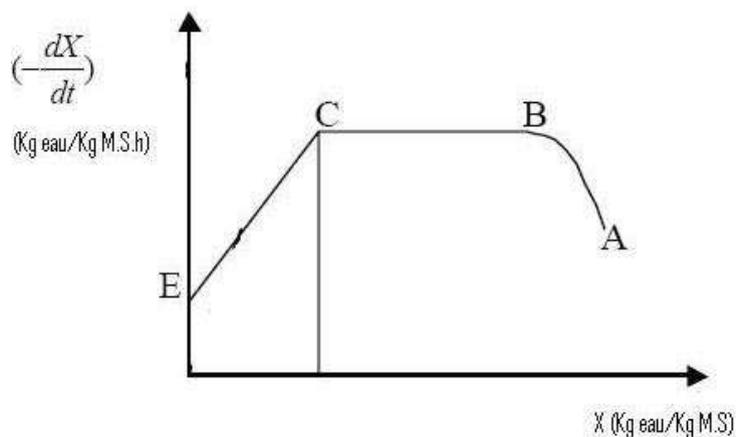
## Cinétique du séchage

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps, au celle donnant la vitesse de séchage ( $-dt/dX$ ) en fonction de  $X$ . Ces courbes sont généralement obtenues pour différents conditions expérimentales (températures, vitesse de l'air asséchant, hygrométrie...). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps. Sur la courbe schématique présentée à la Figure I.1, on peut distinguer trois phases :

**a) Période de mise en température (Période 0) :** l'humidité du produit dans cette période varie mais pas sensiblement et la température du produit varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide correspondant à l'environnement séchant (zone A-B). Cette période est courte et n'apparaît véritablement que si les produits sont de grande taille, ou si la différence de température entre l'air et le produit est important.

**b) Période à vitesse constant :** durant cette période, la vitesse de séchage reste à peu près constante pour la plupart des produits. L'humidité se déplace vers la surface à l'état liquide principalement sous l'effet des forces capillaires, l'équilibre entre la diffusion dans la couche limite (à l'interface air matériau) et les mécanismes de transfert d'humidité interne au sein du produit vers la surface est établi, la température reste uniforme dans le produit car le flux de chaleur échangé avec l'air chaud est entièrement utilisé pour la vaporisation de l'eau à la surface, cette période s'achève lorsque les forces capillaires ne peuvent plus soutenir la vaporisation l'eau de surface, et couvre généralement une grande partie du temps de séchage.

**c) Période de ralentissement :** Pendant cette phase, les forces capillaires ne sont plus suffisantes pour acheminer l'eau vers la surface du produit. La vitesse de séchage ne peut plus être maintenue constante et elle commence à décroître (A.Mouafki, 2004)



**Figure I.1:** Cinétique de séchage.

### Les paramètres influents sur la cinétique de séchage

Plusieurs paramètres influents sur la cinétique de séchage, on cite :

- Température de l'air de séchage ( $T_a$ ).
- Humidité relative de l'air de séchage ( $H_r$ ).
- La vitesse de l'air de séchage ( $V_a$ ).
- Le taux de recyclage de l'air de séchage.
- Le calibre du produit à sécher.
- L'épaisseur du produit à sécher ( $E_p$ ) (D.Mennouche, 2006)

### Types de modifications de la qualité du produit a séché

#### Modifications biochimiques dues à la température

L'exposition pendant une certaine durée d'un produit biologique à une température de séchage élevée peut provoquer des modifications dans sa composition chimique. Ces modifications, généralement considérées comme indésirables, sont nombreuses. Mais les plus importantes sont les suivantes :

- Réactions de Maillard, c'est-à-dire brunissement non enzymatique résultant de combinaisons entre protéines et glucides. Outre le brunissement, ces réactions entraînent une perte nutritionnelle.

- Oxydations de matières grasses (rancissement)
- Destruction de vitamines
- Dénaturation des protéines, diminuant leur aptitude à se réhydrater lors de l'utilisation du produit et altérant leur pouvoir liant ou moussant.
- Réactions enzymatiques : si les enzymes n'ont pas été inactivées par un traitement préalable ou par la température au cours du séchage, elles produisent leurs effets de brunissement des poly phénols, hydrolyse des lipides,... etc.

### **Pertes d'aromes**

Le séchage un procédé de séparation basé sur la volatilité. Par conséquent, l'eau contenue dans le produit à sécher ne sera pas éliminée toute seule. Mais avec tout autre produit volatil existant également dans le produit. Dans la plupart des cas, il s'agit des arômes contenus dans les produits biologiques destinés à l'alimentation.

### **Modifications physiques et mécaniques**

Le séchage provoque chez la plupart des plantes des altérations physiques et mécaniques caractérisées par : migration des solutés vers la surface : outre son effet sur l'aspect du produit, cette accumulation de sucres ou d'autres solutés en surface est préjudiciable à la valeur du produit lorsqu'il est consommé réhydrater ( **H.Houhou,2012**).

### **Classification des systèmes de séchage solaire**

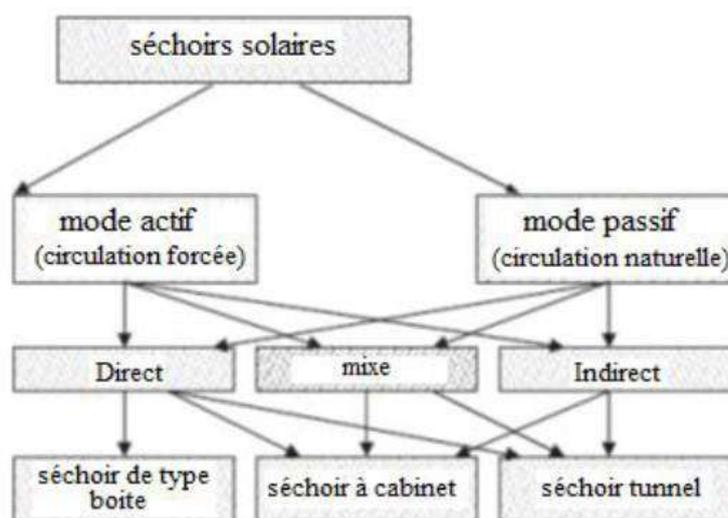
D'une manière générale les systèmes de séchage solaire sont classés d'après leurs modes de chauffage et la manière dans laquelle l'énergie solaire est utilisée d'une manière générale, ils peuvent être classés dans deux groupes majeurs à savoir : Les systèmes de séchage d'énergie solaire passifs (conventionnellement appelées les séchoirs solaires à circulation naturelle de l'air de séchage).

Trois sous classes distinctes peuvent être identifiées pour ces deux systèmes de séchage actifs et passifs (selon le type de séchoir et le mode d'utilisation de l'énergie solaire) à savoir :

- Les séchoirs solaires directs.
- Les séchoirs solaires indirects
- Les séchoirs solaires mixtes

Les systèmes de séchage d'énergie solaire actifs (souvent appelés les séchoirs solaires hybrides (S. Bachir, 2015)

La Figure I.2 montre une classification systématique des séchoirs solaires disponibles pour les produits agricoles, basés sur la conception des composants du système et le mode d'utilisation de l'énergie solaire (M.Nasri,2018)

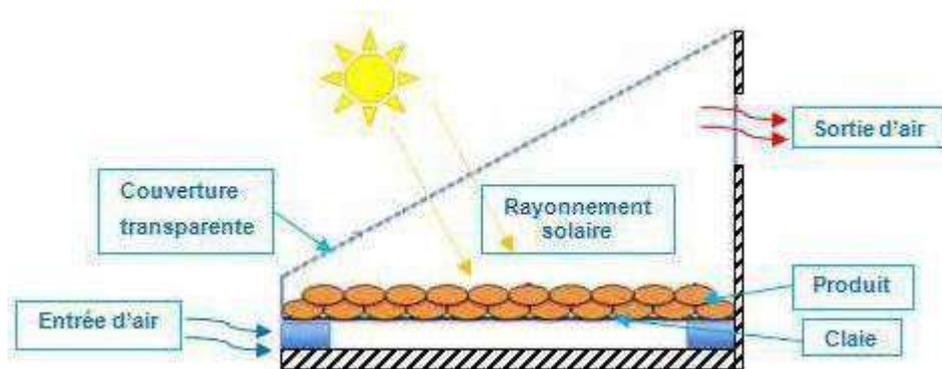


**Figure I.2:** Classification des séchoirs solaires selon (M.Nasri,2018)

### Séchoir solaire direct

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de larges possibilités de conception : du séchoir coffre à plateau et adapté à la petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités.

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. (B.Touati, 2008)



**Figure I.3:** Le principe d'un séchoir solaire direct (S.Khaldi,2018).

### Les séchoirs solaires indirects

Les produits à sécher ne sont pas exposés directement au rayonnement solaire. Ils sont disposés sur des claies à l'intérieur d'une enceinte ou d'un local en rapport avec l'importance des quantités à sécher.

L'air neuf est admis dans l'enceinte de séchage après passage dans des capteurs à air ou autre préchauffeur, qui le réchauffent en fonction du débit utilisé.

Le séchoir solaire indirect se compose de différentes 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 et 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 météorologiques.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption du rayonnement, 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). (P.Duder, 1999)

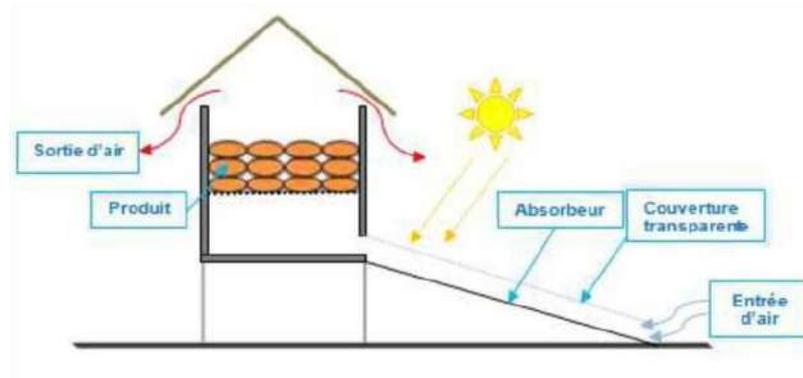


Figure I.4: Le principe d'un séchoir solaire indirect (S.Khaldi,2018).

### Séchoir solaire mixte

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoir, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage.

Un séchoir mixte à circulation naturelle aurait les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage, et une cheminée) mais les parois sont équipées par des plaques de verre de sorte que le rayonnement solaire empiète directement sur le produit comme le séchoir intégral (P.Duder,1999)

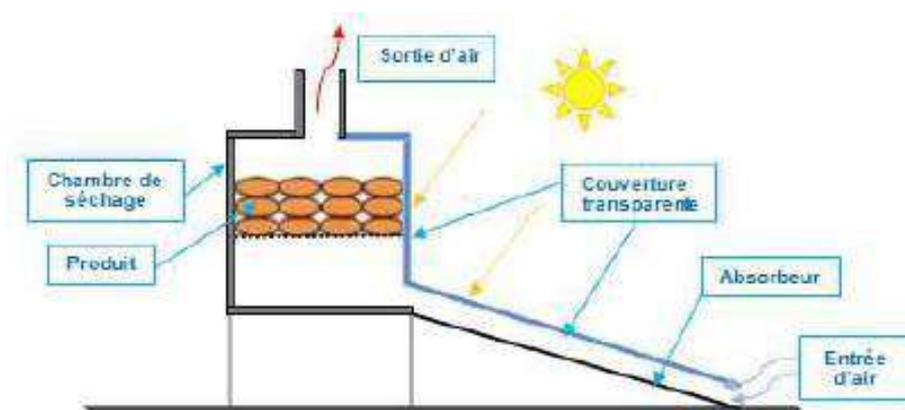


Figure I.5: Le principe d'un séchoir solaire mixte (S.Khaldi,2018).

## Les séchoirs hybrides

Ces séchoirs utilisent, en plus de l'énergie solaire, une énergie d'appoint (fuel, électricité, bois, etc.) pour assurer un niveau élevé de chauffage de l'air ou pour assurer la ventilation. L'énergie solaire sert souvent dans ce cas, de préchauffage de l'air. Ces systèmes, plus coûteux, sont généralement réservés à des applications à grande échelle, ou à des applications commerciales pour lesquelles la qualité et le débit du produit fini ne peuvent dépendre des conditions climatiques. (K.Djebnoun, 2012)



Figure I.6: Schéma explicite du séchoir solaire hybride (S.Khaldi,2018).

### Le fenouil (*Foeniculum vulgare*)

#### Historique sur le fenouil

Le fenouil était déjà employé à Babylone vers 3000 ans avant J.-C. Connue également des Égyptiens, il était souvent cité par les Grecs qui le considéraient comme une panacée censée assurer jeunesse, force et santé. Les Arabes et les Chinois l'employaient également. Le fenouil est cité dans des livres d'herbes aromatiques du moyen Âge. Au XVI<sup>e</sup> siècle, les Anglais en confectionnaient une boisson très populaire, le « sack », qui était recommandé comme un antidote aux piqûres de scorpions et aux morsures de serpents (Teusher, 2005).

Actuellement, le fenouil est très cultivé en Italie et en France, la variété duce est plutôt cultivée à l'Est de la Méditerranée. Il est également cultivé dans beaucoup de régions, tels que la Russie, l'Allemagne, le Japon et les États-Unis (Reduron, 2007).

#### Description de la plante

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) plante appartenant à la famille des apiacées, avec une grande histoire d'utilisation (Abou El-Soud *et al*, 2011) comprenant plus de 3000

espèces et environ 125 genres (Ernst, 1989). Le nom *Foeniculum* est du mot latin qui signifie le foin parfumé. Le fenouil était dans la grande demande pendant le moyen âge (Muckensturm *et al.*, 1997), connu et employé par les humains depuis l'antiquité, il est cultivé dans chaque pays entourant la mer méditerranée en raison de son arôme (Oktay *et al.*, 2003) comme herbe aromatique et également dans la médecine folklorique, en raison des propriétés pharmacologiques de son huile essentielle (Križmana *et al.*, 2007).

### Description morphologique

Le *Foeniculum vulgare*, généralement connu sous le nom de fenouil, est un petit genre des herbes annuelles, bisannuelles ou éternelles figure 01 (Gulfraz *et al.*, 2008).



(a)



(a)



(a)



(a)

**Figure I.7:** Représentation photographique de différentes parties de plante de fenouil (a) plante (b) fleurs, (c) bulbe, (d) graines (Gurinder *et al.*, 2010)

Le tableau I.1 résume les caractéristiques propres à chaque organe de la plante.

**Tableau I.1:** Principales caractéristiques des différentes parties du *Foeniculum vulgare* comestible (Souci et al., 1994).

Organe	Caractéristiques	Références
<b>La tige</b>	Robuste et lisse, pouvant atteindre 2 m de haut, cylindrique et rameuse porte des feuilles alternes pétiolées à la base.	(Wichtl & Anton, 2003) (Teuscher et al., 2005).
<b>Les feuilles</b>	Les feuilles supérieures sont sessiles, découpées en lanières filiformes et très allongées, d'où un aspect aérien et plumeux.	(Teuscher et al., 2005).
<b>Les fleurs</b>	Sont régulières, radiales, à 5 sépales formant un bourrelet, 5 pétales jaune verdâtre tronquées et roulées vers l'intérieur, 5 étamines, 2 styles courts, un ovaire infère et divisé en 2 loges.	(Teuscher et al., 2005).
<b>Le fruit</b>	Le fruit est une graine sèche de 4-10 mm. Le fruit vert Jaunâtre, est parqué de cinq côtes.	(Debuigne & Couplan, 2009). (Rather et al., 2012).

### Origine, distribution géographique et classification botanique

Le fenouil est originaire de la région méditerranéenne (Zoubiri et al, 2014). Il est généralement considéré comme indigène sur les rives de la mer méditerranée mais est devenu largement naturalisée dans de nombreuses parties du monde, en particulier sur les sols secs, près de la côte de la mer et sur les berges de la rivière (Manzoor et al, 2012). Il a été cultivé dans la Russie, l'Inde, la Chine et le Japon (Zoubiri et al., 2014).

D'après Quzel et Santa (1963) et Guignard (1968) la classification du fenouil est comme dans le tableau I.2.

**Tableau I.2:** Classification du fenouil (Souci et al., 1994). .

<b>Rang taxonomique</b>	<b>Nomenclature</b>
<b>Règne</b>	<i>Planta</i>
<b>Embranchement :</b>	<i>Spermaphyte</i>
<b>Sous-embranchement</b>	<i>Angiosperme</i>
<b>Classe</b>	<i>Dicotylédones</i>
<b>Sous classe</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Apiales</i>
<b>Famille</b>	<i>Apiacées</i>
<b>Genre</b>	<i>Foeniculum</i>
<b>Espèce</b>	<i>Foeniculumvulgare.</i>
<b>Synonyme</b>	<i>Anis doux, fenouil commun.</i>
<b>Nom vernaculaire</b>	<i>besbes.</i>

### **Composition et valeur nutritive du fenouil**

Le fenouil se caractérise par une teneur en glucides modérément élevée pour un légume frais, il est également riche en fibres (tableau I.3), en vitamines (tableau I.4) et minéraux (tableau I.5), ce qui lui confère une valeur nutritive importante et un intérêt particulier dans notre régime alimentaire.

**Tableau I.3:** Composition du fenouil en g/100 g de matière sèche (Souci *et al*, 1994).

Composant	Moyenne
Eau	92,9
Protéines	2,43
Lipides	0,30
Glucides	2,84
Glucose	1,26
Fructose	1,06
Sucrose	0,517
Fibres	4,19

**Tableau I.4:** Composition du fenouil en vitamines ( $\mu\text{g}$  /100gde matière comestible) (Souci *et al*, 1994).

Composant	Moyenne
Équivalent rétinol	$78,33 \times 10^3$
Caroténoïdes	4,70
B-Carotène	4,70
Vitamine K	240
Vitamine B1 (thiamine)	230
Vitamine B2 (riboflavine)	110
Vitamine B3 (nicotinamide)	200
Vitamine B5 (acide pantothénique)	250
Vitamine B6 (pyridoxine)	100
Vitamine B8 (biotine)	2,5
Vitamine B9 (acide folique)	100
Vitamine C (acide ascorbique)	$9,3 \times 10^4$

**Tableau I.5:** Composition du fenouil en minéraux (mg /100gde matière comestible) (**Souci et al, 1994**).

Composant	Moyenne
Sodium	86
Potassium	494
Magnésium	49
Calcium	109
Fer	2,70
Cuivre	0,0585
Zinc	0,250
Phosphore	51
Nitrate	127

### Utilisation du Fenouil (*Foeniculum vulgare*)

*Foeniculum vulgare* est une importante et bien connue, plante médicinale et aromatique avec effet carminative, digestive, galactogène et diurétique, indiquée dans le traitement des troubles respiratoires et gastro-intestinales (**Manzoor et al, 2012**).

*Foeniculum vulgare* a été largement utilisé dans la médecine traditionnelle pour le traitement d'un certain nombre de maladies, par exemple, les douleurs abdominales, antiémétique, apéritif, l'arthrite, le cancer, pour calmer les coliques de l'enfant et du nourrisson, la conjonctivite, la constipation, dépuratif, la diarrhée, tréma, emménagogue, fièvre, flatulence, gastralgies, la gastrite, l'insomnie, les douleurs du foie, ulcère de la bouche, et les maux d'estomac. les parties aériennes (feuilles, tiges et fruits/graine) de *F. vulgare* sont largement utilisé comme galactagogues favoriserait la montée du lait (**Shamkant et al., 2014**).

*Foeniculum vulgare* Mill auprès des différentes activités pharmacologiques mentionnées dans la médecine traditionnelle iranienne et la phytothérapie moderne tels qu'un antioxydant, cytotoxiques, anti inflammatoire, antimicrobien, bronchodilatateur, oestrogénique, diurétique, lithontripic ,galactogogue, emménagogue, anti thrombotique,

hypotenseur, gastro-protecteur, hépatoprotecteur, améliorant la mémoire, et les activités antimutagènes. Aucun événement indésirable grave n'a été enregistré après l'ingestion de *F.vulgare* l'exception de quelques cas de réactions allergiques (**Rahimi et Ardekani, 2013**). De même, l' H.E de fenouil exerce une activité larvicide significative contre deux espèces de moustique en Thaïlande (*Anopheles dirus* et *Aedes aegypti*) (**Pitasawat et al, 2007**).

### **Usage traditionnel**

Le fenouil constitue un remède fort ancien contre les douleurs abdominales. En décoction ou en poudre, les graines sont utilisées dans le traitement des embarras gastroduodénaux, de l'asthme, ainsi que comme apéritif. Le fenouil est une plante très utilisée. C'est une des quatre semences chaudes des anciens, répertoriée ainsi à cause de son importante action carminative et eupeptique. On l'utilise donc dans l'aérophagie, le ballonnement, la digestion difficile, la nausée, les maux d'estomac. Les fruits amers et les feuilles servent comme expectorants dans des tisanes ou des sirops antitussifs (**M.Messkgue, 1975**).

### **Toxicité**

Aucune toxicité grave et/ou les effets indésirables ont été enregistrés après l'ingestion de fenouil sauf quelques cas de réactions allergiques. Il y a quelques rapports sur les réactions allergiques telles que l'asthme et la rhinite après l'ingestion de fruit.

Il a été rapporté que l'estragole, constituant important, est un agent cancérigène chez l'animal. Mais il faut considérer que le métabolisme de ce composé entre humaine et animal est différent et aussi que les effets secondaires entre forme isolée d'un agent et lorsque cet agent appliqué en tant que constituant naturel dans la production des mélanges multi composants sont significativement différents (**R.Rahimi, M.Ardekani,2013**).

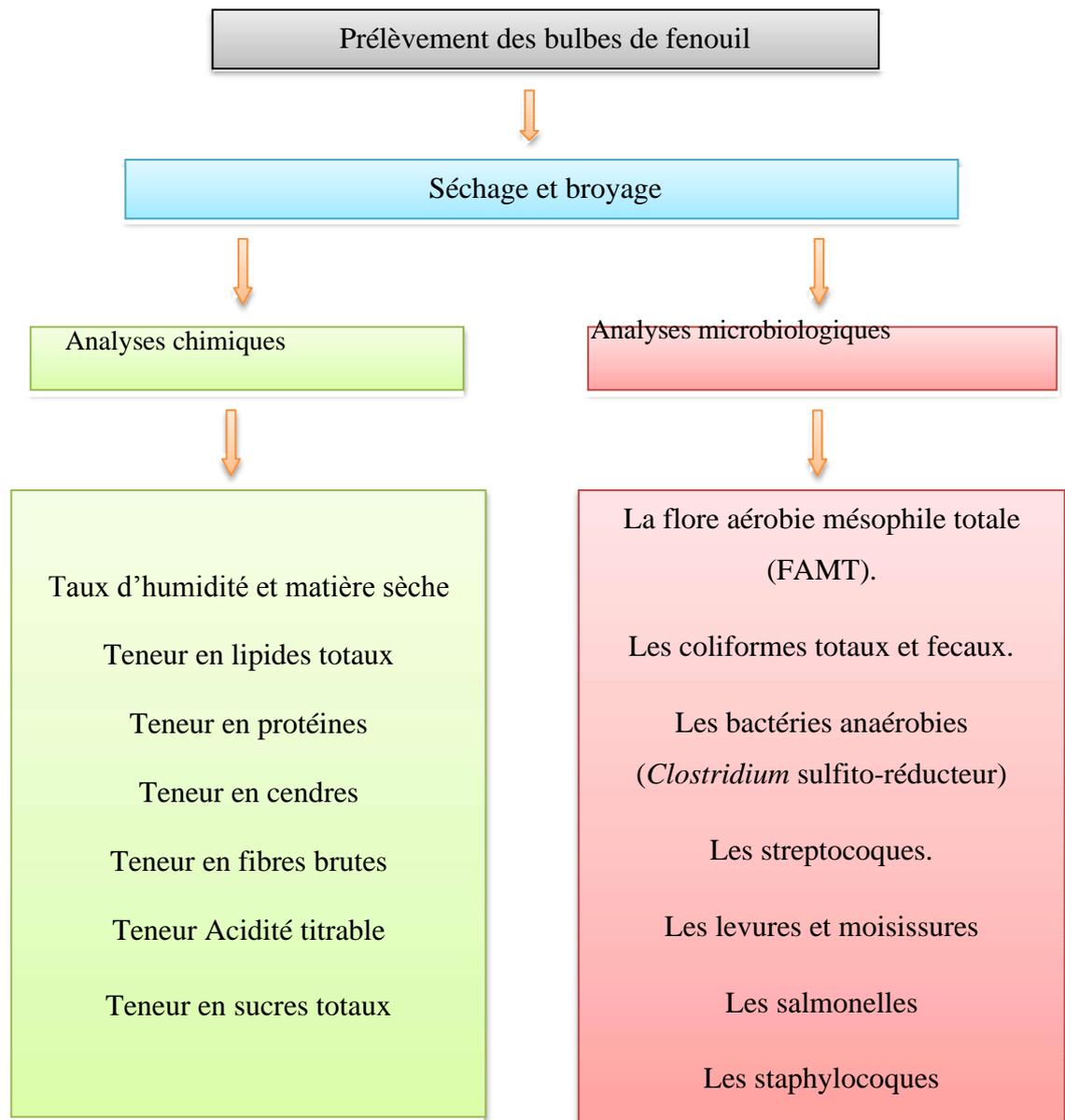
---

## **Chapitre II. Dispositifs et techniques expérimental**

---

La partie expérimentale a été réalisée au niveau de deux laboratoires DENRZAS et CRAPC qui se trouvent dans l'université de Ouargla. Cette partie du travail est consacrée au séchage de fenouil (Récolté de la région d'Alger).

L'objectif de notre travail est de réaliser une étude comparative entre le séchage des produits agro-alimentaires (Fenouil) dans un séchoir direct et indirect avec des produits frais.



**Figure II.1:** Schéma du protocole expérimental.

## Description du séchoir solaire

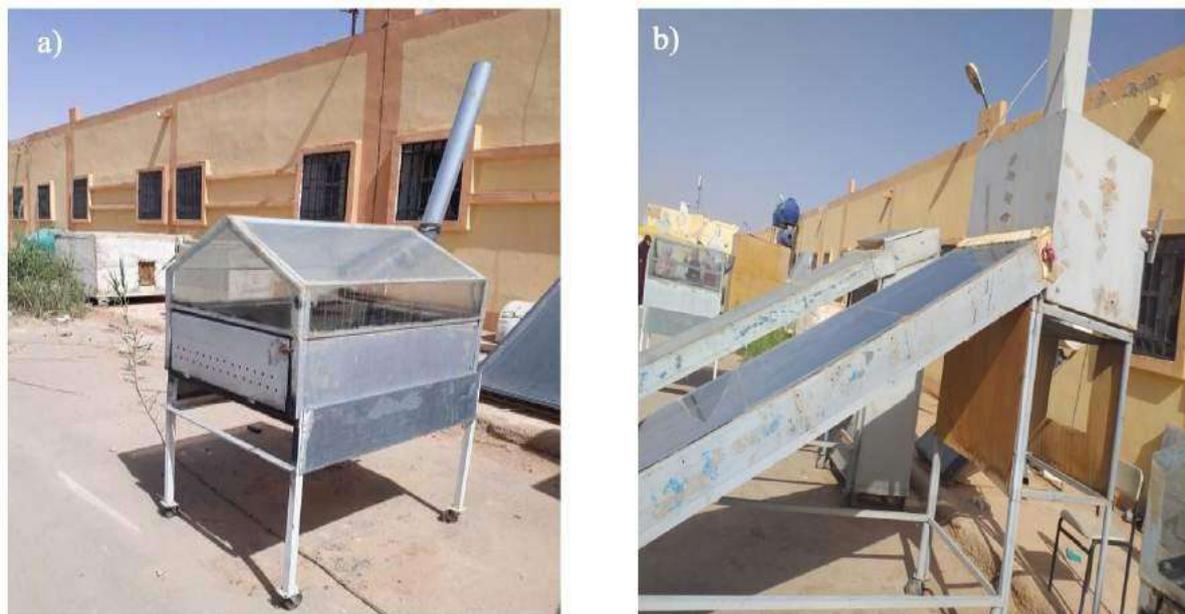
### Séchage par le procédé de séchage solaire direct

Le dispositif utilisé est schématisé sur la figure II.2a, c'est un séchoir solaire direct à convection naturelle qui 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. Cette chambre est couverte par une matière transparente (le verre) inclinée avec un angle de  $31,57^\circ$  pour capter le rayonnement solaire (l'effet de serre). Elle est constituée d'une cheminée pour l'évacuation naturelle de l'air humide. (L. Angélique 2002)

### Séchage par le procédé de séchage solaire indirect

Le séchoir indirect figure II.2b se compose d'un collecteur (capteur) qui convertit le rayonnement solaire en chaleur. L'air frais capté de l'extérieur circule dans le capteur solaire par convection naturelle, il est chauffé avant d'arriver à l'entrée de la chambre de séchage, puis il continue son chemin à vers la claie de séchage et enfin l'air est évacué vers l'extérieur à travers la cheminée solaire. La durée de séchage est très variable selon les conditions expérimentales ( F.Courtois, J.J Bimbinet 1984 ).



**Figure II.2:** Deux types de séchoirs solaires. **a)** Séchoir solaire direct et **b)** Séchoir solaire indirect.

La chambre de séchage est une boîte galvanisée de forme cubique, de hauteur 1 m et de profondeur 0,8 m. Les parois latérales et les parties inférieure et supérieure sont isolées thermiquement par du polystyrène.



**Figure II.3:** a) La chambre de séchage et b) le capteur solaire.

Le capteur solaire est un capteur à air plan de longueur de 2 m, et de largeur 1 m, et de hauteur 0,13 m, le capteur est recouvert d'une plaque de verre d'épaisseur 0.004 m, au-dessous de cette plaque et à une distance de 0,06 m est déposée une plaque d'aluminium peinte en noire mate qui sert d'absorbeur. Les côtés latéraux et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec le polystyrène. Le capteur est incliné d'un angle de  $31^{\circ}$  (latitude de la ville d'Ouargla) par rapport au plan horizontal et orienté plein sud (**K.Karoumi; 2012**).

## Séchage

### Protocole expérimental

Pour suivre la perte de masse du le fenouil au cours du séchage, nous avons effectués les mesures du poids à chaque 2 heures à l'aide d'une balance. Ainsi, ceci nous permettra de suivre l'évolution des courbes de la variation de l'humidité relative des produits à sécher et la cinétique de séchage. D'autre part, pour mesurer la température de l'air du capteur solaire. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale.

### Préparation du produit

Avant le démarrage de l'opération de séchage, les étapes suivantes sont nécessaires pour la préparation de notre produit :

- Le lavage du produit 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 contaminations.
- Découpage de produit en tranches.
- Dépôt des tranches sur les claies.

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 inférieure ou égale à la température maximale tolérée par le produit, ou la manipulation est arrêtée. Les mesures de température, et la masse de l'échantillon sont effectuées chaque 2 heures. Le protocole expérimental consiste à réaliser quotidiennement le séchage de produit entre 9h et 17h. A la fin de chaque journée le produit est stocké dans un endroit sec pour prévenir le produit. La manipulation est arrêtée lorsque la teneur en eau souhaitée est atteinte.

### Disposition du produit

Les tranches de fenouil, sont soigneusement préparées et étalées sur les claies de la chambre de séchage, la masse du produit à sécher est de 300 g par claie pour toutes les expériences (figure II.4).



**Figure II.4:** *Disposition du fenouil.*

Après un temps nécessaire de 3 Jours, nous avons obtenu de fenouil séché avec une teneur très faible en eau (figure II.5).



Échantillon séché directement



Échantillon séché indirectement



Échantillon séché par l'étuve

**Figure II.5:** Fenouil séché.

## Analyse physico-chimique

### Mesure des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K dans la chambre de séchage chaque deux heures.

### Mesure de l'humidité et de la vitesse de l'air

L'humidité et la vitesse de l'air à l'entrée de la chambre de séchage sont mesurées respectivement à l'aide d'une sonde à affichage numérique et d'un manomètre connecté à un appareil de marque testo 645. Les résultats obtenus sont affichés par un ordinateur muni d'un logiciel 'testo' durant toutes les expériences.

### Détermination de la masse sèche du produit

Après la préparation d'un échantillon on utilise une balance à affichage numérique de précision qui mesure la masse du produit durant la période de séchage.

### Détermination de la teneur en eau et la matière sèche

Le principe de la détermination de l'humidité des fenouils consiste à prendre une masse M1 de 100 g de l'échantillon frais et l'apporter à une température de 105°C dans une étuve jusqu'à ce que la masse devienne constante M2 (4,066 g). L'humidité est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (P_1 - P_2) / M \times 100$$

H% : Taux d'humidité en pourcentage.

P<sub>1</sub> : Masse de l'échantillon avant séchage.

P<sub>2</sub> : Masse de l'échantillon après séchage.

M : Masse du matériel végétale.

A partir de la teneur en eau, on détermine le taux de matière sèche qui est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de matière sèche (\%)} = 100 - \text{Teneur en eau (\%)}$$

### Changement de couleur

La couleur est visuellement considérée comme l'un des paramètres les plus importants dans la définition de la qualité des fenouils et est le résultat de la réaction de Maillard qui dépend de la teneur en sucres réducteurs et en acides aminés ou en protéines à la surface. (**F. pedrisch; et al 1956**). Les attributs de couleur des fenouils séchées en terme de valeurs (L, a et b) ont été mesurés en utilisant un colorimètre CR-400. Les paramètres de couleur pour changement de couleur des aliments ont été quantifiés par Hunter (**E.Demiray and Y.Tulek ;2014**). La différence de couleur ( $\Delta^*$ ) a été utilisée pour décrire le changement de couleur pendant le séchage et a été calculée en utilisant les valeurs de couleur des fenouils fraîches comme témoin.

$$\Delta^* = \sqrt{(\bar{L} - \bar{L}_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

Les paramètres de couleur L, a et b représentent respectivement la luminosité à l'obscurité, la rougeur (+) au vert (-) et le jaune (+) au bleu (-). Les paramètres de couleur rapportés sont les moyennes de 10 mesures. L représente les valeurs (blancheur/obscurité), a (rougeur/vert) et b (jaune/bleu). Ces valeurs ont également été utilisées pour le calcul du changement de couleur totale ( $\Delta$ ).

## Détermination de la Teneur en Lipide Totaux

### Principe

Dans un système conventionnel de Soxhlet, la matière végétale est placée dans une cartouche, et remplie de solvant frais condensé à partir d'un ballon à distiller. Quand le liquide atteint le niveau de débordement, un siphon aspire la solution de la cartouche et la décharge de nouveau dans le ballon à distiller, portant les corps dissous extraits dans le liquide en bloc. Dans le ballon, le corps dissous (soluté) est séparé du solvant par distillation. Le soluté reste dans le flacon et le solvant frais passe de nouveau dans le lit de solide. L'opération est répétée jusqu'à ce que l'extraction complète soit réalisée. (Voir Annexe 1) (**Luque-Garcia et Luque de Castro, 2004**).

### Mode opératoire

Peser 2 g de l'échantillon sont placés dans la cartouche, ajouter 166 ml de l'hexane dans le ballon est chauffé à 70 °C l'extraction se fait par dans la pression atmosphérique. L'extrait avec le solvant est recueilli dans le ballon. Après 5 heures on arrête l'extraction. (AOAC, 2007). La séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide d'un appareil appelé Rota vapeur (voir Annexe 1), chauffé à température (70°C). (Moser et *al.*, 2014).

### Expression des résultats

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$MG(\%) = (P_1 - P_2) / M \cdot 100$$

P<sub>2</sub> : poids du ballon vide.

P<sub>1</sub> : poids du ballon après l'évaporation.

M : masse de la prise d'essai.

MG : taux de la matière grasse

## Détermination de la Teneur en protéines

### Principe

La méthode de kjeldahl est utilisée pour la détermination de l'azote organique et connue comme la méthode standard pour déterminer le taux d'azote. On distingue 3 étapes pour un dosage des protéines par la méthode de kjeldahl (voir Annexe 2). La teneur en azote totale est déterminée par la méthode de Kjeldhal. Elle consiste à détruire toute trace de matières organiques par l'acide sulfurique concentré à l'ébullition en présence d'un catalyseur avec la formation de sulfate d'ammonium puis de l'ammoniaque. Ce dernier est déplacé par une base fixe (la lessive de soude), et elle est entraînée par la vapeur d'eau dans une Solution d'acide fort. (Hamon et al., 1990)

### Mode opératoire (voir Annexe 2)

La 1<sup>ère</sup> étape est la digestion, pour cela il faut peser un mélange de  $\text{CuSO}_4$  (0.5g) et  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (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 ( $\text{NH}_3$ ). 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  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  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 a titrée directement l'ammoniaque sous la forme de borates d'ammonium à l'aide d'une solution standardisée 0.1 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### 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.

### Détermination de l'acidité titrable

#### Principe

La méthode utilisée pour la détermination de l'acidité titrable est décrite par (**Ilkay et Aziz,2011**); le titrage de l'acidité se fait avec une solution de NaOH (0.05N) en présence phénolphtaléine comme indicateur coloré.

#### Mode opératoire

D'abords, 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. (Voir Annexe 3)

#### Expression des résultats

L'acidité titrable est calculée d'après la formule suivante:

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

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.

## Détermination des fibres brutes

### Principe

La méthode est basée sur la solubilisation de composés non cellulosiques par des solutions d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium, selon la méthode de Weende ( **wolff, 1968**).

### Mode opératoire

Dans un ballon, 1g de chaque échantillon (direct, indirect, fraîche) est mélangé avec 100 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Le tout est chauffé pendant 30 min puis laver avec l'acide sulfurique et l'eau distillée chaude. Par la suite, on chauffe pendant 30 minutes le mélange en présence de 100 ml de NaOH (0,313 N). Après filtration et lavage avec l'eau distillée, on lave une autre fois le contenu avec 25 ml d'acétone. A la fin, un séchage dans une étuve est nécessaire (130°C) pendant 2h. (Voir Annexe4)

### Expression des résultats

$$\text{Fibres brutes} = (\text{Poids des résidus filtrés et séchés} - \text{Poids des cendres}) \times 100$$

## Détermination des sucres totaux

### Principe

Les sucres totaux sont déterminés selon la méthode de Dubois dont le principe repose sur la réaction suivante : 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 d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses. La densité optique est mesurée à 488 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (voir Annexe 5). **Dubois et al., (1956)**

### Mode opératoire

On introduit 2g:20ml m/v échantillon/eau-distillé dans un incubateur avec agitation à 60°C pendant 4 h. Après une filtration du contenu des débris est effectué. On Ajoute 200 µL de phénol 5% au 200 µL d'extrais à l'abri de la lumière suivi

d'une agitation par vortex. Par la suite, 1 ml d'acide sulfurique 96% est ajouté. Après agitation rapide à l'aide du vortex, on laisse incuber dans bain marie à 30 C° pendant 30 min. Les mesures la coloration jaune orangé à 488 nm sont traduites en concentrations de glucose en utilisant une courbe d'étalonnage préalablement établies. (Voir Annexe 6)

### Analyses microbiologiques

Le principe est de déterminer pour chaque type d'aliment un groupe de bactéries à dénombrer ou à rechercher, en fonction des risques. Pour chaque bactérie de ce groupe, on détermine un critère d'acceptation quantitatif ou qualitatif. Ensuite on applique ces critères pour interpréter les résultats et définir si la qualité du produit est satisfaisante ou non. Les critères qualitatifs sont de la forme : absence ou présence de la bactérie dans le produit. Les critères quantitatifs sont définis sous forme d'une valeur.

Les principaux germes recherchés au niveau du laboratoire pédagogique de microbiologie sont : la flore aérobie mésophile totale (FAMT), Les coliformes totaux et fécaux, Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (*Clostridium* sulfito-réducteur), Les streptocoques, Les levures et moisissures, les staphylocoques, Les salmonelles.

### Préparation de l'échantillon

Préparer un échantillon sécher direct sous formes de poudres. Pour la solution mère peser 5 g à partir de l'échantillon brouillé sécher direct dans 45ml d'eau peptoné . Préparer des dilutions décimale  $10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$   $10^{-5}$   $10^{-6}$ .

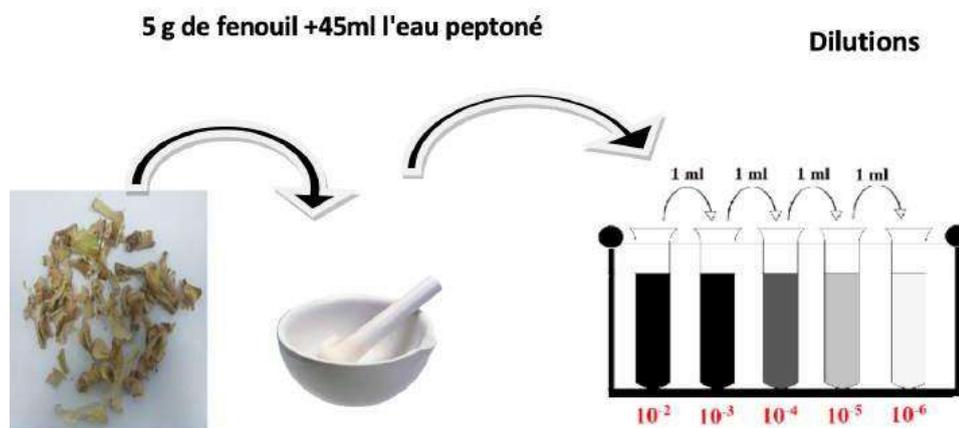


Figure II.6: Dilution de l'échantillon.

**Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)****(Norme ISO 4833 ,2003)****Mode opératoire**

1 ml de la suspension mère et de ses dilutions décimales ( $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$ ), estensemencé dans la masse du milieu gélosé dans des boites de pétri, 15 ml de milieu PCA (Plate Count Agar) refroidit à 45°C (Voir Annexe 7), ont été coulés dans chaque boite de Pétri. Incubées à 30°C pendant 72h. On utilise deux boites pétries pour chaque dilution, Après la période d'incubation les colonies ont été comptées.

**Lecture et interprétation**

On dénombre les colonies pour les boites contiennent entre 30 et 300 colonies, les colonies positives sous forme des Colonies lenticulaires.

**Dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux (NA 2691,1992 E)****Mode opératoire**

Le dénombrement des coliformes a été réalisé sur la gélose BCPL (voir Annexe 7) , Ce milieu assure l'inhibition des bactéries à Gram positif. On préparer 15 tubes pour les coliformes totaux et 15 tubes pour les coliformes fécaux, nous mettons à l'intérieur dans chaque tube un cloche ont étéensemencées avec 1 ml de la suspension mère et des dilutions décimales  $10^{-1}$  à  $10^{-5}$ , Environ 25 ml de gélose ont été ensuite coulées. Après l'homogénéisation incubée à 37°C pendant 24 heures pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux. Les essais sont effectués en triple.

**Lecture et interprétation**

Les colonies positives donnent la couleur rouge.

**Dénombrement des Clostridium Sulfito-réducteurs****(Norme ISO 15213)****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 incuber à 37°C pendant 48h. Les Clostridium sulfite-réducteurs apparaissent sous forme des colonies, entourés d'un halo noir.

### **Lecture et interprétation**

Après l'incubation l'apparition des colonies grande taille entourées d'un halo noires sur la gélose indique la présence des bactéries sulfite-réductrices.

### **Dénombrement des streptocoques fécaux (entérocoques) Mode**

#### **opérateur**

La recherche des streptocoques fécaux se fait en milieu liquide deux tests consécutifs à savoir :

- Le test de présomption qui se fait sur milieu de Rothe.
- Le test de confirmation qui se fait sur milieu Eva Litsky.

Une série de tubes contenant le milieu sélectif de Rothe à raison de deux tubes par dilution ont étéensemencés à partir de la suspension mère et des dilutions décimales ( $10^{-1}$  et  $10^{-2}$ ) en portant aseptiquement 1 ml d'inoculum dans chaque tube, incubé 24 heures à 37°C, une série de tube contenant le milieu de Litsky ont étéensemencés à partir des tubes positifs du milieu Rothe, présentant un trouble microbien.

### **Lecture et interprétation**

Après l'incubation des tubes contenant le milieu de Litsky, l'apparition d'un léger trouble et la formation d'un dépôt violet (pastille violette) dans le fond du tube indique la présence de streptocoques fécaux. La numération a été réalisée en utilisant la méthode du nombre le plus probable (NPP) en se reportant aux tables de Mac Grady. **(I.Chikh;L. Rachem 2017)**

### **Levures et moisissures (NA1210)**

La gélose sabouraud est un milieu peptoné et glucosé permettant la croissance des levures et moisissures. Naturellement acide, cette gélose inhibe la croissance de nombreuses bactéries. A partir de la suspension mère et des dilutions décimales de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$ . On utilise 3 boîtes de pétri pour chaque dilution ont étéensemencées avec 1ml d'inoculum. La gélose sabouraud a été ensuite coulée en surfusion. Après homogénéisation, incubées à 25°C pendant 72h.

## Recherche des salmonelles Mode

### opérateur

Pour la recherche des salmonelles. 2,5 g de la suspension mère ont été rajoutées à 25 ml de l'eau peptoné. Incuber à 37°C pendant 24 heures et à partir des milieux d'enrichissement, l'inoculum a été ensemencé en stries sur gélose sélective S-S (Salmonella-Shigella)(voir Annexe 7)

qui permet la différenciation et l'isolement des entérobactéries pathogènes. On utilise deux boites de pétri.

### Lecture et interprétation

Après l'incubation les colonies caractéristiques les salmonelles donnent des colonies le plus souvent grises, bleues à centre noir.

## Recherche et numération de staphylocoques Mode

### opérateur

La recherche des staphylocoques est basée sur l'emploi de milieu (gélose de chapman) (voir Annexe 7).

1 ml de la suspension mère avec des dilutions décimales  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$  ont été déposés dans des boites de pétri contiens le milieu de chapman. Deux boites pétries, pour chaque dilution, est incubées à 37°C pendant 24 h

### Lecture et interprétation

Les colonies positives sont entourées d'une auréole jaune.

**Tableau II.1:** Différentes flores recherchées dans les fenouils.

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

---

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

---

### Propriétés physico-chimique

Les échantillons préparés comme exposé sont introduits dans les deux séchoirs. Les essais présentés dans ce travail ont été effectués durant le mois de Mars. Pendant les jours de séchage solaire, la valeur moyenne de températures d'air ambiant est 31,2 °C. Elle atteint leurs valeurs maximales entre 12 h et 14 h. Le protocole expérimental consiste à réaliser quotidiennement le séchage du produit entre 9h et 17h soient huit heures de traitement en continu comme indiqué dans le tableau III.1

A la fin de chaque journée le produit est emballé et stocké dans un endroit sec au froid de +4°C afin prévenir toute réhydratation. La manipulation est arrêtée lorsque la teneur en eau souhaitée est atteinte.

Ce tableau montrer les degrés de température dans deux séchoirs solaire direct et indirect pendant le temps de séchage.

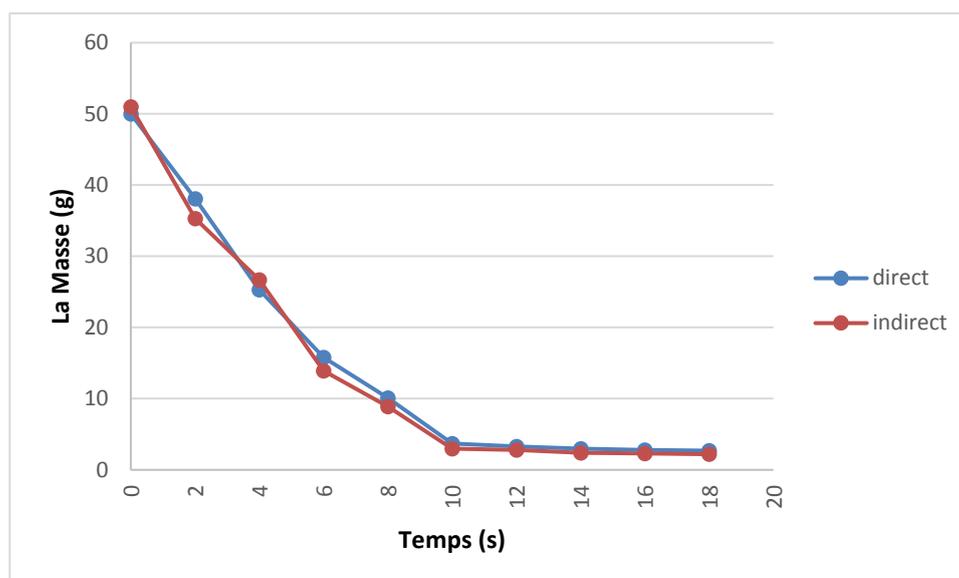
**Tableau III.1:** Températures des deux séchoirs solaires.

Heures	Température (séchoir direct)	Température (séchoir indirect)
09h00	28,7 °C	30,4 °C
11h00	43,7 °C	49,7 °C
13h00	50,4 °C	56,5 °C
15h00	40,3 °C	46,0 °C
17h00	33,4 °C	48,8 °C

### Teneur en eau (humidité)

La figure II.1 représente la variation de la teneur en masse en fonction du temps. On remarque sur cette figure qu'une durée de séchage de 17h est nécessaire pour avoir une teneur eau constante.

La diminution de teneur en eau durant l'opération de séchage suit une cinétique décroissante, le graphe de séchage montre que la cinétique a suivi deux phases, la première phase est à une vitesse constante et une deuxième phase ou la vitesse de séchage est décroissante, d'une manière que la teneur en eau finale se stabilise.

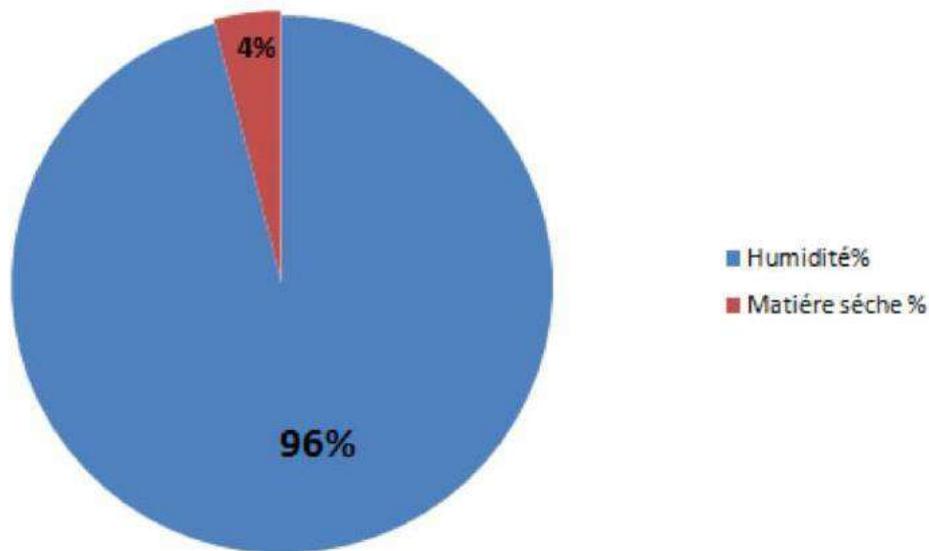


**Figure III.1:** Variation de la masse de l'échantillon en fonction de temps.

Nous pouvons voir que la première journée de séchage présente une diminution importante de poids de l'échantillon qui passe de ( 50 à 10,1) g pour les deux séchoirs, qui correspondent à une teneur en eau de 79,80%. Ceci est expliqué par l'évaporation d'une grande quantité d'eau présente sur la surface du produit. Pour la deuxième journée on remarque une diminution moins importante, la masse de l'échantillon passe de ( 3,7 à 2,3) g, qui correspond à une teneur en eau de 95,4%.

A la fin, la courbe de la teneur en eau se stabilise et la teneur en eau tend vers la teneur finale de l'humidité 95,9% qui correspond à la quantité d'eau totale évaporée pendant cette période de séchage.

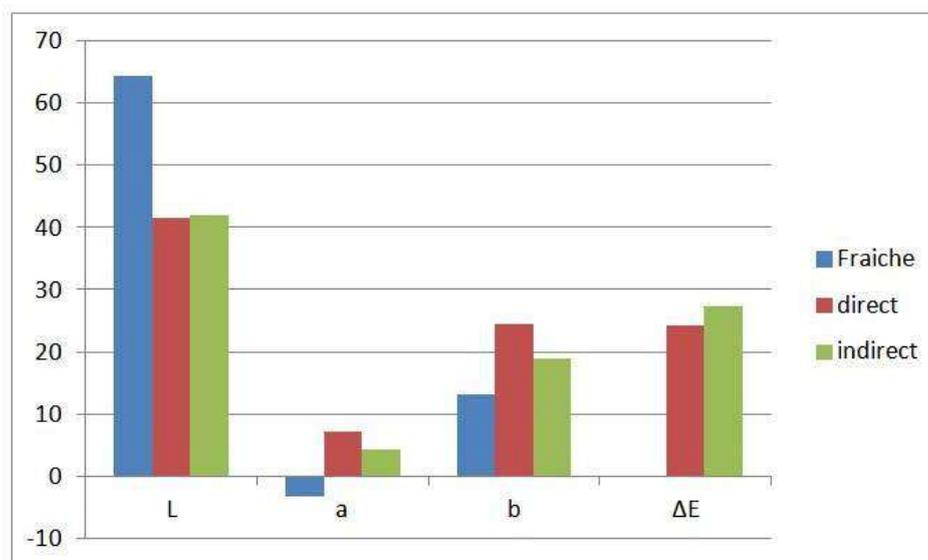
Les résultats de la teneur en eau et matière sèche de fenouil sont regroupés dans la Figure III.2. La teneur en eau initial des fenouils frais avant le séchage est voisine de 96%. Ce résultat est similaire de (H.Louahab, 2018) où un taux d'humidité de 94,01% est obtenu. Une légère différence est observée dans la teneur en humidité pour les deux types de séchoirs qui peut être expliquée par l'effet de la température c'est-à-dire l'augmentation de la température provoque une diminution dans le temps de séchage vice-versa.



**Figure III.2:** Teneur en humidité et matière sèche de fenouil.

### Effet du séchage sur le changement de couleur des fenouillets

L'estimation des changements de couleur des échantillons séchés et fraîche 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 présentées sur la figure III.3.



**Figure III.3:** Effet du séchage sur le changement de couleur totale de Fenouil.

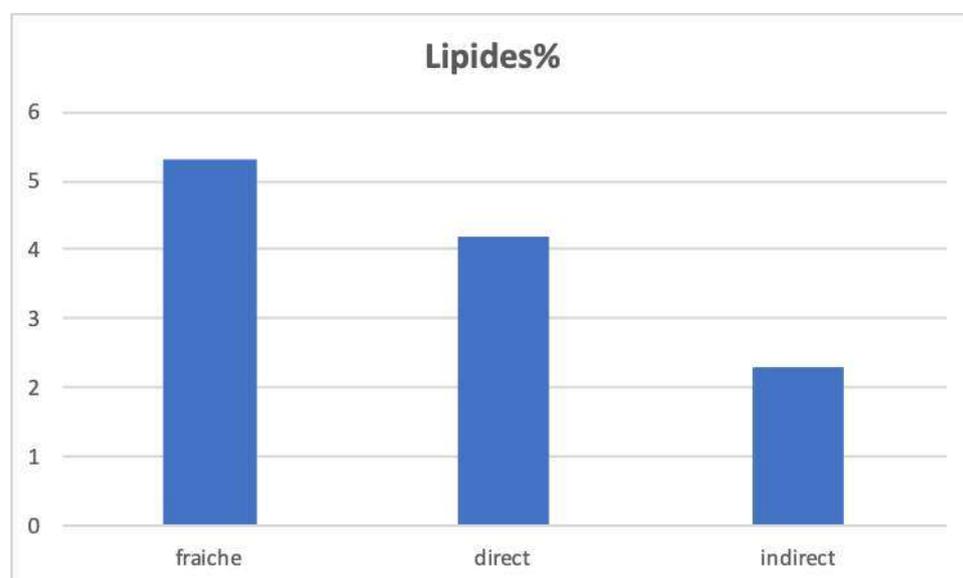
Quelle que soit la méthode utilisée, la valeur L de fenouil fraîche est passée de 64,30 à 41,64 après séchage. Mais la valeur b est passée de 13,19 (fraîche) à 24,53 pour le fenouil obtenu avec un séchoir direct et à 18,72 avec un séchoir indirect. Cette différence entre des valeurs des échantillons due la dégradation des couleurs.

On remarque que la variation de différence de couleur  $\Delta E$  de l'échantillon séché par le procédé de séchage solaire direct ( $\Delta E = 24,53$ ) 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 fenouil et qui peut garantir une meilleure qualité organoleptique (l'apparence).

### La teneur en lipides totaux

D'après les analyses appliquées par la méthode de « Soxhlet » sur les échantillons cités précédemment pour voir le taux de la matière grasse, on a obtenu les teneurs en lipide totaux qui sont illustrés dans la figure III.4.



**Figure III.4:** Teneur en lipide totaux dans le fenouil.

La figure III.4 montrée que le fenouil frais possède une teneur plus élevée en matière grasse (5.3% par rapport à la matière sèche). Par contre, les résultats rapportés par (H.

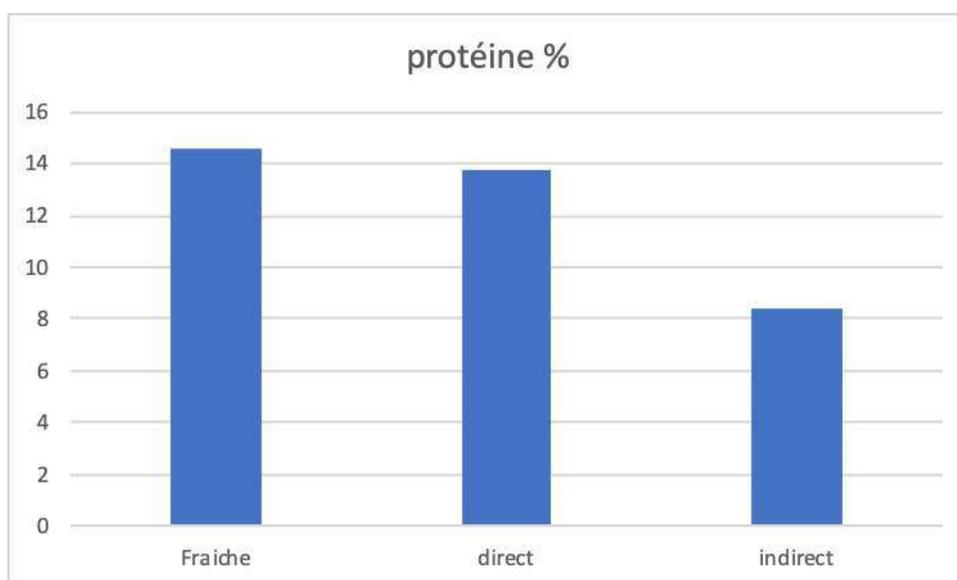
**Louahab,2018)** décrit que les bulbes possèdent la teneur la plus faible qui est de 0,49% exprimé en matière fraîche.

Les variations rencontrées dans la teneur en lipide de nos échantillons peuvent être dues aux divers paramètres influents sur le taux de matière grasse comme la granulométrie, l'humidité et la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée.

Ainsi, nous constatons une diminution en lipides totaux dans les fenouils séchés au séchoir indirect (2,29%). 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.

### La teneur en protéines

La teneur en protéines des échantillons est présentée dans la figure III.5. Les résultats montrent que le taux des protéines dans l'échantillon frais (14,56%) est légèrement plus important que l'échantillon sec par le séchoir direct (13,78 %). Par contre une plus faible valeur a été trouvée dans le fenouil sécher par la voix indirect (8,38%).

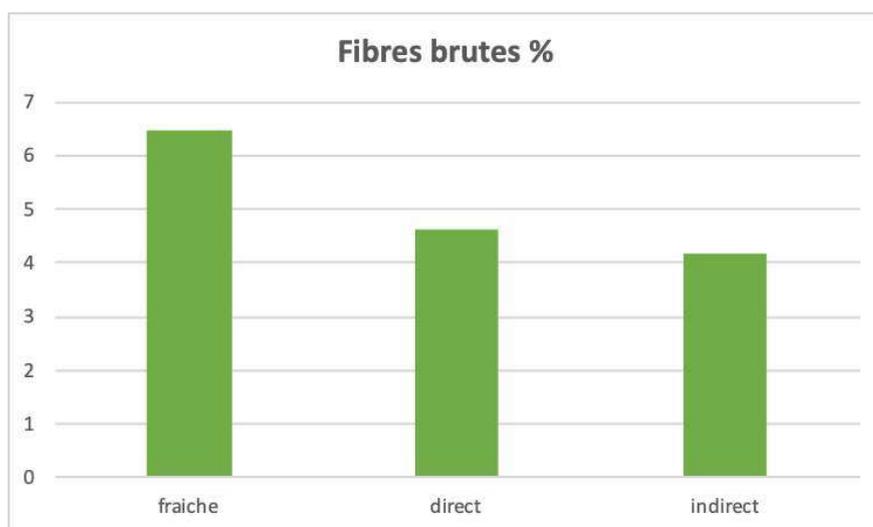


**Figure III.5:** Teneur en protéines de fenouil.

On peut expliquer cette diminution de protéines par l'effet de l'écoulement rapide de l'air chaud et la température qui peuvent provoquer une rupture des liaisons hydrogènes qui ne sont pas particulièrement solides. La température de séchoir solaire indirect est plus élevée que le séchoir solaire direct suite à la structure de chaque séchoir.

### La teneur en fibres brutes

Les résultats de la teneur en fibres brutes de nos échantillons sont regroupés dans la figure III.6.

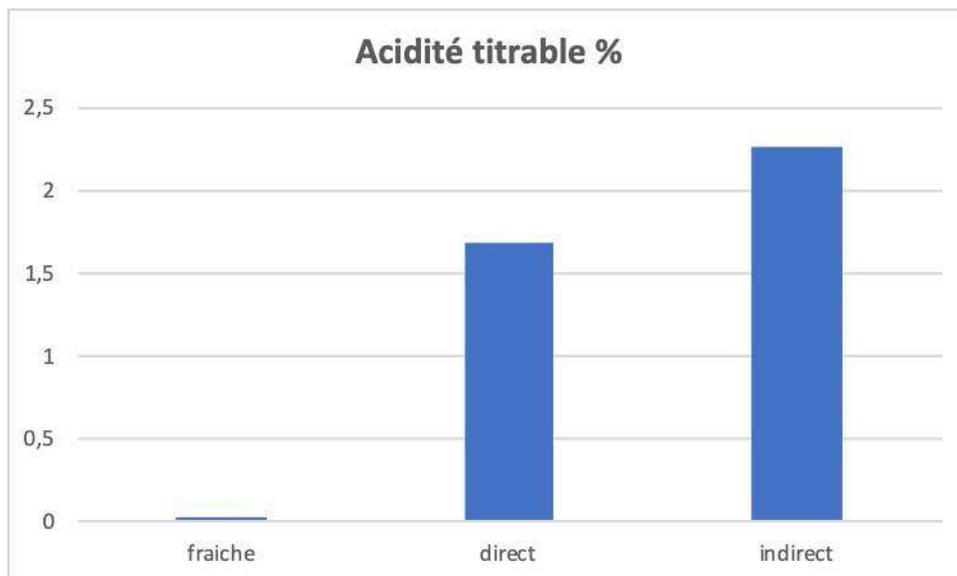


**Figure III.6:** La teneur en fibres brutes.

La teneur en fibre la plus élevée a été trouvée dans le fenouil frais avec une valeur 6,47%. Cette valeur est deux fois inférieure par rapport à celle obtenue par (H. LOUAHAB, 2018), par contre les teneurs en fibres brutes pour le fenouil séché par la méthode directe ou indirecte sont presque similaires avec des valeurs 4,60 % et 4,15% respectivement.

### La teneur en Acidités titrable

Les résultats de la teneur en fibres brutes de fenouil sont regroupés dans la figure III.9.



**Figure III.7:** La teneur en Acidités titrable.

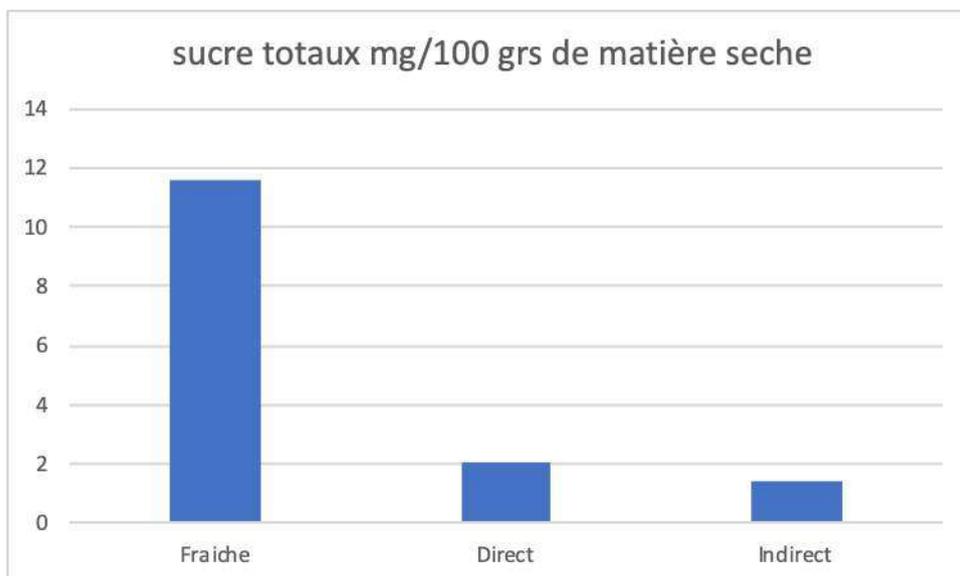
D'après la figure III.7 La teneur en acidité titrable la plus élevée a été trouvée dans le fenouil séché (direct et indirect) avec une valeur respectivement (1.70 % et 2.26%), par contre la teneur fenouil fraîche très faible (0,03%). Ces résultats est une matrice logique due à la teneur en eau des échantillons frais et séchés. Autrement dit l'augmentation de la teneur en eau diminue le taux d'acidité et la diminution de la teneur en eau augment leur rapport dans les échantillons.

### La teneur en sucre totaux

La teneur en glucides totaux des fenouils séchés par les deux modes (directe et indirecte) relève un taux inférieure à la teneur en glucide des échantillons frais (figure III.8), soit de 61.81% pour échantillons directe et 72.74% pour les échantillons séchés par voie indirect par rapport à le fenouil frais.

La teneur en sucre très élevée retrouve dans le fenouil frais avec une valeur 11,6 mg/100g (figure III.8). La teneur en glucides totaux des fenouils séchés par les deux modes (directe et indirecte) relève un taux inférieure à la teneur en glucide par rapport aux échantillons frais (figure III.8), soit de 2,09 mg/100g pour échantillons séché directement et 1,435 mg/100g pour l'échantillon séché par voie indirect. La teneur en sucre de bulbe de fenouil par (H. Louahab,2018) est similaire par rapport à nos résultats.

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:** La teneur en sucre totaux.

### Analyses microbiologiques

Les résultats donnés par le tableau III.1 révèlent l'absence de toute activité microbiologique pouvant altérer les fenouils séchés par séchoir solaire direct. Ceci est attribué en grande partie à l'efficacité du séchoir solaire appliqué aux aliments.

**Tableau III.2:** Résultats microbiologiques des analyses des fenouilletts

Échantillon	Les Micro-organismes				
	FMAT	Coliformes totaux et fécaux	<i>Clostridium</i>	<i>Salmonella</i>	Levures et moisissures
Présence ou absence	0,02.10 <sup>2</sup>	Abs	Abs	Abs	0,2.10 <sup>2</sup>
Les normes	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	0	10 <sup>4</sup>

Les résultats d'analyses microbiologiques obtenus sur le fenouil séché par le mode de séchage direct, révèlent une absence Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (*Clostridium* sulfito-réducteur) et les salmonelles mais pour le cas des levures et les moisissures les nombre de germe inferieur les normes selon de journal officiel république Algérien N° 39 (2017), d'où le produit sèche est conforme à la norme microbiologique.

On note également une présence faible des levures et moisissures dans nos échantillons étudiées, ce qui montre la bonne maitrise 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 fenouils séchés 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

Le séchage des aliments améliore leur durée de vie et minimise les pertes durant le stockage, et diminue leur coût de transport. 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 montré que le taux d'humidité finale après le séchage est d'environ 4 % pour les deux séchoirs solaires.

La teneur en lipides totaux après le séchage direct et indirect est 5,13%, 2,29% respectivement.

La variation de différence de couleur  $\Delta E$  de l'échantillon séché par le séchage solaire indirect est plus petite que celle de l'échantillon séché par le séchoir solaire direct. Ces résultats montrent que le séchoir solaire direct garde mieux l'aspect visuel.

Tandis que, le taux des dans l'échantillon frais (14,56%) est légèrement plus important que l'échantillon sèches par le séchoir direct (13,78 %). Par contre une plus faible valeur a été estimée par la voix indirecte.

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

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

Après la comparaison des différents types de séchoirs solaires (direct et indirect), nous avons conclu que le séchoir solaire direct conserve la qualité du produit séché telles que sa couleur, saveur et sa valeur nutritionnelle des composant (lipides, protéines, fibres, sucres). Par contre, le séchage indirect garde le teneur en acidité titrable dans le fenouil.

- Abou El-Soud I N., El-Laithy N., El-Saeed G., Wahby M., Khalil M., Morsy F., and Shaffie N., «Antidiabetic Activities of *Foeniculum Vulgare* Mill. Essential Oil in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats», (2011) pp 139-146
- A. Khenbloouche, «Etude et réalisation d'un nouveau procédé de séchage couplé à un système de chauffe-eau solaire». Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2014) p 6
- A. Mouafki, «Modélisation- Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe», Mémoire de magistère, Université de Ouargla, (2004)
- AOAC International., «Official methods of analysis, 18th edn, 2005; Current through revision 2, 2007 (Online). AOAC International, Gaithersburg, MD» (2007).
- A. Saf, S. Reddam, «Technologies de séchage. Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve» Mémoire de Master qualité des produits et sécurité alimentaire, Université A. Mira de Bejaia (2018) p7-9
- B. Baffi, A. mari, «Etude bibliographique des huiles essentielles des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare*) » , Mémoire Master, Agroalimentaire et contrôle de qualité Université Akli Mohand Oulhadj Bouir. (2020) p5
- Bonazzi, C., E. Dumoulin, et al., "Le séchage des produits alimentaires." *Industrie Alimentaire Agricole* 125(03-04): (2008) 12-22.
- B. Touati, «Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la menthe verte (*Mentha viridis*)». Thèse de Doctorat: Université Abou-Bekr Belkaid -Tlemcen (2008)
- Chikhi, I., Rachem, L., «Analyse Microbiologique des quelques Epices». Mémoire de Master . Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. (2017)
- C. Nouha, M. gagui, «Modélisation de séchage solaire de pomme de terre et Amélioration de rendement thermique» . Mémoire Académique, Université Kasdi Merbahe ouargla (2017) p4-5
- D. Mennouche., «Valorisation des produits agro-alimentaires et plantes médicinales par les procédés de séchage solaire», Mémoire de Magister de Génie des procédés, Université Kasdi Merbah. Ouargla (2006)
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers P.A and Smith F., «Colorimetric method for determination of sugars and related substances». *Anal. Chem.*, 28, . (1956) p: 350-356
- E. Demiray and Y. Tulek, «Color degradation kinetics of carrot (*daucuscarota l.*) slices during hot air drying». *Journal of Food Processing and Preservation* (2014)
- Enrico Maltini, "La déshydratation osmotique et les produits de semi-confisage." (2003)
- Ernst D., «Biotechnology in ariculture and forestry medical and aromatics plants II». *Bd. By* (1989) Y.P.S Bajaj, Springer, verlag-Berlin (7):381-397 [14] L. Angélique. Séchage. *Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée, Université de Liège* . (2002)
- F. Courtois, J.J Bimbinet, «Opérations unitaires, séchage . École nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires» . Paris . (1984).

F.Pedreschi, J.Leon, D.Mery, P.Moyano, R.Pedreschi, K.Kaack, K.Granby, «Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips», *Journal of Food Engineering* 79 (2007 p)786-793.

Gulfranz M., Mehmood S., Minhas N., Jabeen N., Kausar R., Jabeen K., and Arshad G., «Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*». (2008) pp4364-4368.

Gurinder Jeet Kaur and Daljit Singh Arora, «Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* belonging to the family Umbelliferae - Current status». *Journal of Medicinal Plants Research*.(2010) 4(2), 087-094.

Hamon M., Pellerin F., Guenet M. et Maauzier G. «Abrégés chimie analytique. Méthodes spectrales et analyse organique». Tome 3. 2eme édition. Masson. Paris. p: 232-233. (1990)

H.Houhou, «Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires», *Mémoire de Magistre Université Mohamed Khider – Biskra*.(2012) p40

H. Louahab, «Métabolites primaires de fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill)» *Mémoire de Master, Biochimie appliquée. Université Akli Mohand -Bouira* (2018).

Karoumi. Karima, «valorisation de pate de tomate par le procédé de séchage solaire a convection naturelle», *mémoire de master spécialité G.chimique.université Kasd iMerbah Ouargla* (2012).

K.Djebnoun, *Etude théorique et expérimentale des performances d'un séchoir couplé à un capteur solaire plan à air*, *Mémoire de magister, Université Mohamed Khider – Biskra*,(2012)

Križmana M., Baricevic D., and Prosek M. «Determination of phenolic compounds in fennel by HPLC and HPLC–MS using a monolith icreversed-phase column»(2007) pp 481–485

K.Sebbagh, I.Cherfaoui, «Etude du séchage des produits agricoles dans un séchoir solaire-cas de poivron rouge». *Mémoire de Master université M'Hamed Bougara.Boumerdes*(2017). p25

Lahmari et al., "Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra)". *Journal of Renewable Energies*, 15(2), pp. 285 – 295 (2012).

Lazouni H., Benmansour A., Taleb-Bendiab S., and Chabane D. *Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du Foeniculum vulgare Mill*, (2007) pp 7-12

Luque-Garcia, J. L. and M. D. Luque de Castro., «Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: An expeditive approach for solid sample treatment-Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds». *Journal of Chromatography A* 1034: 237-242. (2004)

Manzoor A.R., Bilal A.D., Shahnawaz N., Sofia B.A., Bhat Mushtaq A.Q., «*Foeniculum vulgare* : A comprehensive review of its traditional use, phyto-chemistry, pharmacology, and safety». *Arabian Journal of Chemistry* (2012), p3-4.

Maurice Messkgue, «*Mon herbier de sante*, Edition Robert Laffont, S. A», pp 1- 50, Paris, (1975).

- M.H. Berrebeuh, «Etude de validité des cinétiques de séchage en convection forcée pour les applications de séchage solaire de certains produits alimentaires». Mémoire de magister, université Kasdi Merbah- Ouargla (2009)
- M. Nasri, «Faisabilité et Adaptation des Séchoires Souterraines Sous le climat Local», diplôme de doctorat troisième cycle, Université des Frères Mentouri .Constantine (2018) p16
- Moser, B. R., V. D. Zheljzkov, et al., «Method for obtaining three products with different properties from fennel (*Foeniculum vulgare*) seed.» *Industrial Crops and Products* 60: 335-342(2014)
- Muckensturm B., Foechterlen D., Reduron J., Dantont P., and Hildenbrand M. «Phytochemical and Chemotaxonomic Studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical Systematics and Ecology*»(1997).pp. 353-358.
- NF V 05-101. (1974) «Produits dérivés des fruits et légumes. Détermination de l'acidité titrable». (1974).
- Nf En 1135 , «Jus de fruits et jus de légumes, Détermination des cendres»(1994).
- Oktay M., Gulcin I., and Kufrevioglu O.I., (2003). «Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts»(2003). pp 263– 270.
- Ouis N., «Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouillet de persil», (2014). pp 02.
- Pitasawat B., Champakaew D., Choochote W. J., Chaithong A., Kanjanapoth U., Rattanachanpichai D., Tippawangkosol E., P., 2004. *fitoterapia*, 78, 205-20.
- P.Duder, " le séchage solaire à petite échelle des fruits : expérience et procédés" Edition du Dret, France (1999).
- Quezel P., Santa s., « Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales». Tome II. C.N.R.S, Ed. Paris, (1962) 565 p
- Rahami R and Ardekani M., «Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. In traditional Iranian medicine and modern phytotherapy»(2013), pp 73-7
- Reduron J P , «Ombellifères de France - Tome 3, Bulletin de la Société botanique» du centre-ouest- Nouvel série- Numéro spécial – 28.(2007)
- S. Bachir, « Modélisation mathématique de séchage solaire indirect des dattes Deglet-Nour réhumidifiées», », Mémoire de Master Académique de Génie des procédés, Université Kasdi Merbah Ouargla.(2015).
- S.Boughali, « Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro-alimentaires dans les zones arides et désertiques ». Mémoires de doctorate, Université de Haj Lakhdar Batna(2010).
- Shamkant B., Badgular V.V., « Patel. and Atmaram H.B., « *Foeniculum vulgare* Mill: A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacology, Contemporary Application, and Toxicology. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International* ».l. (2014) Article ID 842674,

S. KHALDI, Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie, Thèse de Doctorat, université de Tlemcen,(2018).

*Souci S. W., Fachmann W. et Kraut H, «Feuille, tiges et fleurs.*

*In : « La composition des aliments » 5ème édition. Ed. CRC Press.(1994) P. 674.*

*Tahiri. N,« Etude de l'évolution de l'activité antioxydante de fenouil au cours de la conservation »,diplôme de Magister.Université Abderrahmane Mira Bejaia. (2008).p5-6*

*T.B.Hayet; « Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols par micro-ondes et ultrasons des feuilles de *Foeniculumvulgare* par la méthodologie de surface de réponse», Mémoire de, Magister Alimentation et Technologie Alimentaire. Université Abderrahmane mira de Bejaia.(2016) p 21*

*Teuscher E, Anton R, Lobstein ,«Plantes aromatiques : Epics, aromates, condiments et huiles essentielles». Tec & doc, Paris.(2005)*

*Thu Ha Nguyen,« Etude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux», Mémoire de Doctorat de Génie des procédés Université de Bretagne Sud, Français ( 2015) P25.*

*Vasseur, "Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud"(2009).*

*Wolff J. P., «Manuel d'analyse des corps gras»; Azoulay éd., Paris (France), 519 p(1968).*

*Zoubiri. S et al, Chemical composition and larvicidalactivity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil, Arabian Journal of Chemistry,( 2014,) p7; 480-*

### Annexe.1 Détermination de Lipide Totaux



Rotavapeur



Soxhlet

### Annexe 2 Détermination de la protéine



Minéralisation (la hotte)



**Appareil de distillation**



1

2

**La titration d'acide borique**

**Réactifs utilisés**

- Acide sulfurique :  $H_2SO_4$
- Acide borique  $H_3BO_3$
- Hydroxyde de sodium (NaOH)
- Sulfate de cuivre
- Catalyseur

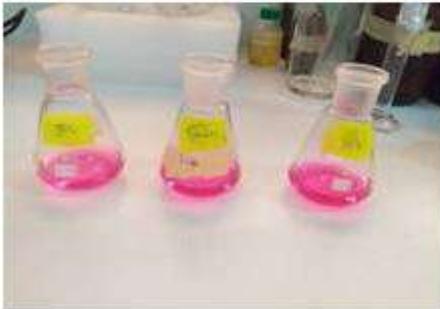
### Annexe 3 Détermination de l'acidité titrable



2



1



4



3

### Les étapes de l'acidité titrable

**Annexe 4 : Détermination des fibres brutes**



1



2

**Les fibres brutes**

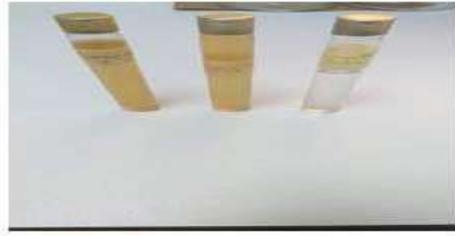
**Annexe 5: Détermination des sucres totaux**



2



1



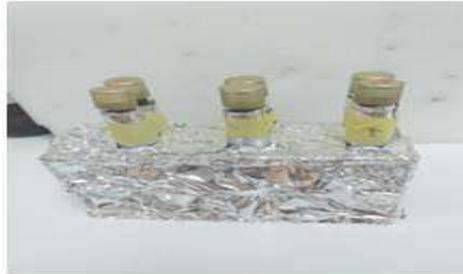
4



3

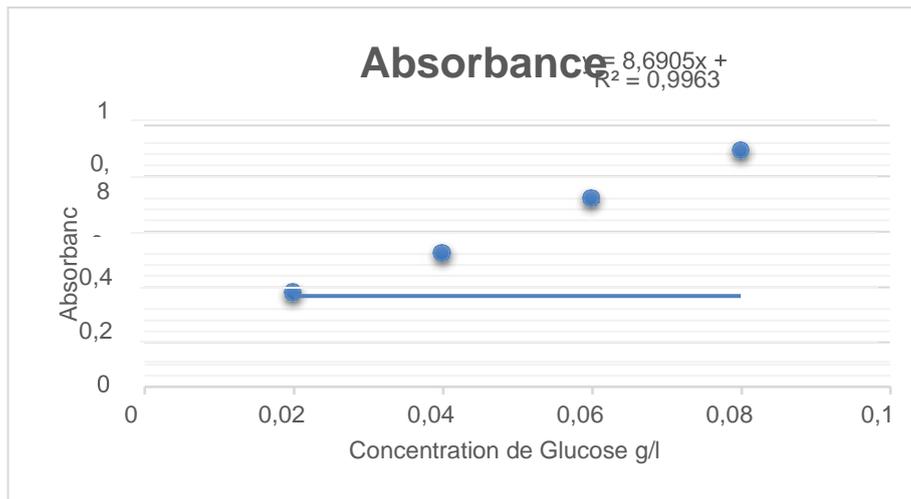


6



5

Sucre totaux



Annexe 6 Courbe d'étalonnage de glucose

## **Annexe 7 : Les milieux utilisés**

### **Milieu sabouraud**

- Eau distillée 1000ml
- Peptone 10g
- Glucose 20g
- Agar-agar 15g  
PH=6.3

### **Milieu Plate Count Agar (PCA) L'AFNOR (1973)**

- Peptone 6g
- Extrait de levure 3 g
- Gélose 15 g
- Eau D 1000
- pH final 7,2
- Le milieu est stérilisé à 121°C pendant 15 à 20 minutes.  
La lecture se fait après 72 heures d'incubation à 30°C

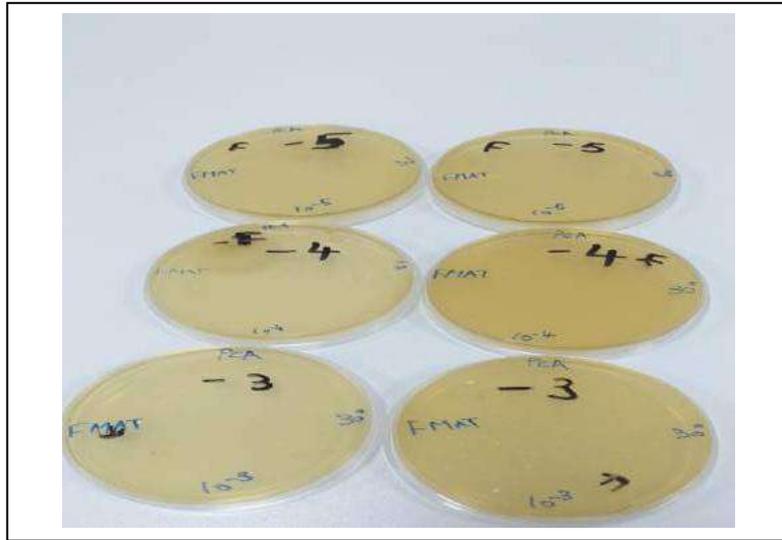
### **Milieu SS (*Salmonella Shigella*)**

- Peptone 5 g
- Extrait de viande 5 g
- Sels biliaires 8,5 g
- Citrate de sodium 10 g
- Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8,5 g
- Citrate de fer 1 g
- Lactose 10 g
- Rouge neutre 25 mg
- Vert brillant 0,33 mg
- Gélose 15 g
- Eau D 1000 ml

pH = 7. NE PAS AUTOCLAVER.

### **Milieu VF ( viande foie)**

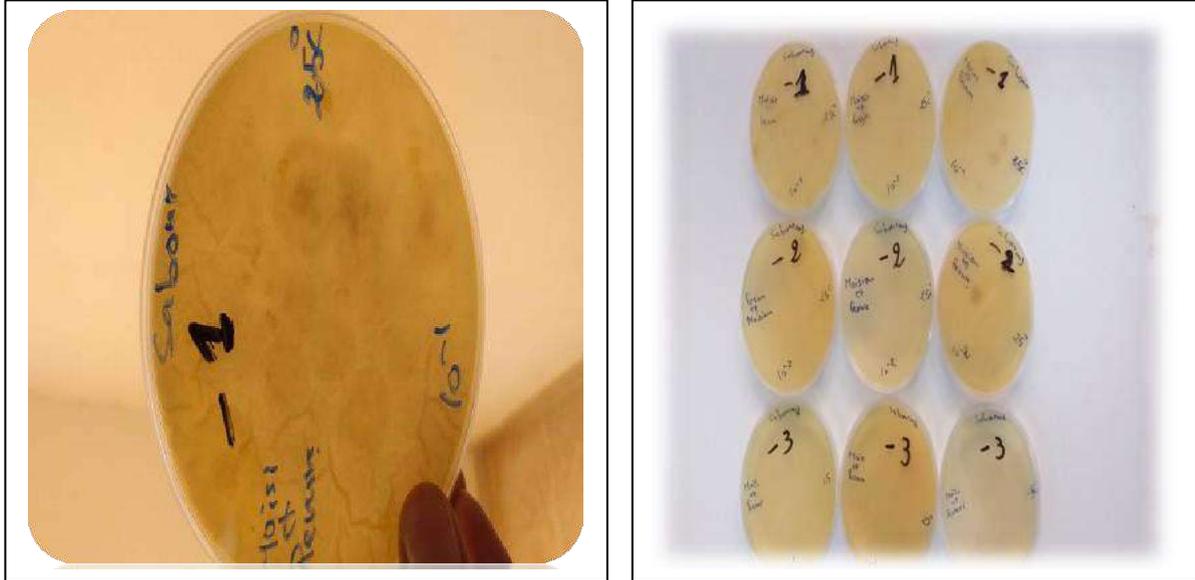
- base viande foie : 30,0 g
- glucose : 2,0 g
- agar : 6,0 g
- pH = 7,4



Milieu PCA recherche les FMAT



Milieu VF pour *clostridium* sulfite-réducteurs



Milieu sabouraud pour levure et moisissure



Milieu S-S pour salmonelles

## Résumé

Le séchage est l'une des principales techniques de préservation des produits agricoles et alimentaires dans le but de lui garantir une longue conservation, faciliter son transport et assurer la disponibilité des produits en cas de pénurie de ce produit frais sur le marché national. Ce travail représente une étude expérimentale du procédé de séchage d'un produit agro-alimentaire (fenouil) sur deux prototypes de séchoir solaire (direct et indirect). Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que la cinétique du séchage, de ce produit et les températures de l'air asséchant pour le mode de séchage direct et le mode indirect et les variations de la teneur en eau finale du produit d'environ 10.5% dans le mode direct et 5.9% pour le mode séchage indirect et d'autre part, à étudier la caractérisation de métabolites primaires. L'évaluation de la caractérisation comprenait la détermination de la teneur en lipides totaux, teneur en cendres, la teneur en protéines, les fibres brutes, et la teneur en sucres totaux. Ainsi que l'analyse microbiologique par la recherche et/ou le dénombrement des flores microbiennes.

L'objectif de ce travail à travers ces expériences d'une part l'étude comparative entre deux modes de séchage : séchage direct et indirect.

**Mot clés :** Séchage, Séchoir solaire direct, Séchoir indirect, aliment, fenouil.

## Abstract

The objective of this work is the solar drying of fennel by two methods: direct and indirect. The physicochemical parameters carried out are: proteins, total lipids, titratable acidity, total sugars, fibers and color quality. The final humidity level after drying is 4% for the two solar-types dryers. The direct solar dryer is more suitable for preserving the quality of fennel, flavor and its nutritional value of the components (lipids, proteins, fibers, sugars). The variation in color difference  $\Delta E$  indicates that the direct solar dryer keeps the visual appearance of fennels better. The level of protein in the fresh sample is slightly higher than the sample dried by the direct dryer. On the other hand, a lower value was estimated by the indirect voice. The microbiological results indicate good hygienic quality with a total absence of pathogenic germs in both types of drying.

**Keywords:** Quality, direct solar dryer, indirect dryer, food, fennel.

## ملخص

التجفيف هو أحد أساليب الحفظ الرئيسية للمنتجات الزراعية والغذائية بهدف ضمان الحفاظ عليها لفترة طويلة وتسهيل نقلها وضمان توفر المنتجات في حالة نقص هذا المنتج الطازج في السوق الوطنية. يمثل هذا العمل دراسة تجريبية لعملية تجفيف منتج غذائي زراعي (الشمر) على نموذجين أوليين لمجففات شمسية (مباشرة وغير مباشرة). أظهرت النتائج التجريبية المتحصل عليها أن حركية تجفيف هذا المنتج ودرجات حرارة هواء التجفيف لنمط التجفيف المباشر والوضع غير المباشر والتغيرات في المحتوى المائي النهائي للمنتج تبلغ حوالي 10.5% في الوضع المباشر و 5.9%. لوضع التجفيف غير المباشر ومن ناحية أخرى. لدراسة توصيف المستقلبات الأولية، تضمن تقييم الخصائص تحديد محتوى الدهون الكلي، ومحتوى الرماد، ومحتوى البروتين، والألياف الخام، ومحتوى السكريات الكلي. وكذلك التحليل الميكروبيولوجي عن طريق البحث و / أو تعداد النباتات الميكروبية.

الهدف من هذا العمل من خلال هذه التجارب من جهة الدراسة المقارنة بين طريقتين تجفيف: التجفيف المباشر وغير المباشر.

**كلمات مفتاحية:** تجفيف، مجفف شمسي مباشر، مجفف غير مباشر، طعام، شمر.